



LICHT 2000

Tagungsband

20. – 22. September 2000
Goslar

LiTG



LTG



S L G

Herausgeber:
Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V.
(LiTG)

Verantwortlich für Zusammenstellung und
Gestaltung:
Helmut D. Range

Umschlaggestaltung:
Grote + Laleicke
Werbeagentur GbR
Ostertor 1
D-32657 Lemgo
www.grote-laleicke.de

Herstellung:
C.L. Rautenberg-Druck
Königstraße 41
D-25348 Glückstadt
www.rautenberg-druckerei.de

Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V.
(LiTG)
Burggrafenstraße 6
D-10787 Berlin
Fon +49/(0)30/2601-2439
Fax +49/(0)30/2601-1255
e-mail:litg@din.de

Lichttechnische Gesellschaft Österreichs
LTG
Postfach 148
A-2340 Mödling
Fon +43/(0)2236/42 651
Fax +43/(0)2236/42 651
e-mail:office@ltg.at
Internet:www.ltg.at

Nederlandse Stichting voor
Verlichtingskunde
NSVV
Utrechtseweg 310
Postbus 90 35
NL-6800 ET Arnhem
Fon +31/(0)26/3 56 24 66
Fax +31/(0)26/4 42 91 23
e-mail:a.rommers@kema.nl

Schweizer Licht Gesellschaft
SLG
Postgasse 17
Postfach 686
CH-3000 Bern 8
Fon +41/(0)31/31 222 51
Fax +41/(0)31/31 212 50
e-mail:slg.bern@bvm.ch
Internet:www.slg.ch



14. Gemeinschaftstagung der
Lichttechnischen Gesellschaften
Deutschlands, der Niederlande,
Österreichs und der Schweiz

20. - 22. September 2000

Hotel und TagungsZentrum
„Der Achtermann”

Goslar/Deutschland



Die Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG) und das Organisationskomitee von LICHT 2000 danken den Sponsoren der 14. Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen Gesellschaften Deutschlands, der Niederlande, Österreichs und der Schweiz.

Abele&Geiger GmbH
DER ACHTERMANN
AEG Lichttechnik GmbH
ALANOD Aluminium-Veredelung GmbH & Co.KG
EHLEBRACHT AG
Electric-Special Photonicsysteme GmbH
Förderungsgemeinschaft Gutes Licht
Dr. Genthe GmbH & Co
Glamox Licht GmbH
STADT GOSLAR
.halemeier GmbH und Co.KG
Glaswerke Haller GmbH
Stadtwerke Hannover AG
Hasseröder Brauerei GmbH
HELLUX LEUCHTEN GmbH
HELVAR GmbH
LICHT – Richard Pflaum Verlag GmbH & Co. KG
LITE-LICHT LT-Licht-Technik GmbH
Martin Professional GmbH
NKW – Nordharzer Kraftwerke GmbH
OSRAM GmbH
PFEIFFER – STAHLROHRMASTE GmbH
PFLEIDERER AG
Philips GmbH
Besucherbergwerk und Bergbaumuseum Der Rammelsberg
Roch Prüfdienste AG
Schott-Auer GmbH
Siteco Beleuchtungstechnik GmbH
SLI Lichtsysteme GmbH
SPITTLER Lichttechnik
TRIDONIC Bauelemente GmbH
VVG Verwaltungs-Berufsgenossenschaft
VOLKSWAGEN AG
WE-EF LEUCHTEN GmbH & Co.KG
WILA Leuchten GmbH
Zumtobel Staff



Mittwoch, 20. September 2000

Eröffnungsveranstaltung

Großer Saal

9.00 Uhr Eröffnung
Dipl.-Ing. Ha.-Jo. Richter
Vorsitzender der LiTG

Grußwort
Sigmar Gabriel
Ministerpräsident des Landes Niedersachsen

Grußwort
Dr. rer.hum.biol. Thomas Borcholte
Bereichsleiter Vermarktung/Marketing
der EXPO 2000 Hannover GmbH

9.45 Uhr Festvortrag:
Prof. Dr. phil. Horst Callies
Universität Hannover
Uns verbindet mehr als der Gemeinsame Markt
von heute: Europa vor dem Hintergrund gemein-
samer Geschichte und einigendem Bewusstsein

Mittwoch, 20. September 2000

Fachvorträge

Großer Saal

Diskussionsleiter: M. Rechsteiner (CH)

11.00 Uhr H. Krüger
Zürich (CH)
Sehen, Wahrnehmung, Farbe

11.30 Uhr P. Dehoff
Dornbirn (A)
Zum Stand der Innenraumbeleuchtung – ein Überblick

12.00 Uhr Mittagspause

Diskussionsleiter: S. Kokoschka (D)

13.30 Uhr W. van Bommel
Eindhoven (NL)
Außenbeleuchtung, gestern–heute–morgen

14.00 Uhr A. Wacker & S. Müller
München (D)
Lichtquellen und ihre Betriebsgeräte – Status 2000

14.30 Uhr J. Schmid & I. Stadler & S. Beverungen
Kassel (D)
Der Einfluss von Energiemanagement-Systemen auf das
Einsparpotential im Beleuchtungssektor

15.00 Uhr G. Sauter
Braunschweig (D)
Stand und Tendenzen in der Lichtmesstechnik

4 15.30 Uhr Kaffeepause auf Einladung der Halemeier GmbH & Co. KG, Hiddenhausen



Mittwoch, 20. September 2000

Fachvorträge

Großer Saal	Barbarasaal
16.00 Uhr Allgemeine Fragen	Außenbeleuchtung
Diskussionsleiter: C. Schierz (CH)	W. Prahl (D)
A. Stockmar Celle (D) Vom Nutzen der CIE D. Gall Ilmenau (D) Goethes Farbenlehre im Kontext zur Tagung LICHT 2000 P. Joye Fribourg (CH) Neue Trends in der Beleuchtung des Jahres 2000 G. Schach Wien (A) Lichtplanung an der Wegscheide – ein Instrument zur Realisierung energetisch optimierter Immobilien oder ein Teil eines Gesamtkunstwerkes? H. Hollands Eindhoven (NL) Lichtzauber in der Nacht	U. Knappschneider Wuppertal (D) Lichtplanung als integraler Bestandteil der Stadtplanung B. Steck Laatzen (D) Ökologisch orientierte Außenbeleuchtung; Harmonie zwi- schen Artenschutz, Ökonomie und lichttechnischer Gestaltung U. Carraro & M. Eckert Dresden (D) Untersuchungen zum spektralen Reflexionsgrad von Gesteinen und Asphaltproben O. Roch & M. Giesener Lübeck (D) Infrastruktur Projekt 2000 Umfassende Untersuchung von Masten
Presented Poster H. Rudolph Arnsberg (D) Entwicklung von optischen Systemen aus einer gegebenen Lichtstärkeverteilung nach dem Evolutionssprinzip D. Jansen Kassel (D) Wirkung von Licht und Strahlung auf Pflanzen in der Innenraumbe- grünung U. Slabke Ilmenau (D) Die Qualität von Licht in der Beleuchtungsplanung	Presented Poster E. Folles Rotterdam (NL) Pilotprojekt Dynamische Straßen- beleuchtung (DYNO) beendet W. Riemenschneider Otfelingen (CH) Leuchtstofflampen für die Beleuchtung von Straßentunnel J. Riepe Oldenburg (D) Moderne Tunnelbeleuchtungs- regelungen
17.30 – 19.30 Uhr Mitgliederversammlung der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft e.V. (LiTG)	Marmorsaal

Donnerstag, 21. September 2000

Fachvorträge

	Großer Saal	Barbarasaal
9.00 Uhr	Innenbeleuchtung	Material/Messung
	Diskussionsleiter: P. Dehoff (A)	R. Rattunde (D)
	S. Neumann Hamburg (D) Rahmenbedingungen für die Planung der Beleuchtung im Arbeitssystem Büro	J. Ewald Aachen (D) Superhydrophile photokatalytische Oberflächen – oder ein Lotus-Effekt in der Lichttechnik?
	J. Leibig Traunreut (D) Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmen	K. Bieske & J. Fisch & D. Gall Ilmenau (D) Messung ultraschwacher Photonenströme
	H.-O. Flach Mülheim (D) Verkaufslicht unter Corporate Identity Aspekten	A. Willing Schellitz (D) Ein neues lichttechnisches Konzept zur Inspektion der Farbe und Ober- flächenbeschaffenheit an fertig lackierten Karosserien in der Automobilindustrie
	W. Prah & G. Roessler Hamburg (D) Wieviel Tageslicht im Tageslicht-Museum? Bedingungen und Grenzen der Museumsbeleuchtung durch Tageslicht am Beispiel des Erweiterungsbaus der Kunsthalle in Emden	Presented Poster H. Küster Ennepetal (D) Aluminium-Reflektorband mit hoher, spektral gleichmäßiger Reflexion im UV F. Schmidt & I. Fischbach Ilmenau (D) Nahfeldfotometrie – Neue Wege zur Spezifikation lichttechnischer Objekte
10.00 Uhr	Presented Poster P. Dehoff & R. Mauch Dornbirn (A) Sichere Arbeit durch helles Licht	Ausbildung Presented Poster D. Hoffmann & K. Schwenzner Freiburg (D) Die Licht Akademie: Ein Forum für das Wissen vom Licht
	U. Knappschneider Wuppertal (D) MOSES – Modular Object-specific Evacuation System – Ein System zur dynamischen Evakuierungsplanung und Rettungswegesignalisierung im Gefahrenfall	T. Römhild Gehrden (D) ▪ Begründung zur Einführung des Studienganges ARCHITECTURAL LIGHTING DESIGN ▪ Architektur und Licht – Lichtsymbolik
6	10.30 Uhr Kaffeepause auf Einladung der Spittler	Lichttechnik, Goslar



Donnerstag, 21. September 2000

Fachvorträge

	Großer Saal	Barbarasaal	Marmorsaal
11.00 Uhr	Forum 1	Forum 2	Forum 3
	Intern. Normung	Planung	Tageslicht/Lichtmanag.
Diskussions- leiter:	P. W. Schmits (D)	M. van Oyen (NL)	H. Kaase (D)
	M. Seidl Berlin (D) CEN, ISO, CIE – auf dem Weg von nationaler Regelsetzung zur inter- nationalen lichttechni- schen Normung A. Çakir & G. Çakir Berlin (D) Neue Norm für die ergonomische Gestaltung der Arbeitsumgebung bei Büroarbeit mit Bild- schirmgeräten P. W. Schmits Berlin (D) Arbeitsstättenbeleuch- tung in Deutschland nach der EN 12464 – ein Ausblick B. Weis Worms (D) Notbeleuchtung: Neue europäische und inter- nationale Vorschriften R. Class Springe (D) Erläuterungen zur kom- menden EN 13201 Straßenbeleuchtung	A. Lohr & F. Franzen und andere Köln (D) NESA – Planungshilfe Büroarbeitsplatz: Intel- griertes EDV-Programm zur komfortgerechten, energieeinsparenden, solar- und tageslichtnut- zenden Planung sowie Optimierung von Büroarbeitsplätzen S. Wittkopf München (D) Computerunterstützte Lichtplanung in der Architektur – Neue An- sätze zur Evaluierung qualitativer Lichtplanung F. Schöffel & W. Kresse & S. Müller Darmstadt (D) Innovative Ansätze zur virtuellen Beleuchtungs- planung J. Reinheckel Salzhemmendorf (D) Lichtsimulationen H.-J. Schmidt Traunreut (D) Die Realität und ihre Abbilder S. Luger Dornbirn (A) CAP – Die Planungs- treppe zur Lichtlösung	H. Belendorf & S. Aydinli & H. Kaase Berlin (D) Ein praxisorientiertes analytisches Verfahren zur energetischen und lichttechnischen Bewer- tung tageslichtabhäangi- ger Kontrollsysteme L. Jong & H. van Dijk Eindhoven (NL) Komfort als Ausgangs- punkt – Die Notwendig- keit der Integration eines Gebäude-Verwaltungs- systems W. Pohl & Ch. Scheiring & M. Gstrein Aldrans/Innsbruck (A) Einfluss von Tageslichtsys- temen auf Licht, Klima, Energie und Kosten J. Hawwary Berlin (D) Vereinfachte Berechnung der jährlichen relativen Nutzbelichtung T. Bänziger Milano (I) Energie-Management in der Beleuchtung – Öko- nomie durch Ökologie

Donnerstag, 21. September 2000

Fachvorträge

Großer Saal	Barbarasaal
13.30 Uhr Lichtwirkungen	Tageslicht
Diskussionsleiter: H. Lindner (D)	M. Velds (NL)
<p>S. Kokoschka Karlsruhe (D) Modelle der visuellen Leistungs- fähigkeit für die Innenbeleuchtung A. Tenner & G. van Lith-Görnicka & J. van Kemenade Eindhoven (NL) Licht im Büro, eine Herzensangelegenheit? S. Fleischer & H. Krueger & C. Schierz Zürich (CH) Zeitliche und örtliche Veränderun- gen der Helligkeitsverteilung in Büroräumen W. Witting Aldrans/Innsbruck (A) Neue Ergebnisse zur objektiven und quantitativen Erfassung und Bewertung der psychophysischen und visuellen Belastung bei Bildschirmarbeit im Vergleich ver- schiedener Tages- und Kunstlichtsysteme D. Methling Jena (D) Optometrische Untersuchungen für Sehbeeinträchtigungen und ihre Be- ziehung zu beleuchtungstechni- schen Bedingungen</p>	<p>H.J.J. Meutzner Woerden (NL) Tageslicht als Grundbeleuchtung im Büro und in Betriebsstätten... verwendbar, umweltfreundlich, bezahlbar? H. Fild & I. de Laet & F. Taeymanns & P. van Tichelen & G. Vanuytsel & L. Zonneveldt Leverkusen (D) & Mol, Malle (B) & Eindhoven (NL) Ein einfaches System für Tageslichtlenkung F. Sick Stuttgart (D) Eine Praxis-Methode zur Bewertung der Tageslichtqualität in Innenräumen A. Rosemann & N. Kiwull & S.-H. Kloss & T. Müller & H. Kaase Berlin (D) Innenraumbeleuchtung mit Hohllichtleitern</p>



Donnerstag, 21. September 2000

Fachvorträge

	Großer Saal	Barbara-Saal
Fortsetzung	Presented Poster V. Schultz Detmold (D) Modell der visuellen Wahrnehmung (Sehmodell) H. Lindner & T. Rinnert & W. Behrens-Baumann Magdeburg (D) Die Beleuchtungssituation im Wohnbereich von Sehbehinderten S. Milch Darmstadt (D) Analyse von Bildfolgen am Beispiel der Gesichtserkennung J. Fisch & K. Bieske Ilmenau (D) Leben mit optischer Strahlung M. Eckert & U. Carraro & S. Jordanowa & H. Kschischenk Dresden & Ilmenau (D) Erkennbarkeitsweiten von bekannten Personen bei verschiedenen Straßenbeleuchtungen	Presented Poster M. Velds & T. Knoop Delft (NL) & Berlin (D) Gesamtheitliche Bewertung der Qualität von tageslichtabhängigen Beleuchtungsanlagen C. Vandahl Ilmenau (D) Bewertung von Sonnenschutzeinrichtungen J. de Boer & H. Erhorn Stuttgart (D) Praxistauglichkeit neuartiger lichtlenkender Fassadenelemente S. Hauer Dornbirn (A) Untersuchung eines automatischen Blendschutz-Steuersystems zur Verminderung der störenden Einflüsse von Fensterleuchtdichten T. Müller und andere Berlin (D) ARTHELIO – Zwei Hohllichtleiterbeleuchtungssysteme mit kombinierter Einspeisung von Tageslicht und Kunstlicht der Schwefellampe S.-H. Kloss & H. Kaase & T. Müller & A. Rosemann Berlin (D) Goniophotometrie an Hohllichtleitern

15.30 Uhr Kaffeepause auf Einladung der LITE-LICHT, Herzebrock-Clarholz

Foyerbereich

16.00 Uhr

Postersession

Freitag, 22. September 2000

Architektur und Licht

Großer Saal Architektur und Licht	Barbarasaal Autobeleuchtung
Diskussionsleiter: H. Kramer (D)	H.-J. Schmidt-Clausen (D)
9.00 Uhr Prof. Dr.-Ing. Architekt Gunter Henn Dresden/München (D) Die Industrie in das richtige Licht gerückt – Die Autostadt in Wolfsburg und die gläserne Manufaktur Dresden	S. Völker Lippstadt (D) Untersuchungen zur Frage der Bewertung von Lichtstärke und Leuchtdichte der leuchtenden Fläche bei unterschiedlichen Scheinwerfersystemen C. Diem Darmstadt (D) Blickerfassung von Kraftfahrern im dynamischen Straßenverkehr
9.40 Uhr Prof. Dipl.-Ing. Architekt Karl-Heinz Petzinka Darmstadt/Düsseldorf (D) Emotion und Sensation – Licht in der Erkenntnis unserer Zeit	P. Löbig Darmstadt (D) Ambiente Innenraumbeleuchtung von Kraftfahrzeugen
10.20 Uhr Dipl.-Designerin Andrea Gunschera Halle (D) Visualisierung – ein Gestaltungsmittel für die Architekturbeleuchtung	Lampen/Betriebsgeräte A. Hilbert Hamburg (D) Verkaufsförderung durch moderne Beleuchtungslösungen P.J.M. van der Burgt & R. Sexton & B. Kock Eindhoven (NL)
11.00 Uhr Prof. Dr.-Ing. Harald Hofmann Darmstadt/Lüdenscheid (D) Von der Quantität zur Qualität – Über neue Wege in der Architekturbeleuchtung	Neue Möglichkeiten in der Beleuchtung: Leuchtdioden Presented Poster K. Grothmann Oranienburg (D) Effizientere Signalleuchten durch LED-Lichtquellen E. Schmidt Springe (D) Beleuchtungsplanung mit TL5 Lampen O. Schütz Schaffhausen (CH) Lichtsysteme mit durchstimmbaren Leuchtdichten



Freitag, 22. September 2000

Abschlussveranstaltung

Großer Saal

- 12.00 Uhr Abschlussvortrag:
Dr. rer.nat. Fritz Schipp
München (D)/Danvers (USA)
Licht mit und ohne Elektronik – wohin entwickeln sich
die Lichtquellen im kommenden Jahrhundert?
- 12.40 Uhr Einladung zu LICHT 2002 durch den Vorsitzenden der NSVV
Prof. Dr.Ir. Jan Blom
- 12.55 Uhr Schlusswort des Vorsitzenden der LiTG
Dipl.-Ing. Ha.-Jo. Richter

Exkursionen zu Architektur und Licht

- 13.30 –
19.00 Uhr dvg Hannover – Büroorganisation als Kommunikationslandschaft
der Datenverarbeitungsgesellschaft mbH
Führung unter der Leitung von Prof. Dipl.-Ing. Rainer Hascher
- 13.10 Uhr Einführungsreferat zum EXPO-Projekt Autostadt
Prof. Dr.-Ing. Architekt Gunter Henn
Großer Saal im Hotel und TagungsZentrum „Der Achtermann“
- 13.40 –
19.00 Uhr Autostadt – Ein Projekt der Volkswagen AG anlässlich der
EXPO 2000 HANNOVER in Wolfsburg
Führung unter der Leitung von
Prof. Dr.-Ing. Architekt Gunter Henn

Postervorträge

P. Apian-Bennewitz & K. Altmann
Freiburg (D)
Photorealistische Lichtsimulation unter
Praxisbedingungen: LightScape,
Radiance & Co

P. Belloni & S. Ferdows
Traunreut (D)
Innovative Lichtlenktechnologie verändert
das Gesicht der Bürolandschaft

C. Blankenhagen
Ilmenau (D)
Messung geringster Fotoströme – ein
Meßprinzip mit hoher Dynamik und ohne
Meßbereichsumschaltung

J. de Boer & H. Erhorn
Stuttgart(D)
Erweiterte Einsatzmöglichkeiten der inter-
nationalen Lichtplanungssoftware ADELIN
in der neuesten Version

J. Böger
Braunschweig (D)
Lichttherapie – Leuchtdichte oder Beleuch-
tungsstärke

C. Bücken
Hamburg (D)
Der Einsatz von Leuchtstofflampen heute
und in der Zukunft

A. Çakir & G. Çakir
Berlin (D)
Licht im Büro – Eine interaktive Hilfe rund
um die Bürobeleuchtung

H. Dee
Wuppertal (D)
Lichtkonzept einer Bank am Beispiel
Sparda-Bank, Münster

A. Dziedzic-Böttger
Springe (D)
Bewertung der Beleuchtungsstärkeverteil-
ung in Verkaufsräumen bei regalgang-
orientierter Leuchtenanordnung

M. Eckert & S. Jordanowa
Dresden (D), Ilmenau (D)
Erkennbarkeit bzw. Wiedererkennung von
flüchtig bekannten stilisierten Gesichtern

D. Enarun & A. Köknel-Yener
Istanbul (TK)
Eine Kategorisierung der
Himmelszustände für Ankara/Türkei

H. Erhorn & J. de Boer
Stuttgart(D)
Tageslichttechnische Planungswerkzeuge
– entwickelt im Subtask C „Daylighting
Design Tools“ des internationalen
Projektes IEA Task 21

H.-O. Flach
Mülheim (D)
Lichtgestaltung mit Umlenkssystemen

U. Fischer & R. Haback & F. Klaißer
Darmstadt (D)
Neue Anwendungen von Leuchtdioden

A. Forkert
Leipzig (D)
Planung und Bewertung sowie
Rekonstruktion von Tunnelbeleuchtungs-
anlagen mit Hilfe der Bildauflösenden
Leuchtdiodenmesstechnik

Postervorträge

M. Görres
Dortmund (D)
Erfahrungen bei der Installation und
Inbetriebnahme einer tageslichtabhängig
geregelten Beleuchtungsanlage in einer
Industriehalle

G. Gottschlich
Düsseldorf (D)
Umweltbewusst – Sein und Handeln –
Energiesparende Beleuchtungsregelungen
für Hallen mit Hochdrucklampen

O. Grundmann & K. HeiB &
J. Reinhardt,
Berlin (D), Basel (CH), Laatzen (D)
Erstellung eines elektronischen Katalogs
für Außenleuchten

O. Grundmann & K. HeiB &
J. Reinhardt,
Berlin (D), Basel (CH), Laatzen (D)
Software zur Präsentation der
Eigenschaften einer Leuchte im Außenbe-
reich

F. Heckmanns
Mülheim (D)
Beleuchtung der Fußgängerbrücke im
Duisburger Innenhafen mit LEDs

R. Heinz
Hamburg (D)
Höhen-Power-Industrie – HPI die moderne
Industriebeleuchtung

W. Jordanow
Ilmenau (D)
Dimensionierung und
Qualitätsüberprüfung technischer
Bestrahlungsanlagen

S. Kaizik & B. Schemmel
München (D)
Multilampen-EVG für den Betrieb von
17 verschiedenen Leuchtstofflampen

A. Köknel Yener
Istanbul (TK)
Energieeinsparung in
Grundschulklassenräumen

E. Kugel & J. Reinhardt &
H. Rönitzsch
Laatzen (D), Freital (D)
Neuartige Software zur Planung der
Außenbeleuchtung

H. Leszczynska,
Zielona Gora (PL)
Besondere Beleuchtungsprobleme in der
Außenbeleuchtung – Lichtimmission

F. Lindemuth & E. Rahn
Berlin (D)
Sekundärreflektoren für die Beleuch-
tungstechnik

B. C. Lohmann
Hamburg (D)
Wirtschaftliche Vorteile des Lampen-
gruppenwechsels von Leuchtstofflampen
in der öffentlichen Beleuchtung

Postervorträge

P. Marx
Berlin (D)

Neuartige dimmbare elektronische Hochfrequenzbetriebsgeräte für Energiesparlampen, Halogenglühlampen für Netz- und Niederspannung, Kaltkathoden-Leuchtröhren sowie Leuchtdiodenketten

H.-J. Müller & K. Dietrich
Hückeswagen, Dünwald-Hüpstedt (D)
Neueste praxiserprobte Technik beim Anschluss von Kabeln in Lichtmasten

D. Parrondo & F. Serick & H. Kaase
Berlin (D)
Verlustleistungen elektronischer Vorschaltgeräte und Koppeltransformatoren für elektrodenlose Niederdrucklampen

T. Patz, G. Paissidis
Berlin (D)
Neue Gestaltungsmöglichkeiten des Nachtbildes von Gebäuden durch innovative Lichtideen

W. Pietzsch, A. Wacker
München (D)
Die kleinste Netzspannungs-Halogenglühlampe der Welt – ein Meilenstein in der Lampenentwicklung

D. Polle, A. Picklein
Lüdenscheid (D)
Die Steuerung der Lichtverteilung im Raum und die Akzeptanz des modernen Büroarbeitsplatzes

T. Schiebold
Traunreut (D)
Spiegel-Werfer-Systeme als effektive und anspruchsvolle Beleuchtungslösung

M. Schmitz-Reiners
Hückelhoven (D)
Effektive Beleuchtung von Schmalstraßen mit niedriger Verkehrsbelastung

O. Schütz
Villingen-Schwenningen (D)
Büro-Lichtsysteme mit lichtlenkenden, transparenten Medien

L. Schwartz
Herzogenrath (D)
Niederspannungsnetz als Datennetz?!
LON-BUS-POWERNET zur Lampenkontrolle in der Straßenbeleuchtung

D. Seifert
Halle (D)
Anwendung von Lichtdemonstrationen – nicht nur in der Aus- und Weiterbildung

A. Steiner
Leipzig (D)
System ABSS – Adressierte Beleuchtungssteuerung mit Staturfassung

R. Ünver, L. Dokuzer Öztürk
Istanbul (TK)
Beziehung zwischen Fassadenfarbe und Farbverschmutzung

R. Visser
Amersfoort (NL)
Anwendungsmöglichkeiten für Beleuchtungssysteme mit Lichtrohren

A. Wacker & U. Custodis
München (D), Augsburg (D)
Die flächenförmige Entladungslampe, eine neue Dimension in der Lichterzeugung



Die Studenten, die an der Tagung LICHT 2000 teilnehmen,
danken ihren Sponsoren.
Diesem Dank schließen sich die Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V.
(LiTG) und das Organisationskomitee von LICHT 2000 an.

Ansorg GmbH
Bega Gantenbrink-Leuchten GmbH & Co.KG
Bender+Wirth Fassungstechnik GmbH & Co.KG
Planungsbüro für Elektrotechnik PFE Biester & Rusch GbR
BIG. Lichtsysteme GmbH
BJB GmbH & Co.KG
BLV Licht- und Vakuumtechnik
TOB Beratende Ingenieure VBI Dipl.-Ing. Rolf Büntemeyer
Döring Beratende Ingenieure VBI
durlum-Leuchten GmbH
Elkamet Kunststofftechnik GmbH
ERCO Leuchten GmbH
Hahn Licht – Gustav Hahn GmbH
HELLA KG Hueck & Co
HOFFMEISTER LEUCHTEN GmbH
iGuzzini illuminazione Deutschland GmbH
Kolb & Sörgel Elektrotechnische Vertretungen
LCI Light Consult International Dipl.-Ing Axel Stockmar
Licht & Beleuchtung Planungsgesellschaft mbH Köster
Licht Design Management/Dienstleistungszentrum der Angewandten Lichttechnik
LMT Lichtmesstechnik GmbH Berlin
LUDWIG Leuchten – Gebr.Ludwig GmbH
LUXMATE Controls GmbH
NARVA Brand-Erbisdorf
NORKA Norddeutsche Kunststoff- und Elektrogesellschaft Stäcker & Co.mBH
Ernst Rademacher GmbH
Regiolux Fränkische Leuchten GmbH
REI-LUX Verfahrenstechnik
RIDI Leuchten GmbH
Roch Prüfdienste AG
Schöler Ingenieure GmbH
Adolf Schuch GmbH
se'lux Semperlux AG
Franz Sill GmbH
Siteco Beleuchtungstechnik GmbH
TRILUX-LENZE GmbH + Co. KG
Vossloh-Schwabe GmbH
VULKAN GmbH
Herbert Waldmann GmbH & Co.
Dr. Ing. Willing GmbH

Inhaltsverzeichnis

Festvortrag	Seite
Callies, Horst Uns verbindet mehr als der Gemeinsame Markt von heute: Europa vor dem Hintergrund gemeinsamer Geschichte und einigendem Bewusstsein	27
Übersichtsvorträge	Seite
Krüger, Helmut Sehen, Wahrnehmung, Farbe	31
Dehoff, Peter Zum Stand der Innenraumbeleuchtung – ein Überblick	40
van Bommel, Wout Außenbeleuchtung, gestern – heute – morgen	52
Wacker, Alfred & Müller, Stéphan Lichtquellen und ihre Betriebsgeräte – Status 2000	61
Schmid, Jürgen & Stadler, Ingo & Beverungen, Sascha Der Einfluss von Energiemanagementsystemen auf das Einsparpotential im Beleuchtungssektor	67
Sauter, Georg Stand und Tendenzen in der Lichtmesstechnik	79
Allgemeine Fragen	Seite
Stockmar, Axel Vom Nutzen der CIE	87
Gall, Dietrich Goethes Farbenlehre im Kontext zur Tagung LICHT 2000	91
Joye, Philippe Neue Trends in der Beleuchtung des Jahres 2000	99
Schach, Gudrun Lichtplanung an der Wegscheide – ein Instrument zur Realisierung energetisch optimierter Immobilien oder ein Teil eines Gesamtkunstwerkes?	102



Hollands, Harry Lichtzauber in der Nacht	105
Rudolph, Horst Entwicklung von optischen Systemen aus einer gegebenen Lichtstärkeverteilung nach dem Evolutionsprinzip	111
Jansen, Dieter Wirkung von Licht und Strahlung auf Pflanzen in der Innenraumbegrünung	118
Slabke, Uwe Die Qualität von Licht in der Beleuchtungsplanung	126
Außenbeleuchtung	Seite
Knappschneider, Uwe Lichtplanung als integraler Bestandteil der Stadtplanung	136
Steck, Bernhard Ökologisch orientierte Außenbeleuchtung; Harmonie zwischen Artenschutz, Ökonomie und lichttechnischer Gestaltung	140
Carraro, Ulrich & Eckert, Martin Untersuchungen zum spektralen Reflexionsgrad von Gesteinen und Asphaltproben	149
Roch, Oliver & Giesener, Matthias Infrastruktur Projekt 2000 – Umfassende Untersuchung von Masten	162
Folles, Engbert Pilotprojekt Dynamische Straßenbeleuchtung (DYNO) beendet	167
Riemenschneider, Werner Leuchtstofflampen für die Beleuchtung von Straßentunnel	171
Riepe, Jochen Moderne Tunnelbeleuchtungsregelungen	175
Forkert, Andreas Planung und Bewertung sowie Rekonstruktion von Tunnelbeleuchtungsanlagen mit Hilfe der Bildauflösenden Leuchtdiodenmeßtechnik	183
Grundmann, Olaf & Heiß, Klaus & Reinhardt, Jan Erstellung eines elektronischen Katalogs für Außenleuchten	187

Inhaltsverzeichnis

Grundmann, Olaf & Heiß, Klaus & Reinhardt, Jan Software zur Präsentation der Eigenschaften einer Leuchte im Außenbereich	193
Heckmanns, Franz Beleuchtung der Fußgängerbrücke im Duisburger Innenhafen mit LEDs	200
Kugel, Eckhard & Reinhardt, Jan & Rönitzsch, Henry Neuartige Software zur Planung der Außenbeleuchtung	202
Leszczynska, Hanna Besondere Beleuchtungsprobleme in der Außenbeleuchtung – Lichtimmission	206
Lindemuth, Frank & Rahn, Erhard Sekundärreflektoren für die Beleuchtungstechnik	209
Lohmann, Bernd C. Wirtschaftliche Vorteile des Lampengruppenwechsels von Leuchtstofflampen in der öffentlichen Beleuchtung	212
Müller, Hans-Jürgen & Dietrich, Kuno Neueste praxiserprobte Technik beim Anschluss von Kabeln in Lichtmasten	219
Patz, Toralt & Paissidis, Georgios Neue Gestaltungsmöglichkeiten des Nachtbildes von Gebäuden durch innovative Lichtideen	221
Schmitz-Reiners, Michael Effektive Beleuchtung von Schmalstraßen mit niedriger Verkehrsbelastung	224
Innenbeleuchtung	Seite
Neumann, Sylke Rahmenbedingungen für die Planung der Beleuchtung im Arbeitssystem Büro	228
Leibig, Joachim Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmen	237
Flach, H.-Otto Verkaufslicht unter Corporate Identity Aspekten	245
Prahl, Wolfgang & Roessler, Georg Wieviel Tageslicht im Tageslicht-Museum? Bedingungen und Grenzen der Museumsbeleuchtung durch Tageslicht am Beispiel des Erweiterungsbaus der Kunsthalle in Emden	253



Dehoff, Peter & Mauch, Robert Sichere Arbeit durch helles Licht	273
Knappschneider, Uwe MOSES – Modular Object-specific Evacuation System – Ein System zur dynamischen Evakuierungsplanung und Rettungswegesignalisierung im Gefahrenfall	282
Dziedzic-Böttger, Alicja Bewertung der Beleuchtungsstärkeverteilung in Verkaufsräumen bei regelgang- orientierter Leuchtenanordnung	285
Heinz, Roland Höhen-Power-Industrie – HPI die moderne Industriebeleuchtung	289
Polle, Dieter & Pিকেlein, Andreas Die Steuerung der Lichtverteilung im Raum und die Akzeptanz des modernen Büroarbeitsplatzes	291
Schütz, Ottokar Büro-Lichtsysteme mit lichtlenkenden, transparenten Medien	300
Material und Messung	Seite
Ewald, Jürgen Superhydrophile photokatalytische Oberflächen – oder ein Lotus-Effekt in der Lichttechnik?	308
Bieske, Karin & Fisch, Joachim & Gall, Dietrich Messung ultraschwacher Photonenströme	317
Willing, Achim Ein neues lichttechnisches Konzept zur Inspektion der Farbe und Oberflächen- beschaffenheit an fertig lackierten Karosserien in der Automobilindustrie	325
Küster, Harald Aluminium-Reflektorband mit hoher, spektral gleichmäßiger Reflexion im UV	336
Schmidt, Franz & Fischbach, Ingo Nahfeldfotometrie – Neue Wege zur Spezifikation lichttechnischer Objekte	340
Blankenhagen, Carsten Messung geringster Fotoströme – ein Meßprinzip mit hoher Dynamik und ohne Meßbereichsumschaltung	351

Inhaltsverzeichnis

Jordanow, Wladimir Dimensionierung und Qualitätsüberprüfung technischer Bestrahlungsanlagen	360
Ünver, Rengin & Dokuzer Öztürk, Leyla Beziehung zwischen Fassadenfarbe und Farbverschmutzung	370
Ausbildung	Seite
Hoffmann, Daniel & Schwenzner, Karin Die Licht Akademie: Ein Forum für das Wissen vom Licht	377
Römhild, Thomas & Bast, Stefanie Begründung zur Einführung des Studienganges ARCHITECTURAL LIGHTING DESIGN	379
Römhild, Thomas Architektur und Licht – Lichtsymbolik	384
Seifert, Dirk Anwendung von Lichtdemonstrationen – nicht nur in der Aus- und Weiterbildung	391
Internationale Normung	Seite
Seidl, Michael CEN, ISO, CIE – auf dem Weg von nationaler Regelsetzung zur internationalen lichttechnischen Normung	396
Çakir, Ahmet & Çakir, Gisela Neue Europäische Norm für die ergonomische Gestaltung der Arbeitsumgebung bei Büroarbeit mit Bildschirmgeräten	404
Schmits, Paul W. Arbeitsstättenbeleuchtung in Deutschland nach der EN 12464 – ein Ausblick	416
Weis, Bruno Notbeleuchtung: Neue europäische und internationale Vorschriften	421
Class, Robert Erläuterungen zur kommenden EN 13201 Straßenbeleuchtung	426



Planung von Innenraum-Beleuchtungsanlagen	Seite
Lohr, Alex & Franzen, Florian & Kort, Alexander & Schuffenhauer, Andreas & Sielski, André NESA – Planungshilfe Büroarbeitsplatz: Integriertes EDV-Programm zur komfortgerechten, energieeinsparenden, solar- und tageslichtnutzenden Planung sowie Optimierung von Büroarbeitsplätzen	431
Wittkopf, Stephen Computerunterstützte Lichtplanung in der Architektur – Neue Ansätze zur Evaluierung qualitativer Lichtplanung	439
Schöffel, Frank & Kresse, Wolfram & Müller, Stefan Innovative Ansätze zur virtuellen Beleuchtungsplanung	447
Reinheckel, Jens Lichtsimulationen	457
Schmidt, Hans-Joachim Die Realität und ihre Abbilder	460
Luger, Siegfried Computer Aided Planning – Die Planungstreppe zur Lichtlösung	464
Apian-Bennewitz, Peter & Altmann, Kurt Photorealistische Lichtsimulation unter Praxisbedingungen: Lightscape, Radiance & Co	472
de Boer, Jan & Erhorn, Hans Erweiterte Einsatzmöglichkeiten der internationalen Lichtplanungssoftware ADELINe in der neuesten Version	475
Çakir, Ahmet & Çakir, Gisela Licht im Büro – Eine interaktive Hilfe rund um die Bürobeleuchtung	481
Köknel Yener, Alpin Energieeinsparung in Grundschulklassenräumen	485
Schwartz, Lothar Niederspannungsnetz als Datennetz?! LON-BUS-POWERNET zur Lampenkontrolle in der Straßenbeleuchtung	493
Steiner, Andreas System ABSS – Adressierte Beleuchtungssteuerung mit Statuserfassung	500

Inhaltsverzeichnis

Tageslicht und Lichtmanagement		Seite
Belendorf, Heiko & Aydinli, Sirri & Kaase, Heinrich Ein praxisorientiertes analytisches Verfahren zur energetischen und lichttechnischen Bewertung tageslichtabhängiger Kontrollsysteme		509
Jong, Lily & van Dijk, Harry Komfort als Ausgangspunkt – Die Notwendigkeit der Integration eines Gebäude- Verwaltungssystems		519
Pohl, Wilfried & Scheiring, Christoph & Gstrein, Manfred Einfluss von Tageslichtsystemen auf Licht, Klima, Energie und Kosten		523
Hawwary, Jamal Vereinfachte Berechnung der jährlichen relativen Nutzbelichtung		530
Bänziger, Thomas Energie-Management in der Beleuchtung – Ökonomie durch Ökologie		540
Erhorn, Hans & de Boer, Jan Tageslichttechnische Planungswerkzeuge – entwickelt im Subtask „Daylighting Design Tools“ des internationalen Projektes IEA Task 21		550
Görres, Markus Erfahrungen bei der Installation und Inbetriebnahme einer tageslichtabhängig geregelten Beleuchtungsanlage in einer Industriehalle		558
Gottschlich, Gerd Umweltbewusst – Sein und Handeln – Energiesparende Beleuchtungsregelungen für Hallen mit Hochdrucklampen		563
Lichtwirkungen		Seite
Kokoschka, Siegfried Modelle der visuellen Leistungsfähigkeit für die Innenbeleuchtung		569
Tenner, Ariadne & van Lith-Górnicka, Grazyna & van Kemenade, Johan Licht im Büro, eine Herzensangelegenheit?		581
Fleischer, Susanne & Krueger, Helmut & Schierz, Christoph Zeitliche und örtliche Veränderungen der Helligkeitsverteilung in Büroräumen		587
Witting, Walter Neue Ergebnisse zur objektiven und quantitativen Erfassung und Bewertung der psychophysischen und visuellen Belastung bei Bildschirmarbeit im Vergleich verschiedener Tages- und Kunstlichtsysteme		593



Methling, Dieter Optometrische Untersuchungen für Sehbeeinträchtigungen und ihre Beziehung zu beleuchtungstechnischen Bedingungen	607
Schultz, Volkher Modell der visuellen Wahrnehmung (Sehmodell)	618
Lindner, Heinrich & Rinnert, Torsten & Behrens-Baumann, Wolfgang Die Beleuchtungssituation im Wohnbereich von Sehbehinderten	624
Milch, Stefan Analyse von Bildfolgen am Beispiel der Gesichtserkennung	627
Fisch, Joachim & Bieske, Karin Leben mit optischer Strahlung	633
Eckert, Martin & Carraro, Ulrich & Jordanowa, Shiwka & Kschischenk, Holger Erkennbarkeitsweiten von bekannten Personen bei verschiedenen Straßenbeleuchtungen	642
Böger, Jörg Lichttherapie – Leuchtdichte oder Beleuchtungsstärke	651
Eckert, Martin & Jordanowa, Shiwka Erkennung bzw. Wiedererkennung von flüchtig bekannten stilisierten Gesichtern	656
Tageslicht	Seite
Meutzner, Jan Tageslicht als Grundbeleuchtung im Büro und in Betriebsstätten... verwendbar, umweltfreundlich, bezahlbar?	664
Fild, Holger & de Laet, Ivan & Taeymanns, Frans & van Tichelen, Paul & Vanuytsel, Greet & Zonneveldt, Laurens Ein einfaches System für Tageslichtlenkung	672
Sick, Friedrich Eine Praxis-Methode zur Bewertung der Tageslichtqualität in Innenräumen	680
Rosemann, Alexander & Kiwull, Nikola & Kloss, Sven-Holger & Müller, Thomas & Kaase, Heinrich Innenraumbeleuchtung mit Hohllichtleitern	693

Inhaltsverzeichnis

Velds, Martine & Knoop, Thomas Gesamtheitliche Bewertung der Qualität von tageslichtabhängigen Beleuchtungsanlagen	699
Vandahl, Cornelia Bewertung von Sonnenschutzeinrichtungen	707
de Boer, Jan & Erhorn, Hans Praxistauglichkeit neuartiger lichtlenkender Fassadenelemente	717
Hauer, Stefan Untersuchung eines automatischen Blendschutz-Steuersystems zur Verminderung der störenden Einflüsse von Fensterleuchtdichten	726
Müller, Thomas & Kloss, Sven-Holger & Rosemann, Alexander & Kaase, Heinrich & Albert, Dieter & Mingozzi Angelo & Ejheel, Jan ARTHELIO – Zwei Hohllichtleiterbeleuchtungssysteme mit kombinierter Einspeisung von Tageslicht und Kunstlicht der Schwefellampe	731
Kloss, Sven-Holger & Kaase, Heinrich & Müller, Thomas & Rosemann, Alexander Goniophotometrie an Hohllichtleitern	738
Enarun, Dilek & Köknel Yener, Alpin Eine Kategorisierung der Himmelszustände für Ankara/Türkei	744
Architektur und Licht	Seite
Henn, Gunter Die Industrie in das richtige Licht gerückt – Die Autostadt in Wolfsburg und die gläserne Manufaktur Dresden	751
Petzinka, Karl-Heinz Emotion und Sensation – Licht in der Erkenntnis unserer Zeit	757
Gunschera, Andrea Visualisierung – ein Gestaltungsmittel für die Architekturbeleuchtung	758
Hofmann, Harald Von der Quantität zur Qualität – Über neue Wege in der Architekturbeleuchtung	762
Belloni, Paola & Ferdows, Sonja Innovative Lichtlenktechnologie verändert das Gesicht der Bürolandschaft	768
Dee, Hella Lichtkonzept einer Bank am Beispiel Sparda-Bank, Münster	774

Flach, H.-Otto Lichtgestaltung mit Umlenkensystemen (Spiegel-Werfer-Systeme)	777
Schiebold, Tobias Spiegel-Werfer-Systeme als effektive und anspruchsvolle Beleuchtungslösung	782
Visser, Rienk Anwendungsmöglichkeiten für Beleuchtungssysteme mit Lichtrohren	788
Autobeleuchtung	Seite
Völker, Stephan Untersuchungen zur Frage der Bewertung von Lichtstärke und Leuchtdichte der leuchtenden Fläche bei unterschiedlichen Scheinwerfersystemen	794
Diem, Carsten Blickerfassung von Kraftfahrern im dynamischen Straßenverkehr	800
Löbig, Peter Ambiente Innenraumbeleuchtung von Kraftfahrzeugen	810
Lampen und Betriebsgeräte	Seite
Hilbert, Andreas Verkaufsförderung durch moderne Beleuchtungslösungen	817
van der Burgt, Peter J. M. & Sexton, Roger & Kock, Berry Neue Möglichkeiten in der Beleuchtung: Leuchtdioden	823
Grothmann, Knut Effizientere Signalleuchten durch LED-Lichtquellen	837
Schmidt, Erken Beleuchtungsplanung mit TL5-Lampen	840
Schütz, Ottokar Lichtsysteme mit durchstimmbaren Leuchtdichten	845
Bücken, Christian Der Einsatz von Leuchtstofflampen heute und in der Zukunft	849
Fischer, Udo & Haback, Ralf & Klaiber, Fritz Neue Anwendungen von Leuchtdioden	854

Inhaltsverzeichnis

Kaizik, Sören & Schemmel, Bernhard Multilampen-EVG für den Betrieb von 17 verschiedenen Leuchtstofflampen	858
Marx, Peter Neuartige dimmbare elektronische Hochfrequenzbetriebsgeräte für Energiesparlampen, Halogenleuchtstofflampen für Netz- und Niederspannung, Kaltkathoden-Leuchtröhren sowie Leuchtdiodenketten	862
Parrondo, David & Serick, Felix & Kaase, Heinrich Verlustleistungen elektronischer Vorschaltgeräte und Koppeltransformatoren für elektrodenlose Niederdrucklampen	868
Pietzsch, Wolfgang & Wacker, Alfred Die kleinste Netzspannungs-Halogenleuchtstofflampe der Welt – ein Meilenstein in der Lampenentwicklung	876
Wacker, Alfred & Custodis, Udo Die flächenförmige Entladungslampe, eine neue Dimension in der Lichterzeugung	884
Abschlussvortrag	Seite
Schipp, Fritz Licht mit und ohne Elektronik – wohin entwickeln sich die Lichtquellen im kommenden Jahrhundert?	891

Die Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG)
und das Organisationskomitee von LICHT 2000 danken den
spontanen Sponsoren der CD „LICHT 2000 – Tagungsband“

AURALIGHT (Deutschland) GmbH
uwe braun gmbh
EHLEBRACHT AG
Ergonomic Institut
LICHTDESIGN GmbH
LID Licht-Design
PRC Krochmann GmbH
Franz Sill GmbH

Uns verbindet mehr als der Gemeinsame Markt von heute: Europa vor dem Hintergrund gemeinsamer Geschichte und einigem Bewußtsein

Kurzfassung des Vortrages

Horst Callies

Nicht zu Unrecht hat man jüngst davon gesprochen, daß Europa in dieser Zeit der zum Teil schon realisierten, zum Teil vor der Tür stehenden Einführung des Euro vorwiegend unter wirtschaftlichem Gesichtspunkt begriffen und legitimiert wird. Dieses ist zu kurz gegriffen und in gewisser Weise oberflächlich. Jede Völkergemeinschaft braucht zu ihrer Existenz eine fundamentalere Begründung. Hierzu gehört ganz zweifelsohne die Freiheit, die nötig ist für die Gemeinschaft der Mehrheit. „Das Abenteuer Europa wird nur Erfolg haben, wenn auch eine Wertegemeinschaft entsteht“, so äußerte sich 1998 Alfred Grosser. Das alles heißt, daß Europa zum effektiven Handeln auch die innere Übereinstimmung braucht. Diese innere Übereinstimmung, die gemeinsamen Wurzeln des nicht zu bezweifelnden europäischen Pluralismus gilt es aus der Geschichte Europas, wie dieses auch immer zu beschreiben ist, herauszuholen. Es geht ganz einfach um das Identitätsbewußtsein als Europäer, das auf gemeinsamer historischer Erfahrung und unbezweifelbaren Wertsetzungen beruht.

Dieses alles ist auch deswegen um so sinnvoller, als Europa keineswegs zureichend geographisch zu beschreiben ist. Europa ist nur unter politischem und kulturellem Gesichtspunkt zu erfassen. Sicher hat diese Gemeinschaft vieler Kulturen nichtsdestoweniger einheitliche Grundelemente. Dabei hat man sich bewußt zu sein, daß Europa viele Schichten von Identität kennt und man wohl von inneren, mittleren und äußeren „Identitätsringen“ sprechen könnte. Denn zweifelsohne ist Europa im intensiveren historischen Sinne das christliche West- und Mitteleuropa gewesen. Identität meint hier also Herkunft, Einheit Europas aus gemeinsamer Geschichte. Europas Geschichte hat sowohl tiefgreifende Wirkungselemente für längere Zeit bereit gestellt als auch eine Reihe von gewissermaßen punktueller, aber immer wieder zurückrunder Erfahrung.

So wird denn im weiteren in einem ersten längeren Teil die Entwicklung der europäischen Denke und Denk- und Werteidentität aufgezeigt; daran schließen sich einige Bemerkungen zu gerade in der jüngeren Geschichte fundamentalen historischen Erfahrungen, die als Subjekt und Objekt alle Europäer betroffen haben, an.

Prof. Dr. phil. Horst Callies
Historisches Seminar der
Universität Hannover
Im Moore 21
D-30167 Hannover

Unbestritten ist bei allen denjenigen, die sich mit diesem Thema beschäftigt haben, daß die römische Kaiserzeit bzw. die Antike überhaupt wesentliche Fundamente für europäische Weltverständnis, soziale Existenz und Wertekatalog geschaffen hat. Das gilt für die Anfänge der Philosophie wie für die Grundlegung einer politischen Theorie, das gilt für die Grundelemente des Rechts, das gilt für die Wirkungselemente in Kunst, Literatur und nicht zuletzt Historiographie. Die urbane Gesellschaftorganisation als ein wesentliches Zentrum der kulturellen Produktion gründet in mehrfacher Hinsicht auf der römischen Antike. Diese ist insofern ein Substrat westlich-europäischer Kulturentwicklung, von der aus Einflüsse dann auch in die Rand- und mittleren Gebiete Europas gelangt sind. Sieht man etwas tiefer, dann liegt die Bedeutung der Antike in der Befreiung des Menschen vom mythischen Denken im Zuge rationaler Lebensbewältigung, von den Griechen gedacht, von den Römern ins Praktische umgesetzt. Zusammen mit Denk- und Erscheinungsformen der Neuzeit hebt sich dieses Europa von anderen Hochkulturen eindeutig ab. Rationalität ist also ganz zweifelsohne ein wichtiges, Europas Identität ausmachendes Erbe der Geschichte, schon von der Antike her.

Die Herausbildung Europas, das freilich nur einen Teil des römischen Reiches umfaßte, geschah ganz wesentlich in der Phase des Mittelalters, nicht zuletzt im heiligen römischen Reich deutscher Nation. Der mittelalterliche Mensch in Europa erfuhr sich, wenn er denn die Grenzen überschritt, als in einem eigenen Lebensbereich existierend. Die eine Kirche, die überall vorhandene Feudalherrschaft, die städtischen Zentren, die Herausbildung der Könige und Fürstentümer prägten diese Einheit neben vielem anderen. Der Gotik zum Beispiel begegnete man überall in diesen europäischen Regionen. Für die Organisation und den Inhalt der Kirche gilt dieses in besonderem Maße. Europa ist insofern der christlich gewordene und vor allen Dingen gebliebene Teil der antiken Welt. Die Identität Europas ist nicht zuletzt, wenn man erneut etwas tiefer sieht, dadurch hervorgebracht worden, daß die Kirche sich früh auf eine im Diesseits zu bewährende Moral gerichtet hat und damit die Pflichten des Individuums in besonderer Weise betonte. Auch die rationale Scholastik wirkte mit an der Zurückdrängung magischer Elemente des Glaubens.

Gerade in letzterem Sinne hatte sich das enge Europa inzwischen um Slaven und Ungarn (Polen, Tschechen, Slowaken, Slowenen, Kroaten, Preußen, Litauer) vergrößert, auf die nun die Elemente Europas über die Kirche, über die Fürsten und die bürgerliche Welt weiterwirkten. Die Renaissance und der Humanismus, ein von Italien ausgehendes gesamteuropäisches Phänomen hat die Traditionen, die Haltungen und Denkweisen der Antike dann an die Neuzeit in besonderem Maße vermittelt. Die fortschreitende Alphabetisierung und der Buchdruck haben die Entwicklung der individuellen Rationalität weiter gefördert. Die Kultur der Selbstbeherrschung, wie man gesagt hat, und der Selbstbeschränkung machten zusammen damit europäische, am ehesten westeuropäische Mentalitätsformen aus.

Die westeuropäische Philosophie, der einschneidende Vorgang der Französischen Revolution vermittelten den Europäern und dann später von da aus der

weiteren Welt eine neue Idee der Freiheit, der Menschen- und Bürgerrechte. Der sich inzwischen ausbildende Nationalstaat prägte wie in keiner anderen Region der Welt Europa und ermöglichte über die politische Modernisierung die ökonomische Modernisierung, die hinwiederum zusammen mit dem sich durchsetzenden Kapitalismus und der Industrialisierung ihre tieferen Gründe in dem Wesenscharakteristikum Europas – der Rationalität – hatte. Das 18. Jahrhundert und die Französische Revolution stellten die Voraussetzungen für die Aufbrüche des 19. Jahrhunderts zur Verfügung. Zurecht hat man immer wieder als Wesen Europas die Spannung von Einheit und Vielfalt ausgemacht. Diese mußte genauso ausbalanciert werden wie Gesellschaft und Individuum, beides gestützt durch rationale Institutionen und Verfassungen, die auf der Idee der Freiheit und der Menschenrechte beruhen. Das Prinzip des Interessenausgleichs und der Demokratie sind gewissermaßen Erfindungen und Lebens Elemente Europas, das diese als ihr ureigenstes, wenn auch inzwischen in die Welt gegangen, nicht vergessen darf.

Mit den bis hierher aufgelisteten Identitätselementen Europas, die es mit manchem Bereich außerhalb Europas inzwischen teilt, sind gewissermaßen die beglückenden Attribute dieses Erdteils genannt. Aber man darf nicht vergessen, daß zu Europa auch der totale Staat, das Führungsprinzip und der Rassismus gehört haben. Man darf nicht aus dem Auge verlieren, daß die Geschichte Europas häufig die gemeinsame Geschichte von Ängsten nach außen gegenüber dem Fremden und auch nach innen gegenüber dem fremd gewordenen oder fremden Nachbarn gewesen ist. Häufig war, bis in die jüngste Zeit, Europa stark vor dem Hintergrund tatsächlicher oder vermeintlicher Bedrohung. Aber damit wird deutlich, daß sich dieses Europa nicht nur nah ist oder geworden ist durch die Entwicklung allgemein verbindlicher Wertelemente, in Europa verbreiteter Sichtweisen von der Welt nach innen und außen, sondern auch durch gemeinsame historische, zum Teil einschneidende einzelne Erfahrungen: Die Erfahrungen des vordringenden arabischen Islam im Europa des frühen Mittelalters und die durch die Kreuzzüge gewonnenen Sichtweisen vom Vorderen Orient haben z.T. wirksam bis heute das Verhältnis und die Verhaltensweisen gegenüber dem Islam geprägt. Der Vorgang der Reformation und Gegenreformation, ein Vorgang, der alle Bereiche Europas traf, hat Erfahrungs- und Verhaltensmuster zur Verfügung gestellt, die weit, zum Teil bis heute wirken. Von den Erfahrungen der Französischen Revolution habe ich schon gesprochen.

Aber auch eine solche beispielhafte Aufzählung kommt nicht darum herum, die Gemeinsamkeit stiftende Erfahrung der Industrialisierung, die Arbeiterbewegung zusammen mit den sozialen Bewegungen des 19. und 20. Jahrhunderts zu nennen, ganz zu schweigen von den ganz Europa tief ergreifenden Erfahrungen der beiden Weltkriege. Wie wirkungsvoll auch derartige negative Erfahrungen sind, mag man daraus entnehmen, daß gerade die Erinnerung und das Betroffensein durch die fürchterlichen Ereignisse und Folgen des Krieges europäische Länder dann doch zueinander geführt haben.

„Demokratie, Rationalität und Menschenrechte“ sind ohne Zweifel große, der Menschheit förderliche Kulturleistungen dieses Europas. Alle diese Elemente

machen Europas Identität zentral aus. Auf ihnen besonders muß die von Alfred Grosser reklamierte Wertegemeinschaft bestehen. Aber dieses Europa gehört auch zusammen, kommt aufeinander zu, muß aufeinander zukommen, wenn es sich auch der höchst problematischen und negativen Erfahrungen der Vergangenheit versichert. Erst in der Überwindung der Haltungen, die zu Chismen, großen Kriegen, Religionsauseinandersetzungen geführt haben, wird Europa bestehen.

Sehen, Wahrnehmung, Farbe

Helmut Krüger

1. Einleitung

Farben begleiten uns durch den Tag. Je mehr je länger nicht nur bei Tageslicht als Farbe von Körpern, sondern auch in der Nacht mit selbstleuchtenden Objekten. Das Himmelslicht gibt uns eine Ahnung des Wetters und auch der Tageszeit.

An trüben Tagen überwiegen die grau-bläulichen Töne. Das „schwarze“ Licht gibt Anlass zu depressiven Stimmungen. An sonnigen Tagen mit hellen, freundlichen Tönen erwacht neues Lebensgefühl und auch Unternehmenslust.

Im morgendlichen Himmelslicht überwiegen auf Grund des Tyndall-Effektes der Atmosphäre rötliche Töne. Der mittägliche Himmel flimmert weisser. Die Abendsonne taucht die Umgebung wieder in rötliches Licht. Ein roter Himmel begleitet die untergehende Sonne. Die „blaue Stunde“ – ein Effekt der Chappuis Absorption durch die Ozonschicht – schließt den lichten Tag.

Farbe ist ein subjektives Phänomen. Die Farbigkeit, die wir sehen, bestimmen wir teilweise selber. Ohne unsere individuelle Wahrnehmung gibt es keine Farbe. Es gelingt uns offensichtlich bis zu einem gewissen Grad, zwischen der Farbe eines beleuchtenden Lichtes und der Farbigkeit von Körpern zu unterscheiden.

Die Farbe, zwar vom Auge vermittelt, hat im sensorischen Informationssystem unterschiedlichste Grundlagen und Empfindungsqualitäten. Wir können uns dem Phänomen Farbe von verschiedensten Seiten nähern, die im folgenden kurz beleuchtet werden sollen. Farbe hat nicht nur eine physikalische, eine dioptrische, eine physiologische oder lichttechnische Seite, sondern viel bedeutsamer einen informatischen und einen emotionalen Aspekt. Deshalb wird der Begriff Farbe in den folgenden Abschnitten jeweils eine andere Bedeutung haben, ohne dass darauf besonders hingewiesen wird.

2. Farben als physikalisches Phänomen

Elektromagnetische Strahlung lässt sich in ihr Spektrum unterschiedlicher Wellenlängen zerlegen. Ein schmaler Bereich von etwa 380-780 nm ist für das Auge sichtbares Licht. Das Licht lässt sich rein physikalisch durch Angabe einer spektralen Verteilung der Energie des Lichtstroms beschreiben, der auf die Netzhaut des Auges fällt. Der von den Objekten ausgehende Lichtstrom wird bei Selbstleuchtern, wie z.B. einem Bildschirm, von den Objekten selber abgegeben. Im idealen Falle ist das Spektrum, die Farbe unabhängig von der Beleuchtung. Nicht

Prof. Helmut Krüger
Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH-Zürich
Fachbereich: Ergonomie / Arbeit + Gesundheit
ETH-Zentrum
Clausiusstr. 25
CH-8092 Zürich

selbstleuchtende Körper, Objekte sind auf eine Beleuchtung angewiesen. Die spektrale Zusammensetzung des auftreffenden Lichtstroms der Beleuchtung und das spektrale Reflexionsvermögen der Oberfläche bestimmen dann die Farbe der Körper.

Grundsätzlich wird zwischen zwei verschiedenen Arten einer Mischung von Licht unterschieden. Auf der einen Seite steht die additive Farbmischung, wie sie von den selbstleuchtenden Bildschirmen der Computertechnik bekannt ist. Aus den Grundfarben Rot, Grün und Blau wird die Mannigfaltigkeit möglicher Farben erzeugt. Aus der Mischung von beispielsweise drei geeigneten Grundfarben entsteht ein Unbunt, nämlich Weiß oder Grau. Fehlen alle Grundfarben liegt Schwarz vor.

Im Falle der subtraktiven Farbmischung werden dem auf einen nicht selbstleuchtenden Körper auftreffenden Licht durch die Farbpigmente der Oberfläche spektrale Anteile durch Absorption entzogen. So entsteht aus der Mischung von Rot, Gelb und Blau in diesem Falle Schwarz und nicht Weiß. Besondere Effekte ergeben sich bei Körperfarben, wenn die Ebenen von Absorption bzw. Reflexion in verschiedenen Tiefen liegen.

Einen Sonderfall bilden Interferenzfarben, wie sie von Schmetterlingsflügeln und manchen Blüten bekannt sind.

Physikalisch liegt trotz der gewählten sprachlichen Form grundsätzlich nur optische Strahlung verschiedener Wellenlängen, einer bestimmten spektralen Zusammensetzung vor. Der Begriff Farbe ist daher in der Physik eigentlich nicht gerechtfertigt.

3. Farben als dioptrisches Phänomen

Die Dioptrik des menschlichen Auges ist unvollkommen. Neben beachtlichen sphärischen Fehlern gibt es deutliche chromatische Abbildungsfehler. „Rote“ Objekte, die „rote“ Wellenlängen aussenden, und „blaue“ Objekte können deshalb nicht gleichzeitig scharf auf der Netzhaut abgebildet werden. Zwischen einem reinen spektralen Rot und einem spektralen Blau besteht ein Brechungsunterschied von 1,0-1,5 Dioptrien (Abb. 1). Stellt sich die Akkommodation des Auges bei weißem Licht auf einen gelben Spektralbereich ein, ist das Auge für blaue Spektralfarben kurzsichtig und für rote übersichtig. Für blaue Spektralfarben ist der Akkommodationsaufwand damit kleiner, die Farben werden in größerer Ferne wahrgenommen. Für rote Spektralfarben ist der Akkommodationsaufwand größer. Solche Farben erscheinen vergleichsweise näher.

Der spektrale Effekt der Raumtiefe verstärkt sich mit nachlassender Akkommodationskraft im Alter und ist besonders bei farbigen Reklamelichtern deutlich zu beobachten. Für spektrale Gemische, für wenig gesättigte Farben der natürlichen Umwelt, die einen mehr oder weniger grossen Weißanteil enthalten, mindert sich der Effekt je nach spektraler Zusammensetzung.

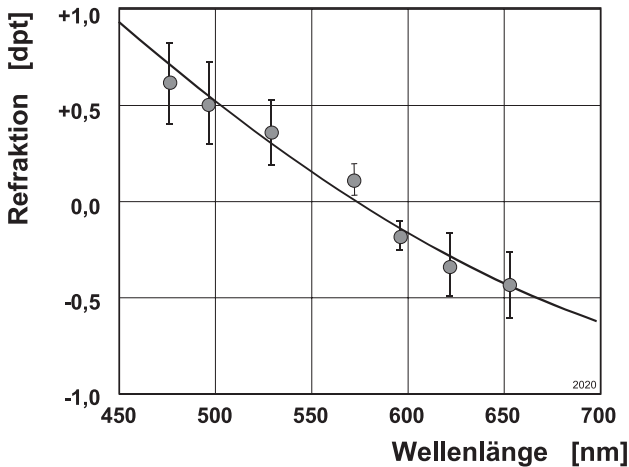


Abb. 1: Chromatischer Fehler der Dioptrik des Auges für spektrale Farben.

Optische Achse und Sehachse der Augen fallen nicht zusammen. Die dadurch vorhandene leichte prismatische Zerlegung der Farben im Auge verschiebt die retinalen Bilder abhängig von der spektralen Wellenlänge ein wenig horizontal gegeneinander. Auch dieser Effekt erzeugt bei intaktem binokularem Sehen eine räumliche Tiefe spektraler Farben (Chromostereopsis). Bei Mikroskopen mit kleiner Austrittspupille kann dieser Effekt zur räumlichen Trennung verschieden farbiger Objekte (blau-rot) genutzt werden.

4. Farben als physiologisches Phänomen

Das Verständnis vom Farbsehen wurde lange Zeit von der Vorstellung von drei Farbkanälen bestimmt, denen die Farben Rot, Grün und Blau zugeordnet werden. Die spektralen Empfindlichkeiten der drei Zapfen-Sensoren sind in Abb. 2 schematisch dargestellt. Rot und Grün sind nur wenig gegeneinander verschoben, während sich der Blau-Sensor deutlich von diesen unterscheidet. Die Sensoren sind zudem nicht gleichmäßig über die Netzhaut verteilt. Die Blausensoren unterscheiden sich nicht nur grundsätzlich von den roten und den grünen, sondern sind auch deutlich weniger an der Zahl.

Die Drei-Kanal Theorie kann verschiedene Effekte nicht erklären. So bleibt offen, warum es Gegenfarben gibt. Wir kennen in der Sprache weder ein gelbliches Blau noch ein bläuliches Gelb. Auch ist nicht einsichtig, warum es neben den Grundfarben Rot, Grün und Blau in vielen Farbsystemen eine zusätzliche Grundfarbe Gelb gibt. Auch die Geschlossenheit des Farbspektrums zum Newtonschen Farbkreis über Magenta (Purpur) zwischen Blau und Rot bleibt offen.

Tatsächlich existieren die angenommenen reinen Farbkanäle nicht durchgehend. Schon auf retinaler Stufe werden von den Opponent-Zellen die Gegenfarbsysteme Rot-Grün und Blau-Gelb mit den Umkehrpunkten bei 570 nm und 500 nm gebildet. An den Umkehrpunkten zeigen die entsprechenden Opponent-Zellen trotz vorhandener Lichtenergie keine Reaktion. Die häufig vertretene

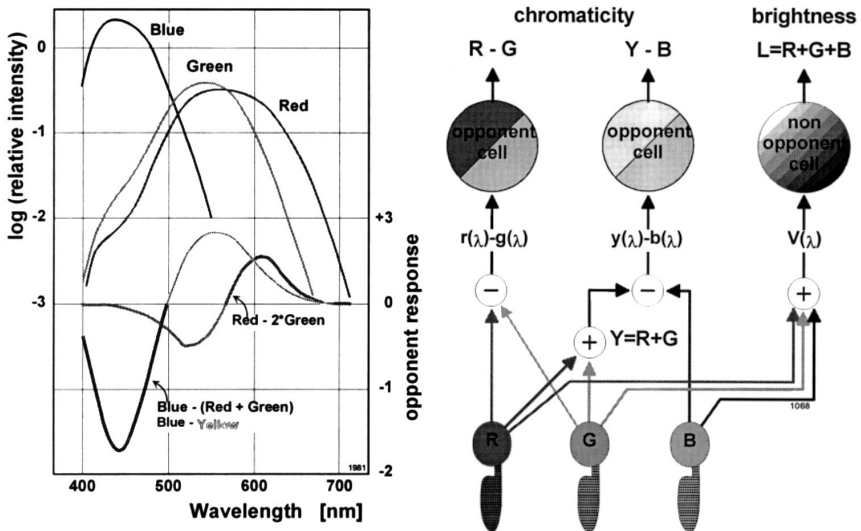


Abb. 2: Informationsverarbeitung im Farbkanal, ausgehend von den drei Rot-, Grün- und Blausensoren, endend im antagonistischen Farbkanal und dem unbunten Helligkeitskanal. Links: die drei Kurven (Blue, Green, Red) repräsentieren die spektrale Empfindlichkeit der Zapfen-Sensoren der Netzhaut. Die vertikale Position von Rot (Red) und Grün (Green) ist so gewählt, daß sie sich bei 570 nm schneiden. Die Blau-Kurve (Blue) ist so gelegt, daß sie die Summe von Rot (Red) und Grün (Green) bei 500 nm schneidet. Die Gegenfarbenwerte Rot-Grün bzw. Blau-Gelb (opponent: Red-Green, Blue-Yellow) im unteren Teil sind entsprechend den angegebenen Gleichungen bestimmt. (n. Boynton, R.M. (1992) Human color vision, University of California, San Diego).

Rechts: Schematische Darstellung der Farbkänäle beginnend mit den drei Zapfen-Sensoren (unten) und endend mit den Gegenfarben-Zellen (oben).

Meinung, grünes Licht sei für das Sehsystem sehr vorteilhaft, kann deshalb wohl in seiner allgemeinen Form nicht aufrechterhalten werden. Zu den beiden antagonistischen Farbsystemen tritt ein drittes Hell-Dunkel-System, in dem die Aktivität der drei primären Farbkänäle zu einem Helligkeitswert addiert werden.

Die Wahrnehmung Farbe kann demnach erst auf einer höheren Stufe als übergeordnetes Phänomen entstehen, ähnlich einem Schmerzreiz, der auch erst auf einer höheren Stufe mit dem Affekt „Wehtun“ belegt wird. Damit erhält der Begriff Farbe eine sehr subjektive Note.

5. Farben als lichttechnisches Phänomen

Unabhängig von aller Subjektivität ist es notwendig, Farben systematisch zu ordnen und auch zu benennen. Für diesen Zweck wurden von Malern, von Psychologen, von Wissenschaftlern und Technikern zahlreiche Farbsysteme entworfen. Die Namen Newton, Lambert, v. Goethe, Runge, Maxwell, v. Helmholtz, v. Bezold, Wundt, Hering, Munsell, Ostwald und Küppers mögen für viele andere stellvertretend erwähnt sein. Allen Systemen ist eine Basis von drei Grunddimensionen eigen. Anschaulich können diese den Begriffen Farbton, Farbsättigung und Helligkeit zugeordnet werden.

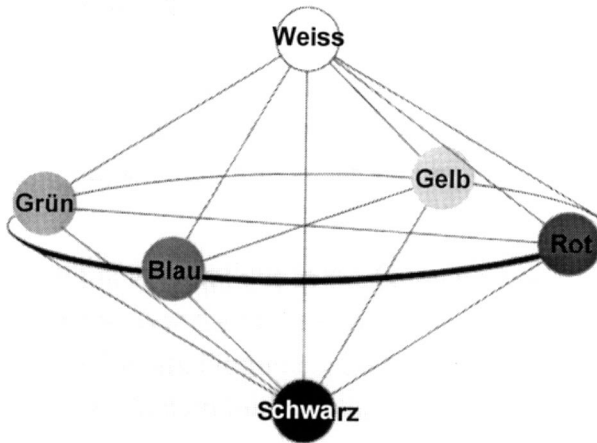


Abb. 3: Beispiel eines Farbsystems.– Ein schwedisches System der natürlichen Farben (NCS).

Neben den genannten Systemen gibt es die modernen Systeme verschiedener Standardorganisationen. Erwähnt seien beispielhaft das schwedische System der natürlichen Farben (Abb. 3), das zur Farbestimmung in Architektur, Design und Mode häufig verwendet wird, und das L,x,y System der CIE. In der Bildschirmtechnik dominieren das RGB-System (Rot, Grün, Blau), das sich an der Technik der Ansteuerung von Bildschirmen orientiert, sowie das HLS-System (Farbton / Hue, Helligkeit / Luminance, Farbsättigung / Saturation) und das HSV-System (Farbton / Hue, Farbsättigung / Saturation, Value). Drei Systeme, die sich weniger an der Physiologie des Sehens als an der Technik orientieren.

Auf die Problematik der Farbsysteme sei kurz am Beispiel des L,x,y Systems hingewiesen. In dem L,x,y-System sind die Farben nicht gleichabständig verteilt. Es spiegelt mit seiner Geometrie nicht einen wahrnehmbaren Abstand der Farben wider. Die Bereiche gleicher, nicht unterscheidbarer Farben werden in der Reihenfolge Blau, Rot, Grün größer. Diese Tatsache hat zur Weiterentwicklung des L,x,y-Systems zum L,u',v' bzw. L*,a*,b*-System der CIE geführt.

Die Farbsysteme tragen dem visuellen Aspekt von Farben Rechnung. Gleiche Farben können unabhängig davon physikalisch auf recht unterschiedliche Weise erzeugt werden. Es gibt eine Metamerie der Farben. Einunddasselbe ungesättigte Gelb kann auf zweierlei Weise als Mischung eines spektral reinen Gelbs mit Weiß oder als Mischung aus Rot und Grün additiv hergestellt werden. Weitere Effekte wie die Abhängigkeit der Farbsättigung von der Feldgröße der Farbe „diese nimmt mit der Grösse der Fläche zu –, die Assimilation von kleinflächigen Farben von der Umgebungsfarbe bzw. der Verschiebung in Richtung der Gegenfarbe bei größeren Flächen, die Instabilität blauer Farben können in den Farbsystemen nicht erklärt, sondern nur beschrieben werden.

6. Farben als informatorisches Phänomen

Sensorische Information wird von den Sensoren hauptsächlich als Differential an höhere Verarbeitungszentren weitervermittelt. Dieses bedeutet aber, dass über absolute Werte nur unzureichende Information vorliegt, diese also aus Erfahrung und Vorstellung ergänzt werden können bzw. müssen. Dabei wird die Konstanz der objektiven Welt vorausgesetzt. Farbillusionen zeigen, wie wenig objektive und subjektive Welt im Einzelfall übereinstimmen müssen und wie stark auch die Macht von Vorstellungen oder besser mentalen Konzepten ist. Auch beim Wissen um die Illusion ist es in solchen Fällen unmöglich, die physikalische Realität hinter der „Illusion“ wahrzunehmen.

Auch können durch eine geeignete örtliche und zeitliche Modulation des auf die Netzhaut auftreffenden Lichtes Pseudofarben erzeugt werden (Benham-Effekt). Obwohl die physiologischen Farbkanäle nicht adäquat gereizt werden, also keine Farben wahrnehmbar sein sollten, entstehen im Gehirn Farben.

Das Phänomen der Farbkonstanz versetzt uns in die Lage, Farben unter verschiedensten Umweltbedingungen als stabile Sinneswahrnehmung definieren zu können. Die Konstanz der Farbwahrnehmung sorgt dafür, daß farbige Gegenstände bei unterschiedlichster Beleuchtung über den Tag ihre Farbigkeit praktisch nicht ändern, obwohl Körperfarben abhängig von der spektralen Verteilung des Tageslichtes eigentlich sehr verschieden sein müssten. Das Weiß eines Blattes Papier behält sein Weiß am Morgen, wie auch am Mittag oder unter einem grünen Laubbaum, obwohl es rötlich, gelblich oder im letzten Falle grünlich aussehen müsste und auf einem Farbfilm auch so erkennbar mit einem Farbstich wiedergegeben wird. Das Wissen bestimmt offensichtlich die Wahrnehmung. Die „Natürlichkeit“ des Lichtes ist anscheinend eine Voraussetzung des Konstanzphänomens, denn unter der extremen Beleuchtung einer Na-Lampe, welche nicht zum gewohnten Erfahrungsrepertoire gehört, nimmt weisses Papier tatsächlich eine gelbe Grundfarbe an. Die Beziehung von Farben zueinander spielt zusätzlich eine grosse Rolle. Leicht fällt es, ein Erröten oder bei einiger Erfahrung eine Gelbfärbung der Haut sehr differenziert zu erkennen, obwohl die Änderungen deutlich geringer ausfallen als diejenigen, die die Haut im Laufe eines Tages bei sich änderndem Tageslicht erkennen ließe.

Die Verarbeitung sensorischer Information stellt den Organismus vor schwierige Aufgaben. Die Flut der einlaufenden Informationen übersteigt deutlich die bewusste Informationsverarbeitungskapazität. Bei der Abbildung durch die Sensororgane treten deutliche geometrische Verzerrungen auf. Die Augenoptik verzeichnet Winkel; die Dichte der Sensoren auf der Netzhaut ordnet dem fovealen Bereich deutlich mehr Sensoren zu als dem peripheren. Die Stabilität des Bildes ist eine weitere aktive Leistung, denn das retinale Bild ändert sich mit jeder Sakkade der Augen. Im Gegensatz zum Bild auf der Netzhaut bleibt der „gesehene“ Raum bei Blickbewegungen stabil. Ein Prozeß, der die Leistung des Auges unterstützt, ist die Abstraktion von Merkmalen. Für diese kennen wir mittlerweile auf neurophysiologischer Ebene komplexe und hyperkomplexe Zellen, die eine solche Merkmalsbildung leisten. Farbe ist ein wichtiges Merkmal. Diese Merkmale stellen für die Gestaltung visueller Oberflächen wieder geeignete Dimensionen

für die Kodierung von Information dar. Das Erkennen von Information benötigt um so mehr Aufwand je mehr Elemente einer Merkmalsklasse benutzt werden. Eine Sprache ist umso schwieriger zu verstehen, je mehr Elemente, je mehr Wörter sie umfaßt. Farben sind um so schwieriger einzuordnen, je mehr verwendet werden. Im Extremfall kommt es zur Assimilation benachbarter Farben.

Merkmale unterliegen offensichtlich einer hierarchischen Ordnung. Bestimmte Merkmale wie Farben und Positionen werden dominanter und schneller erfaßt als andere, wie beispielsweise Buchstaben oder ganze Wörter. Diese Tatsache wird für den sogenannten Stroop-Test genutzt. In diesem Test werden Farbwörter in unterschiedlicher Farbe dargeboten. Statt des lesbaren Farbbegriffs wird in einem solchen Fall überhäufig die tatsächliche Farbe gelesen.

Solche übergeordneten Merkmale haben damit anscheinend gleichzeitig eine hohe Attraktivität. Dieses gilt jedenfalls für Farben. Bewußte Gestaltung kann beispielsweise ein Zurückdrängen dieser vordergründigen Attraktivität zu Gunsten gewollter mentaler Konzepte bedeuten. „Gutes“ Design äußert sich häufig in zurückgenommener Farbigkeit und einer Überbetonung der Form. Eine naive Betrachtung, wie wir sie bei Kindern finden, bevorzugt im Gegenteil eine auffällige Farbgebung mit Betonung großer Farbkontraste, wie Gegenfarben. Die Form wird der Farbe untergeordnet.

Die große Bedeutung von Farbe für eine leichte und eingängige Farbkodierung wird in der Technik häufig eingesetzt. Als Beispiel sei der chemische Anlagenbau erwähnt. Wichtig ist allerdings, daß nur wenige Farben verwendet werden, da das absolute Farbunterscheidungsvermögen im allgemeinen nicht gut entwickelt ist. Die sprachliche Fähigkeit, Farben zu benennen, bestimmt vor allem den interindividuellen Nutzen von Farben als Kodierungsdimension. Differenzierte Farbbegriffe tauchen in der kindlichen Sprachentwicklung erst spät nach der Fähigkeit auf, Farben subjektiv unterscheiden zu können.

7. Farben als emotionales Phänomen

Jede Sinneswahrnehmung hat nicht nur eine externe Objektivität, sondern wird intern affektiv bewertet und attribuiert. Ein wahrgenommener Reiz wird unwillkürlich als schön oder hässlich, als erfreulich oder unerfreulich, angenehm oder unangenehm gewertet (Abb. 4). Eine wichtige Rolle spielen bei dieser Bewertung mentale Konzepte, die eine Person im Laufe ihres Lebens aus sich heraus oder im Einklang mit ihrer Umwelt entwickelt hat. Die Hinzunahme der wesentlich kognitiv bestimmten Attribuierung – eine Wahrnehmung macht krank oder heilt „erklärt die weite Varianz von Betroffenen auf wahrgenommene Reize der Umwelt. Die Attribuierung muß in weit stärkerem Masse als die affektive Bewertung durch mentale Konzepte reguliert werden. Mentale Konzepte regulieren auf der einen Seite Wahrnehmung, Affekt und Attribuierung. Diese wiederum auf der andern Seite verändern und gestalten die individuellen mentalen Konzepte. Vermittelt über die mentalen Konzepte regulieren sie Gedanken, Vorhaben und Handlungen.

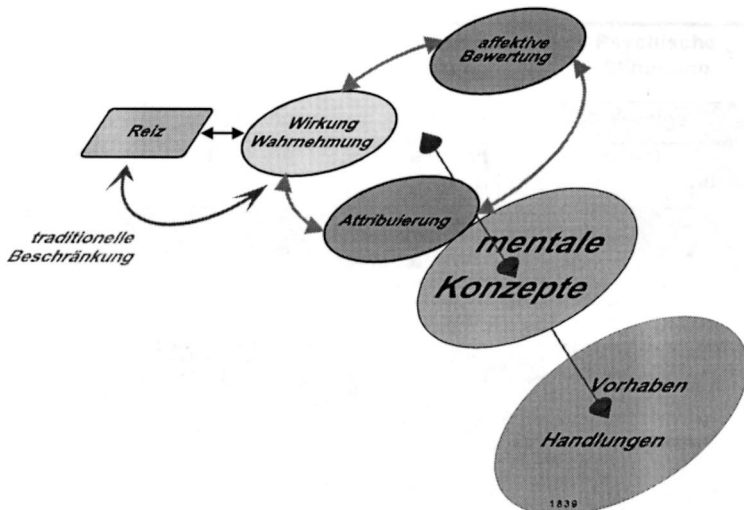


Abb. 4: Verknüpfung von mentalen Konzepten und Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung sowie Gedanken, Vorhaben und Handlungen.

Farben unterliegen der subjektiven Deutung auf der Grundlage mentaler Konzepte in besonderem Masse. Einen Hinweis hierfür lieferte die stark subjektive Färbung der Beurteilung von Farben. Gerade der emotionale Aspekt spielt in Goethes Farbenlehre, über das beschränkte, rein physikalische System von Newton hinausgehend, eine bedeutsame Rolle. „Die Erfahrung lehrt uns, dass die einzelnen Farben besondere Gemütsstimmung geben.“ „Die Farben von der Plusseite sind Gelb, Rotgelb (Orange), Gelbrot (Menning, Zinnober). Sie stimmen regsam, lebhaft, strebend.“ „Die Farben von der Minusseite sind Blau, Rotblau und Blaurot. Sie stimmen zu einer unruhigen, weichen und sehnenenden Empfindung.“ Die Farbenpsychologie befasst sich eingehend mit der emotionalen Farbenerfahrung. Offensichtlich gibt es neben nur subjektiven Gefühlstönen auch allgemein gültige, die allgemein als ähnlich empfunden werden.

Daneben gibt es in vielen Kulturkreisen eine Attribuierung, einen Symbolcharakter von Farben. Dieser existiert für sich als auch verbunden mit der den Farben eigenen Farbwirkung. Er kann von Zeit zu Zeit modisch wechseln wie auch mit der Kultur. So wurden zahlreiche Metasysteme für Farben entwickelt. Eine chinesische, eine indische, eine hebräische, eine islamische und eine liturgische Tradition zeugen davon. In der Symbolik, der Heraldik aber auch der Anthroposophie spielt die Farbe eine besondere Rolle außerhalb des naturwissenschaftlich begründbaren Farbbegriffs.

Der Farbe kann neben der bereits oben erwähnten physiologisch erklärbaren Distanzwirkung eine Temperaturwirkung und eine Beeinflussung der psychischen Grundstimmung zugeordnet werden (Abb. 5). Es gibt warme und kalte Farben. Ein Bild kann aus vorwiegend warmen oder kalten Farben aufgebaut sein. Es können aber auch durch den Einsatz beider Arten Kalt-Warm-Spannungen ent-

stehen. Farben können beruhigend, anregend und aufregend wirken. Alle diese Wirkungen lassen sich nicht allein auf den primären Prozess der Wahrnehmung von physikalischen Reizen reduzieren. Die externen Reize können nur als Auslöser informatorischer Prozesse aufgefaßt werden.

Farbe	Distanz-wirkung	Temperatur-wirkung	Psychische Stimmung
Blau	Entfernung	kalt	beruhigend
Grün	Entfernung	sehr kalt bis neutral	sehr beruhigend
Rot	Nähe	warm	sehr aufreizend, beunruhigend
Orange	sehr nahe	sehr warm	anregend
Gelb	Nähe	sehr warm	anregend
Braun	sehr nahe, einengend	neutral	anregend
Violett	sehr nahe	kalt	anregend, aggressiv, beunruhigend, entmutigend

Abb. 5: Unspezifische Wirkung von Farben.

8. Zusammenfassung

Die Begrenzung der Farbe allein auf physiologisch technische Aspekte wird dem Phänomen Farbe nicht gerecht. Farbe als dominante Kodierungsdimension, Farbe als individueller Informationsträger, Farbe als emotionale Grösse bestimmen über die „Technik“ der Farbe hinaus unsere Erwartungen an farbige Installationen. Je nach Stimmung, je nach Situation erwartet und sucht der Mensch „harmonische“ oder „disharmonische“ Farbigkeiten. Farbgestaltung und auch Lichtfarbe stehen in enger Beziehung zu mentalen Konzepten und deren Veränderlichkeit. Lichtgestaltung bedarf also der aktiven Kommunikation mentaler Konzepte, die einer solchen zu Grunde liegen.

Literatur

- Gage, J. (1994): Kulturgeschichte der Farbe: von der Antike bis zur Gegenwart. Maier; Ravensburg
 Hoeppe, G. (1999): Blau, die Farbe des Himmels. Spektrum, Akad. Verlag; Heidelberg, Berlin
 Pawlik J. (1979): Theorie der Farbe. DuMont Buchverlag; Köln
 Richter, M. (1976): Einführung in die Farbmeterik. Berlin
 Silvestrini, N. (1994): Idee Farbe. Baumann & Stroemer Verlag; Zürich
 Thorell, L.G. & Smith, W.J. (1990): Using Computer color effectively: an illustrated reference. Prentice Hall, Inc.; Englewood Cliffs, New Jersey
 Wyszecki, G. & Stiles, W.S. (1982): Color Science. 2nd Edition, Wiley, New York
 Schierz, Ch. (1993): Wirkung von Linienspektren auf die Akkomodation des Auges. Diss. ETH Zürich

Zum Stand der Innenraumbeleuchtung – ein Überblick

Dipl.-Ing. Peter Dehoff

1. Vorwort

Ein Überblick über den aktuellen Stand der Innenraumbeleuchtung könnte den gesamten Tagungsband füllen. Mein Bemühen ist, einen Blick auf die – aus meiner Sicht – wichtigsten Themen zu werfen, ohne bestimmte Anwendungsfelder der Innenbeleuchtung besonders hervorzuheben. Es kann sich nicht um eine Literaturstudie handeln, vielmehr um eine „zufällige“ Sammlung von Auffälligem.

Die Themen beginnen bei den Rahmenbedingungen, gehen über Technologie und Energieeffizienz bis zu den Aspekten der Qualität von Beleuchtung. Schließlich mündet die Sammlung in das Thema Gesundheit – welches als Schlüsselthema in unserer Gesellschaft das Zeitalter der Information und des Wissens ablösen wird. Welche Folgerungen können wir als Lichttechniker daraus ziehen und welche Themen müssen wir anpacken, um den Stellenwert der Lichttechnik in der Zukunft zu erhalten?

2. Neue Rahmenbedingungen für die Beleuchtung

Der Harmonisierungsprozeß in Europa bringt auch eine Anpassung der nationalen Regelwerke in Licht und Beleuchtung (siehe CEN TC 169) mit sich.

2.1 Neue Begriffe durch die harmonisierten europäischen Normen

Im Rahmen der Harmonisierung der europäischen Normen wurden die generellen Normenwerke jetzt vollendet bzw. stehen kurz vor der Vollendung (siehe Vorträge auf dieser Tagung, u.a. S. 396 bis 430).

In der Innenbeleuchtung, die sehr umfassend von der künftigen EN 12 464 „Beleuchtung von Arbeitsstätten“ erfaßt wird, war der Prozeß des Zusammenführens der verschiedenen europäischen Begriffe schweißtreibend. Der Entwurf des Papiers liegt zur Abstimmung vor.

Für Mitteleuropa sind neue Begriffe zu lernen wie z.B.

- der Wartungswert der Beleuchtungsstärke
- der Arbeitsbereich und seine unmittelbare Umgebung
- der Wartungsfaktor
- das neue Blendungsbewertungsverfahren UGR (Unified Glare Rating).

2.2 LiTG AG: Wartungsfaktor

Die Planung mit individuellen Wartungsfaktoren, die den Alterungs- und Verschmutzungszustand von Lampen, Leuchten und Raum während der Betriebszeit einbeziehen sollen, ist Neuland. Grundlage dafür ist die Schrift der /CIE 97/

Dipl.-Ing. Peter Dehoff
Zumtobel Staff GmbH
Schweizerstr. 30
A-6851 Dornbirn

„Maintenance of electric indoor lighting systems“. Dort sind Wartungsfaktoren für Lampen, Leuchten und Räume aufgeführt, die aus den 70er und 80er Jahren stammen und wahrscheinlich zu pessimistisch für heutige Produkte sind. Moderne Lampen und Leuchten werden derzeit untersucht und vom ZVEI bzw. in der LiTG Arbeitsgruppe „Wartungsfaktor“ gesammelt und aufbereitet. Es wird eine Schrift vorbereitet, die die Planung mit Wartungsfaktoren erläutert.

2.3 LiTG AG: Blendung

Das neue UGR-Verfahren wurde für Anwender im Entwurf einer neuen Blendungsschrift aufbereitet. Dort werden die Verfahren erläutert, wie Blendung bei der Auswahl von Leuchten (z.B. anhand eines Tabellenverfahrens) und in einer Anlage (z.B. durch Berechnungen am Arbeitsplatz) bewertet werden kann.

2.4 FNL 4.7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen

Längst überfällig ist die Aktualisierung der DIN 5035-7 von 1988. Mit Blick auf das neue europäische Normenwerk wird derzeit eine neue Version erstellt, die auf die aktuellen Anforderungen am Bildschirmarbeitsplatz eingeht. Neben der sehr viel klareren Beschreibung der Beleuchtungsaufgaben findet sich die aus der EN 12 464 und der ISO 9241-6 bekannte Anhebung der Grenzleuchtdichte für Reflexblendung für gut entspiegelte Bildschirme auf 1000 cd/m^2 (ab einem Grenzausstrahlwinkel rundum von 65° für direktstrahlende Leuchten).

Näheres im Beitrag von J. Leibig „Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmen“ in diesem Tagungsband, S. 237.

2.5 FNL 4.8: Einzelplatzbeleuchtung

Die DIN 5035-8 wird ebenfalls überarbeitet. Hier spielt der neue Begriff des Arbeitsbereiches eine große Rolle. Die Rahmenbedingungen für die allgemeine und die zusätzliche Einzelplatzbeleuchtung werden derzeit diskutiert.

2.6 Änderung der Planungspraxis?

In der Tendenz erlauben die neuen Ansätze der Norm EN 12 464 eine stärker den Bedürfnissen der Menschen angepaßte Planung. Die Beleuchtungsstärkeanforderungen sind auf die tatsächliche Sehaufgabe bezogen und müssen dort erfüllt werden, wo die Sehaufgabe auftritt – egal ob es sich um eine horizontale, vertikale oder geneigte Fläche handelt. Die Beleuchtungsstärke, die sich in den Normtabellen findet, muß immer mindestens erreicht werden. Das macht die Überprüfung leichter.

Neu werden die Planungsansätze sein. Denn häufig sind Art und Lage der Sehaufgabe im Planungsstadium nicht bekannt. Prinzipiell hat der Planer die Möglichkeit, den Anforderungen angepaßte Beleuchtungskonzepte zu wählen und Beleuchtungsniveaus im Raum abzuwechseln. Die neue Norm präferiert kein Beleuchtungskonzept.

Die bewußtere Wahl der Wartungsfaktoren und die Festlegung eines Wartungsplans wird für bessere Beleuchtungsverhältnisse über die gesamte Betriebszeit einer Anlage sorgen.

Einen Ausblick gibt P.W. Schmits in diesem Tagungsband (S. 416).

2.7 LiTG AG: Büro

Der aktuelle Stand der Bürobeleuchtung mit anschaulichen Beispielen, die nach den Inhalten der neuen europäischen Normen geplant sind, wird erarbeitet. Der Entwurf einer Schrift soll 2001 vorliegen.

3. Technologiesprünge?

3.1 Lichtmanagement

Die schnellsten Entwicklungen innerhalb der Lichttechnik kommen von seiten der Lichtsteuerung. Die Einbindung des Lichts in die Hausleittechnik und verschiedene Bus- und Netzwerktechnologien wie EIB, LON, Luxmate in Verbindung mit elektronischen Betriebsgeräten von Lampen und mit der Einbeziehung von Tageslicht schaffen sehr flexible und vielfältige Möglichkeiten, um Licht bei der Nutzung zu optimieren. Vereinfacht wird die Kommunikation innerhalb dieser Netze künftig durch den Steuerstandard DALI (Digital addressable lighting interface).

Die großen Herausforderungen liegen bei der Nutzerschnittstelle. Die sinnvolle Bedienung des Lichts ist derzeit noch in den Anfängen. Noch ist die Denkweise des Nutzers durch den klassischen Schalter fixiert. Hier gilt es, neue akzeptierbare Lösungen zu finden.

3.2 Lampen

Die Entwicklungen in der Innenbeleuchtung sind häufig mitbestimmt von der Entwicklung der Lampentechnologie. Dort sind es die Steigerung der Lichtausbeute, die Steigerung der Leistungsstufen und die Verkleinerung der Lampen, die immer wieder zu neuen Leuchtenformen führen (siehe Übersichtsvortrag von Wacker in diesem Tagungsband, S. 61).

In jüngster Zeit sind Leuchtdioden in den Mittelpunkt des Interesses gerückt und regen dazu an, sie für die Allgemeinbeleuchtung einsetzbar zu machen (farbig und weiß, lange Lebensdauer, prognostizierte Lichtausbeute um 50 lm/W). Besonders reizvoll ist das Spiel mit Farben.

Bei Leuchtstofflampen setzt sich der Trend zu kleinerer Bauform (dünner bzw. zusammengeklappt) fort. Damit finden wir immer intensivere Lichtquellen mit höheren Leuchtdichten an der Oberfläche. Das Problem der Blendung verstärkt sich dadurch, worauf in der Planung besonders geachtet werden sollte.

3.3 Leuchten

Die spektakulärsten Entwicklungen in der Leuchtentechnik handeln von Lichtleitern. Sowohl Faserlicht als auch Hohllichtleiter finden hier Beachtung. Die Lichtlenkung großer Lichtströme in Gebäuden – Tageslicht über Heliostaten oder Kunstlicht aus Entladungslampen hoher Leistung – wird im Projekt Arthelio /Kasse/ an der TU Berlin erforscht.

In der Leuchtentechnik haben Waveguides neue Möglichkeiten der flachen Bauform und der gezielten Lichtlenkung bei Begrenzung von Blendung aufgezeigt.

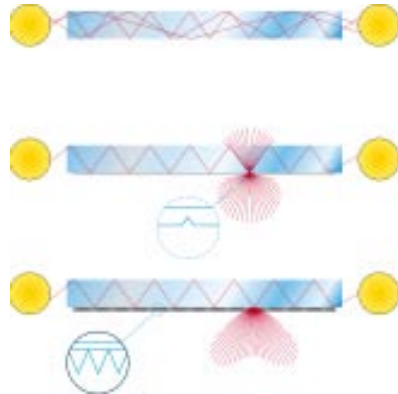


Abb. 1: Waveguide Technologie

4. Energieeffizienz

Die europäische Lampen- und Leuchtenindustrie hat sich schon früh, beeinflusst durch die Energiekrisen der 70er Jahre, um die effiziente Nutzung der Energieressourcen bemüht. Der Einsatz von Leuchtstoff- und Hochdrucklampen anstelle von Glühlampen in kommerziellen und öffentlichen Gebäuden ist ein Zeugnis davon.

Dazu kommen heute die Möglichkeiten des Lichtmanagements. Speziell die Verwendung tageslichtabhängig gesteuerter oder geregelter Anlagen, die Anwendung von Anwesenheitssensoren und Zeitautomatik können erhebliche Einspar-effekte im Verbrauch elektrischer Energie von bis zu 60% bringen.

4.1 Green Light – Energiesparförderung der EU

Die EU fördert Energiesparmaßnahmen und hat mit dem Green Light-Programm eine Initiative gestartet, die die Anwender von energieeffizienter Beleuchtung kennzeichnen soll. Die EU sieht ihre Aufgabe in der Promotion von besonders energiefreundlichen Anlagen durch Werbung, Hinweisschilder am Gebäude, Logos etc. Die Förderung selbst soll die Verwendung energieeffizienter Lampen und Vorschaltgeräte sowie die Verwendung von tageslicht- oder anwesenheitsabhängiger Steuerung oder Regelung betreffen.

4.2 Energie-Klassifizierung von Leuchten

Die Problematik heutiger Energieeffizienzkennzeichnungen besteht darin, daß sich zwar Lampen anhand ihrer Lichtausbeute oder Vorschaltgeräte durch ihren Eigenenergieverbrauch relativ gut klassifizieren lassen. Bei Leuchten schlägt das Vorhaben aber schnell fehl, da hier die Anwendung bekannt sein muß. Ein Strahler, der engbündelnd im Museum über eine weite Distanz zielgenau eine Plastik anstrahlt, mag nur einen Leuchtenbetriebswirkungsgrad von 55% oder gar einen Beleuchtungswirkungsgrad von 30% besitzen, was ihn abqualifiziert, während eine freistrahrende Leuchtstofflampe mit höchsten Leuchtenbetriebswirkungsgraden und immer noch guten Beleuchtungswirkungsgraden glänzt. Einer europäischen Initiative zur zu starken Simplifizierung der Lichttechnik bei

zu übermäßig gewichtetem Energiesparbewußtsein muß durch sachliche Argumente begegnet werden.

5. Tageslicht

Die Tageslichtplanung und die Einbeziehung von Tageslicht in den Beleuchtungsentwurf ist heute eine selbstverständliche Notwendigkeit. Niemand bezweifelt, daß Tageslicht in Arbeitsräumen vorhanden sein muß. Die positiven Qualitäten von Tageslicht sind unbestritten.

Dabei spalten sich allerdings die Geister bei der ökonomischen Betrachtung der Tageslichtnutzung.

5.1 Tageslicht hilft beim Energiesparen

Zum einen ist Tageslicht die Steuerquelle für das Kunstlicht. Die Philosophie heißt: 500 lx am Arbeitsplatz sind gut. Wenn sie durch Tageslicht erreicht werden kann, dann kann das Kunstlicht in entsprechendem Masse zurückgenommen werden. Das hilft beim Sparen elektrischer Energie.

5.2 Tageslicht steigert das Wohlbefinden

Das Bewußtsein, die tageszeitliche Veränderung miterleben zu können, den Blick nach draußen zu haben, die positiven Wirkungen des Tageslichtes zu empfangen, ist die andere Komponente des Tageslichtes. Dazu kommt, daß das Bedürfnis nach Helligkeit im Raum mit steigendem Tageslichtangebot zunimmt /Begemann/. In den mitteleuropäischen Breiten besteht zweifelsfrei ein Hunger nach Licht, der in einem standardisiert beleuchteten Raum – eben mit 500 lx – nicht befriedigt wird, wenn im Verhältnis dazu das Außenlicht sehr hell ist. D.h., daß zeitweise mehr Kunstlicht gebraucht wird, um den Helligkeitsmangel im Innenraum auszugleichen.

5.3 Positive Attribuierung

Tageslicht ist gut. Es gilt gemeinhin als die einzige gesunde und „glücklichmachende“ Lichtquelle. Aus dieser sehr positiven Attributierung erwächst eine kontroverse Haltung zur künstlichen Beleuchtung. Speziell die „hellen“ Leuchtstofflampen gelten manchmal noch als Konkurrenten des Tageslichtes. Die hohe Qualität der künstlichen Beleuchtung mit sehr guten Farbwiedergabeeigenschaften, flimmerfreiem Licht und nötigenfalls kompletter spektraler Verteilung sollte immer wieder ins Spiel gebracht werden, ohne allerdings eine unsinnige Konkurrenzsituation herauf zubeschwören.

5.4 Tageslichtsysteme

Die Nutzung von natürlichem Licht hat zu Lichtlenksystemen geführt, welche das Tageslicht in die Raumbreite lenken /Otti6/.

6. Qualität von Beleuchtungsanlagen

Die Qualität von Beleuchtungsanlagen hat sich in den letzten Jahren zu einem Dauerthema entwickelt. Den Ursprung nahm die Diskussion nach der Feststellung, daß Beleuchtungsanlagen zwar normgerecht geplant sein können, deswegen aber noch lange nicht von den Nutzern akzeptiert werden müssen.

6.1 Die Akzeptanz der Beleuchtung eines Arbeitsplatzes

Die Arbeitsgruppe „Akzeptanz von Beleuchtungsanlagen“ der LiTG definiert „die Akzeptanz als positive Antwort auf die Erwartungshaltung an eine visuelle Darbietung“. In Laborversuchen unter Praxisbedingungen durch /Bodmann/ und /Gall/ und bei Umfragen im Feld durch /Cakir/ wurde festgestellt, daß die wesentlichen lichttechnischen Gütemerkmale mit modernen Beleuchtungssystemen eingehalten werden. /Schierz/ beschreibt die Bewertung der Beleuchtung anhand des mentalen Konzeptes mit der Zuordnung deskriptiver Attribute. Die Akzeptanz und positive Bewertung der Leuchten hängt beim Nutzer stark vom Erscheinungsbild und der individuellen Eingriffsmöglichkeit ab. Die untersuchten Beleuchtungssysteme waren statisch, d.h. nicht regelbar.

Akzeptanz hängt demnach von der Art der Lichtverteilung im Raum und der individuellen Einflußnahme ab.

6.2 Gütemerkmale einer Beleuchtungsanlage

Die physikalisch erfaßbaren Gütemerkmale sind in den Normen wie der /DIN 5035/ beschrieben. Unzweifelhaft müssen in jeder Beleuchtungsanlagen die Anforderungen an

- das Beleuchtungsniveau
- die Helligkeitsverteilung
- die Blendungsbegrenzung (Direkt- und Reflexblendung)
- die Farbwiedergabe

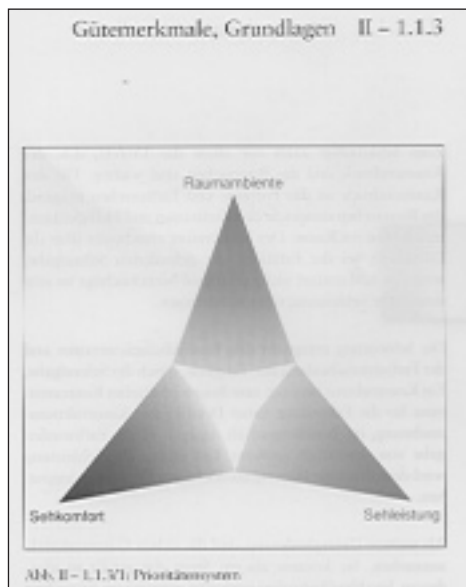


Abb. 2 aus /Lange/

- die Lichtfarbe
- die Lichtrichtung
- die Schattigkeit

erfüllt werden. Für die einzelnen Merkmale werden Maßzahlen angegeben, so daß sie in installierten Anlagen überprüft werden können.

Die Kontrastwiedergabe anhand des CRF (Contrast Rendition Factor) sollte durchaus wieder in die Praxis eingeführt werden, da sie qualitative Aussagen über mögliche Reflexblendung am Arbeitsplatz erlaubt /LiTG13/.

Die klassischen Gütemerkmale der DIN werden in der Neuauflage des Handbuchs der Beleuchtung /Lange/ ergänzt um die Begriffe

- die Ergonomie von Beleuchtungsanlagen
- die subjektiven Kriterien Raumharmonie, Lichtstimmung und Lichtgestaltung
- die Wirtschaftlichkeit.

Als Prioritäten in der Qualitätsbetrachtung der Lichtplanung werden Sehkomfort, Sehleistung und Raumambiente aufgeführt.

6.3 Lighting Quality

Umfassender oder auch „ganzheitlicher“ ist der Ansatz im amerikanischen Handbuch der Beleuchtung der /IESNA/.

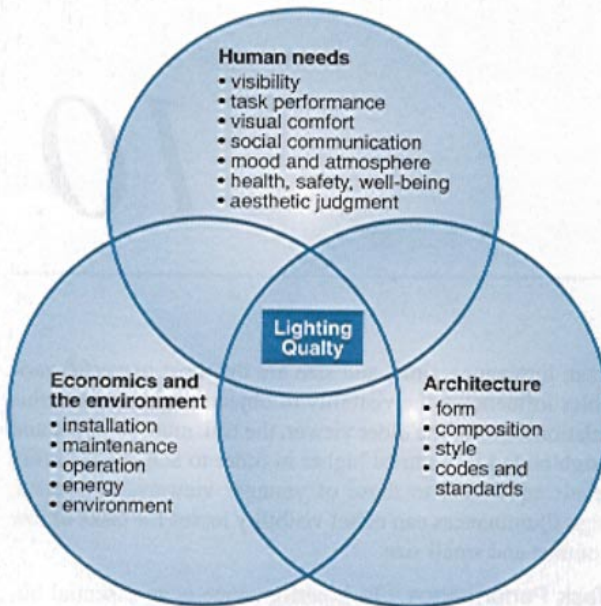


Figure 10-1. Lighting quality: the integration of human needs, architecture, and economics and the environment.

Aufbauend auf Beschreibungen von /Loe/ und Rowlands, die als Ziel der Lichtplanung das Erreichen visueller Annehmlichkeit (visual amenity) sehen. Diese besteht aus der Komposition von Helligkeit (visual lightness: Beleuchtungsstärke und Reflexionsgrade auf den vertikalen Flächen der Umgebung) und visueller Attraktivität (visual interest: Grad der Ungleichmäßigkeit durch Licht und Schatten sowie durch Beleuchtungsstärke- bzw. Leuchtdichte-Übergänge zwischen den Flächen). Die Autoren sehen als Lösung eine maßvolle Umgebungsbeleuchtung und gute Beleuchtung der Sehaufgaben.

Die Eckpunkte des amerikanischen Prioritätendreiecks bilden, frei übersetzt

- die Ergonomie (Anforderungen des Menschen)
- die Ökonomie und Ökologie
- die Architektur.

Lam, zitiert in /Hofmann/, trennt die Beleuchtungskomponenten der visuellen Umwelt auf. Er unterscheidet in drei „needs“: activity needs (funktional), die die Beleuchtung der eigentlichen Sehaufgabe betreffen, biological needs (emotional), die die unbewußte Wahrnehmung der Umgebung betreffen und architectural needs (ästhetisch), die das gestalterische Empfinden ansprechen.

„Um gutes Licht zu planen, muß der Planer die Prinzipien und Prozesse der visuellen Wahrnehmung sowie die menschlichen Bedürfnisse nach visueller Information deutlich verstehen.“
William Lam

6.4 LiTG AG: Qualität von Beleuchtungsanlagen

Die neu gegründete Arbeitsgruppe „Qualität von Beleuchtungsanlagen“ (Leiter: P. Dehoff) nimmt die aktuelle Diskussion auf. Die Vorarbeiten wurden bereits durch die Arbeitsgruppen „Leuchtdichte“, deren Ergebnisse /Hentschel/ zusammenfaßte, und „Akzeptanz von Beleuchtungsanlagen“ geleistet. Ein Ergebnis der Diskussion um das Thema Akzeptanz faßt /Kramer/ in seinen „Acht Geboten des guten Lichts“ zusammen. Er erweitert den Begriff der Qualität um Aspekte der Ästhetik und der Wertung, Orientierung und Einordnung durch den Menschen. Kramer stellt innerhalb der Arbeitsgruppe die Verbindung zum CIE TC 3-34 her, welches unter Jennifer Veitch die „Qualität von Beleuchtungsanlagen“ bearbeitet. Grundlage sind die Beiträge aus dem Symposium „Lighting Quality“ in Ottawa 1998 /CIE x⁰¹⁵/.

„Wir benötigen eine Definition von Lichtqualität, die für das ‚schöne‘ und das Arbeitslicht, für das natürliche wie das künstliche Licht gleichermaßen gültig ist und die nicht nur den Körper des Menschen, sondern auch seine Psyche und das Empfinden, d.h. den gesamten Menschen, berücksichtigt.“
Dr. Heinrich Kramer

7. Gesundheit

Die Wirkungen optischer Strahlung auf den Menschen – im schädigenden wie im heilenden Sinne und zur Beleuchtung der visuellen Umwelt – wurde im Februar in Berlin diskutiert /Symp1/ und soll in 2001 eine Fortsetzung erfahren.

7.1 Lichttherapie und Lichtbedarf

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse liegen seit den 70er Jahren vor. Lichttherapie, d.h. die Bestrahlung durch hohe Beleuchtungsstärke von 2.500 bis 10.000 Lux (am Auge) wird medizinisch angewendet, um SAD (Seasonal affective disorder) mit Erfolg zu heilen /Zulley/. Langsam ist das auch in das Bewußtsein der Lichttechniker eingedrungen.

Besondere Beachtung findet in der laufenden Forschung /Brainard/, /Ehrenstein/, /Cakir/ der Einfluß des Tageslichts auf den Circadianen Rhythmus des Menschen. Das sich über den Tag und das Jahr verändernde natürliche Licht hat den Sehapparat geformt und den Menschen in seiner Wahrnehmungsgewohnheit geprägt. Licht wird in der medizinischen Literatur als „Zeitgeber“ erkannt und seine Auswirkung auf den Hormonhaushalt, insbesondere auf das Hormon Melatonin, ausführlich mit Blick auf die physiologische Stimulierung diskutiert.

Untersuchungen zu bevorzugten Beleuchtungsniveaus und Beleuchtungssituationen in Abhängigkeit von Tages- und Jahreszeit wurden bereits 1993 gestartet und über längere Zeiträume durchgeführt. Es hat sich gezeigt, daß die Nutzer der Büros im Mittel 800 lx „künstliche“ Beleuchtungsstärke zusätzlich zum Tageslicht einstellen. Ein „Tageszeiteffekt“, der die unterschiedliche Lichterwartung am Morgen, am Mittag und am Abend beschreibt, ist aufgrund des circadianen Musters und des Munterkeitsniveaus des Menschen mit biologischer Stimulation zu erklären /Begemann/. Ein Lichtbedarf in künstlich beleuchteten Räumen, der über das in den Normen geforderte Maß an Beleuchtungsstärke hinausgeht, kann daraus abgeleitet werden.

/Moore-Ede/ beschreibt die Munterkeit des Menschen, die über den Tag sehr stark schwankt. Diese sehr naheliegende Erkenntnis wird oft ignoriert. Die Munterkeit wird durch das Umfeld beeinflusst. Höhere Beleuchtungsstärke bzw. größere Leuchtdichten wirken der Ermüdung entgegen.

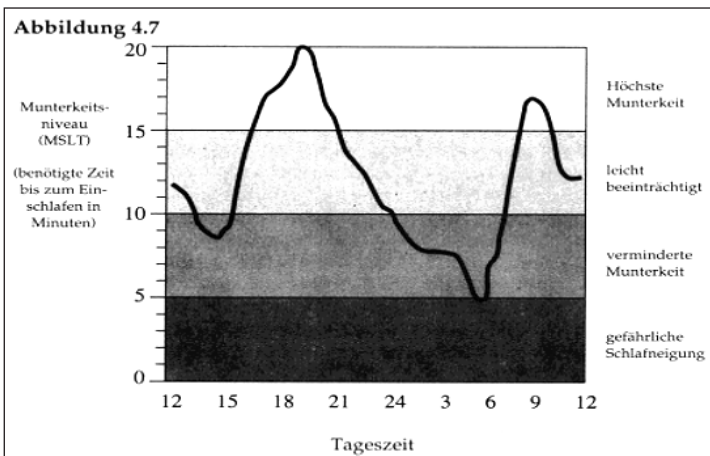


Abb. 4: Beispielhafter Verlauf der Munterkeit über 24 Stunden

/Küller/ und Wetterberg berichten, daß schnelle Lichtwechsel stimulieren, während monotones visuelles Umfeld Inaktivität und Schlafbereitschaft fördert.

7.2 Literaturstudie „Licht und Gesundheit“

Die Berufsgenossenschaften widmen sich im Rahmen ihres erweiterten Präventionsauftrags zur Verhütung arbeitsbedingter Unfallgefahren dem Einfluß von Licht auf die Gesundheit der Menschen in der Arbeitswelt. Es sollen alle Faktoren, die die Gesundheit der Menschen am Arbeitsplatz beeinträchtigen können, berücksichtigt werden.

Sie gaben daher eine ausführliche Literaturstudie in Auftrag, die von Dr. Joachim Fisch an der TU Ilmenau durchgeführt wurde und 773 Literaturstellen zum Thema auflistet. Sie faßt die wichtigsten Aussagen zusammen zu

- Wirkungen optischer Strahlung auf den Menschen
- Aspekte zu photobiologischen Prozeßabläufen beim Menschen
- Schutz vor energiereicher optischer Strahlung

Im Ausblick auf mögliche Forschungsvorhaben weist Dr. Fisch darauf hin, daß sich die Lichttechnik zu stark mit der Erkennbarkeit von Sehobjekten und Gegenständen und dem Wohlbefinden unter künstlicher Beleuchtung beschäftigt hat.

„Fakt ist, daß der Lichtbedarf der Menschen nicht richtig eingeschätzt wurde. ... Die Licht- und Strahlungstechniker, aber auch die Architekten müssen ihre vordergründige Aufgabe in der Entwicklung und Realisierung gesundheitsfördernder künstlicher Beleuchtung sehen. Der Einsatz von Sonnen- und Tageslicht muß wegen seiner lebensfreundlichen und gesundheitsfördernden Wirkungen weiter stärker berücksichtigt werden.“
Dr. Joachim Fisch

7.3 Anwendung auf die Schichtarbeit

In amerikanischen Industrieanlagen und Schaltwarten wird helles Licht, welches gezielt den individuellen biologischen Rhythmus auf die Schichtarbeitszeiten anpaßt, angewendet. In europäischen Betrieben kann diese Anwendung mit dem Eingriff in den biologischen Rhythmus nicht empfohlen werden, da die Schichtmodelle schnellrotierend sind und eine langfristige Umstellung nicht zulassen. Gleichwohl kann helles Licht angewendet werden, um das Schlafverhalten der Schichtarbeiter nachhaltig zu verbessern. Siehe auch Dehoff und Mauch in diesem Tagungsband (S. 273).

8. Veränderung des Lichts

/Krüger/, Vorstand des Instituts für Arbeitswissenschaft und Hygiene an der ETH Zürich, hat hier eine wichtige physiologisch-kognitive Gestaltungsregel formuliert:

„Es ist wichtig, Beleuchtung nicht als statische, über einen Raum und seine begrenzenden Flächen als möglichst gleichmäßige Installation, sondern Beleuchtung als dynamisches Design eines visuellen Raumklimas aufzufassen.“
Prof. Dr. Helmut Krüger

Damit kann ein Schlüssel dafür gefunden werden, wie die besser auf die Bedürfnisse der Menschen eingehen kann:

- Einhalten der lichttechnischen Gütemerkmale
- bei sinnvoller Veränderung des Lichts
- unter Einbeziehung des Tageslichts.

Diese Kriterien machen ein positives Erleben des beleuchteten Raumes möglich. Die Anforderung an Beleuchtungslösungen ist demnach, die Veränderung von Licht bereits sehr früh einzuplanen und das Beleuchtungskonzept so zu entwickeln, daß unterschiedliche Lichtstimmungen möglich sind. Die Veränderung des Lichts als Planungsansatz zu wählen und entsprechende Leuchtenkomponenten und Steuerung einzuplanen, ist der Trend künftiger Lichtlösungen.

9. Nachwort

Die Lichttechnik muß sich interdisziplinär öffnen und die wichtige Bedeutung von Licht für das (Über)Leben der Menschen klarmachen. Licht ist mehr als nur Beleuchtung von Räumen und Gegenständen. Licht ist ein Lebenselixier, und wir alle müssen den Mut haben, diese gesellschaftlich so wichtige Rolle des Lichts in unserem Alltag intensiv zu erläutern und Lichtideen und -lösungen schaffen, die die Menschen gesundhalten, motivieren und begeistern.

Literatur

- Begemann – Begemann, G.J. van den Beld, A.D. Tenner Daylight, „Artificial light and people in an office environment“, S.H.A., Advances in occupational Ergonomics and safety I (1996), S. 192-198
- Bodmann – Bodmann, H.W. u.a. „Lichttechnische und ergonomische Gütekriterien der Einzelplatzbeleuchtung im Büro“ Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Bf 712 1995
- Brainard – Brainard G. C., Bernecker C. A., „The effects of light on human physiology and behaviour“, 1995 CIE Conference New Delhi
- Cakir – Cakir, A., Cakir, G. „Licht und Gesundheit: Eine Untersuchung zum Stand der Beleuchtungstechnik in deutschen Büros“, ERGONOMIC Institut für Arbeits- und Sozialforschung, 3. erweiterte Auflage, Berlin Januar 1998
- CIE-97 – CIE, „Maintenance of indoor electric lighting systems“, Publ. Nr. 97, 1992
- CIE x015 – CIE, „Proceedings of the First CIE Symposium on Lighting Quality“, 9.-10.5.98, Ottawa
- Dehoff, Schmits – Bürobeleuchtung: Erkenntnisstand aus Theorie und Praxis, LiTG Sondertagung „Licht im Büro“ am 24.9.97, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Tb 85 1998, S. 67 - 88
- DIN 1 – DIN 5035 Teil 1 Beleuchtung mit künstlichem Licht: Begriffe und allgemeine Anforderungen, Normenausschuß für Lichttechnik, Juni 1990
- DIN 5035 Teil 2 Beleuchtung mit künstlichem Licht: Begriffe und allgemeine Anforderungen, Normenausschuß für Lichttechnik, September 1990
- DIN 5035 Teil 7, Innenraumbelichtung mit künstlichem Licht: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen und mit Arbeitsplätzen mit Bildschirmunterstützung, Normenausschuß für Lichttechnik, September 1988
- DIN 5035 Teil 8, Spezielle Anforderung zur Einzelplatzbeleuchtung in Büroräumen und büroähnlichen Räumen, Normenausschuß für Lichttechnik, Mai 1994
- prEN 12464 – Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen, Entwurf der CEN TC 169 WG2, April 2000 (nur intern)
- Ehrenstein – Ehrenstein W. „Licht ist der stärkste Zeitgeber des Menschen“, Therapiewoche 43,21 (1993),S. 1198-1205
- Ehrenstein W. „Circadian lighting systems“, International Lighting Review, 1995, 2, S. 64-67

- Fleischer – Fleischer, S., Krueger, H., Schierz, C.: „Forschungsvorhaben Harmonisches Licht. Neue Ansätze zur Kombination von Tageslicht und Kunstlicht“, Licht 98, Tagungsband
- Fleischer, S., Krueger, H., Schierz, C.: „Zeitliche und örtliche Veränderungen in der Helligkeitsverteilung in Büroräumen“, Licht 2000, Tagungsband
- Gall – Gall, D. u.a. „Einzelplatzbeleuchtung und Allgemeinbeleuchtung am Arbeitsplatz“ Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Fb 753 1996
- Hentschel – Hentschel, H.-J. „Bevorzugte Leuchtdichtebereiche in der Innenbeleuchtung“, Licht 5, 1990, S.404-411
- Hofmann – Hofmann, H., Ganslandt, R. „Handbuch der Lichtplanung“, Vieweg Verlag 1992
- IESNA – Illuminating Engineering Society of North America, „The IESNA Lighting Handbook“ 9th edition, 2000
- Kaase – Kaase, H., Kloss, S.H., Müller, T., Rosemann, A., Serick, F. „Arthelio“, Licht 3/2000, S. 326-331
- Kramer – Kramer, H. „Glaubenfrage Lichtqualität“, Professional Lighting Design Nr. 8, 4/1999, S. 36-41
- Kramer, H. – „Die acht Gebote guter Lichtgestaltung“, Licht 98, Tagungsband, S. 438-446
- Krueger – Krueger H. „Wahrnehmung und Befindlichkeit ins richtige Licht gesetzt“, Licht 94 in Interlaken, Tagungsband, S. 13-26
- Küller – Küller R., Wetterberg L., „Melatonin, cortisol, EEG, ECG and subjective comfort in healthy humans: impact of two fluorescent lamp types at two light intensities“, LR&T 25 (1993), S. 71-81
- Lange – Lange H., „Handbuch der Beleuchtung“, ecomed-Verlag, einschließlich 7. Ergänzungslieferung 3/00
- /LiTG13/ – LiTG Publikation Nr. 13 „Der Kontrastwiedergabefaktor CRF – ein Gütemerkmal der Innenraumbelichtung“ 1991
- Loe – Loe D. L., Rowlands E., „The art and science of lighting: A strategy for lighting design“, LR&T 28 (1996), S. 153-164
- Moore – Moore-Ede, M., „Die 24-Stunden-Gesellschaft“, Heyne Verlag, 1993
- OTTI 6 – Sechstes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, 27. und 28. Januar 2000
- Range – Range, H. D., „Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen, Stellungnahme zum anerkannten Stand der Technik“, Licht 3/98, S. 204-209
- Schierz – Schierz C., Krueger H. „Wahrnehmung und Bewertung künstlich beleuchteter Räume“, Licht 96, Tagungsband, S. 392-401
- Schmits – Schmits, P. W. „Wieviel Licht braucht das Büro?“, Licht + Architektur, 2/1999, S. 54-59
- Symp 1 – Erstes Symposium Licht und Gesundheit, Berlin, 25.2.00, Tagungsband
- Zulley – Zulley, J., Wirz-Justice, A. „Lichttherapie“, S. Roderer Verlag, 1999

Außenbeleuchtung gestern – heute – morgen

Wout van Bommel

1. Einführung

Das vergangene Jahrhundert können wir in drei verschiedene Epochen unterteilen: die Epoche der „Industrialisierung“ zu Beginn des 20sten Jahrhunderts; die Epoche am Ende des Zweiten Weltkrieges, die mit dem „Wiederaufbau“ beginnt, und die Epoche gegen Ende des Jahrhunderts, die als „Zeitalter des Umweltschutzes“ bezeichnet werden kann. Jede dieser drei Epochen hat ihre eigenen Entwicklungen und Veränderungen erlebt. In der Epoche der Industrialisierung lag der Nachdruck auf Wirtschaft und rein technischen Lösungen. In der Epoche des Wiederaufbaus wurde auch Lösungen, die für die Zufriedenheit der Menschen sorgten, viel Aufmerksamkeit gewidmet. Schließlich findet in der Umweltschutzepoche eine Verschiebung des Schwerpunkts in Richtung zum Schutz der Umwelt für die Zukunft statt – allerdings geht diese Entwicklung mit einer vermehrten Betonung unseres allgemeinen „Wohlbefindens“ und der „Lebensqualität“ einher. Wir wollen diesen Aspekt berücksichtigen, indem wir im folgenden von „Umwelt+“ sprechen. Wir erwarten, dass sich die letztgenannte Epoche noch einige Zeit in das neue – dritte – Jahrtausend hinein fortsetzen wird.

Wenn wir näher untersuchen, welche Veränderungen während der drei Epochen bei der Entwicklung der Lichtquellen, der Beleuchtungsforschung und den Beleuchtungsanwendungen stattgefunden haben, können wir aus den Ergebnissen dieser Untersuchung schließen, in welche Richtung sich die Beleuchtung in Zukunft entwickeln wird (2000+). In diesem Bericht werden wir uns mit dem Gebiet der Außenbeleuchtung und insbesondere mit der Straßenbeleuchtung befassen.

2. Entwicklungen bei Lichtquellen

2.1 Industrialisierung

Elektrische Beleuchtung wird seit Mitte des neunzehnten Jahrhunderts verwendet. Die erste elektrische Beleuchtung – in Form von Lichtbogenlampen – wurde neben der Gasbeleuchtung eingesetzt. Bei der Weltausstellung in Paris 1881 wurde der breiten Öffentlichkeit die neue Glühlampe vorgestellt, die allmählich den Platz der Lichtbogenlampe und auch der Gaslampe einnahm. Bis 1932 wurden keine neuen elektrischen Lichtquellen eingeführt. Erst in jenem Jahr wurde die erste Gasentladungslampe (Niederdruck-Natrium) in einer Anlage verwendet. Für die Straßenbeleuchtung wurde diese Natriumlampe zu einer wirtschaftlichen und technisch guten Lösung. Ihr folgte schnell die Einführung der Hochdruck-Quecksilberlampe, einer Lampe, die sich in der Straßenbeleuchtung schnell durchsetzte, wo anstelle von gelbem Licht weißes Licht mit einer be-

Ir. Wout van Bommel
Philips Lighting
NL-5600 JM Eindhoven

stimmten, wenn auch niedrigen, Farbwiedergabe bevorzugt wurde: Straßenbeleuchtung im städtischen Bereich. Dass in jenen Tagen „Zufriedenheit“ noch kein Ziel war, kann aus Novellen jener Epoche geschlossen werden, in denen häufig über die „unangenehme bläuliche (Quecksilber) Straßenbeleuchtungsszene“ geschrieben wird.

2.2 Wiederaufbau

Die röhrenförmige Leuchtstofflampe kam kurz vor dem Zweiten Weltkrieg auf den Markt, fand aber erst nach dem Krieg in großem Umfang Anwendung. Während dieser Epoche des Wiederaufbaus bot die Leuchtstofflampe nämlich die Möglichkeit, Beleuchtungslösungen zu schaffen, die nicht nur unter rein technischen und funktionellen Gesichtspunkten, sondern auch im Hinblick auf die Zufriedenheit der Menschen gut waren.

Auch im Bereich der Straßenbeleuchtung wünschte man sich eine bessere und gleichzeitig wirtschaftliche Beleuchtung, insbesondere für Wohngebiete. Die Antwort hierauf war zunächst die Hochdruck-Quecksilberlampe mit Leuchtstoff zur Verbesserung der Farbe. In den späten sechziger Jahren folgte die Einführung der überaus wirtschaftlichen Hochdruck-Natriumlampe. Wirtschaftliches Licht mit hoher Farbqualität wurde auch für Stadien gefordert, da das (Farb-)Fernsehen schnell populär wurde. Hier bietet die Halogenmetalldampflampe, eine effiziente Version der Quecksilberentladungslampe mit Zusätzen von Metallhalogeniden, seitdem eine geeignete Lösung.

Unmittelbar nach der Energiekrise 1973 wurde „Miniaturisierung“ zum Schlüsselwort; sie führte zu der Entwicklung einer Energiesparlampe als Ersatz für die Glühlampe. Die röhrenförmige Leuchtstofflampe wurde erfolgreich miniaturisiert. Diese Kompakt-Leuchtstofflampen sind inzwischen zu einer vollständigen Lampenfamilie für Innen- und Außenanwendungen (kleine Wohnstraßen) herangewachsen.

2.3 Umwelt+

Selbstverständlich hat die effiziente Energienutzung im Zeitalter des Umweltschutzes noch mehr an Bedeutung gewonnen. Ein weiteres für die Umwelt wichtiges Merkmal einer Lampe ist nun ihre Lebensdauer. 1991 wurde ein vollständig neues Lampenkonzept eingeführt: die QL-Induktionslampe mit einer Lebensdauer von 60.000 Stunden.

Wie bereits erwähnt, hat man in der „Umwelt+“-Epoche dem Wohlbefinden in vermehrtem Maße Aufmerksamkeit geschenkt. Dies ist unter anderem daran zu erkennen, dass einem besseren, „weißen“ Licht von gleichbleibender Qualität sowohl bei der Innen- als auch bei der Außenbeleuchtung große Bedeutung beigegeben wird. Sowohl die „weiße Hochdruck-Natriumlampe“ („white SON“, Mitte der achtziger Jahre eingeführt) als auch die keramischen „Mastercolour“-Halogenmetalldampflampen (Mitte der neunziger Jahre) sind daher schnell sehr populär geworden. Speziell die neuen keramischen Metalldampflampen mit ihrer hohen Lichtausbeute (bis mehr als 90 lm/W) und konstanter weißer Lichtfarbe bei einer – im Vergleich zu der „normalen“ Metalldampflampe – langen Lebensdauer

haben schnell einen eigenen Platz in der Außenbeleuchtung erobert: sie werden für die Anstrahlung von Bauwerken und für die Straßenbeleuchtung eingesetzt.

Während des letzten Jahrzehnts ist „Fernbeleuchtung“ mit geschlossenen Glas- oder Kunststofffasern und auch mit offenen Lichtröhren für viele spezielle Anwendungen eingesetzt worden. Häufig handelt es sich dabei um Anwendungen mit „ästhetischem“ Aspekt. Es wäre jedoch nicht überraschend, wenn diese Konzepte in Zukunft auch für funktionelle Lösungen Verwendung finden. Bei der Kraftfahrzeugbeleuchtung wäre zum Beispiel das Konzept einer einzigen, zentral platzierten effizienten Lampe mit Lichtleitfasern denkbar, die für die Verteilung des Lichtes zu den Scheinwerfer- und Schlusslicht-„Lampen“ sorgen.

Eine neue Festkörper-Lichtquelle, die bereits weitverbreitet für die Verkehrssignalisierung benutzt wird, ist die LED (Leuchtdiode). Man ist bestrebt, diese Lichtquelle für Beleuchtungszwecke geeignet zu machen. In der Tat ist es sehr gut möglich, dass sich die LED zu einer Lichtquelle entwickelt, die eine bedeutende Rolle in Beleuchtungsanwendungen spielen wird.

3. Entwicklungen bei Beleuchtungsphilosophien

Bisher haben wir die Entwicklung von Lichtquellen vor dem Hintergrund der drei für das vergangene Jahrhundert definierten Epochen skizziert. Im folgenden Teil dieses Beitrages wollen wir Veränderungen aufzeigen, die bei Beleuchtungsanwendungen und bei der Anwendungsforschung stattgefunden haben und noch stattfinden.

3.1 Industrialisierung

Während der Epoche der Industrialisierung war die Forschung auf den rein technischen Aspekt der Sichtbarmachung von Gegenständen auf der Straße vor einem Fahrzeug ausgerichtet. In den frühen zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts begann Waldram (Großbritannien), die Sichtbarkeit von Gegenständen mit Hilfe seiner berühmten schwarzen und weißen Katzen aus Pappe zu erforschen/1/. Aufgrund seiner Forschung definierte Waldram das „Silhouettenprinzip“ der Straßenbeleuchtung. Dieses Prinzip besagt, dass die meisten Hindernisse auf beleuchteten Straßen (feste Beleuchtung) als dunkle Silhouetten gegen die helle Straßenfläche gesehen werden. Dies ist wiederum der Schlüssel zur Entwicklung des Leuchtdichtekonzepts der Straßenbeleuchtung gewesen, wie es heute noch angewendet wird. Natürlich haben sich auch andere mit der Erforschung der Sichtbarkeit befasst. So führte zum Beispiel de Boer (Niederlande) in einem Freiluftstraßenbeleuchtungslaboratorium statische Sichtbarkeitsmessungen für kleine Landolt-Ringe durch, die in der Mitte der Straße angeordnet wurden/2/. 1979 nutzte der Autor des vorliegenden Beitrages Waldrams ursprüngliches Konzept der „revealing power“, um den Einfluss zu demonstrieren, den die Parameter Leuchtdichteniveau (L_{av}), Gleichmäßigkeit ($U_0 = L_{min}/L_{av}$) und Blendung (Schwellenwerterhöhung T_1) auf die Sichtbarkeit kleiner Gegenstände haben/3/. In Abbildung 1 sind die Ergebnisse dieser Untersuchung dargestellt.

Obwohl Waldram bereits in den frühen zwanziger Jahren auf das Leuchtdichtekonzept der Straßenbeleuchtung hingewiesen hatte, dauerte es bis 1965, bevor

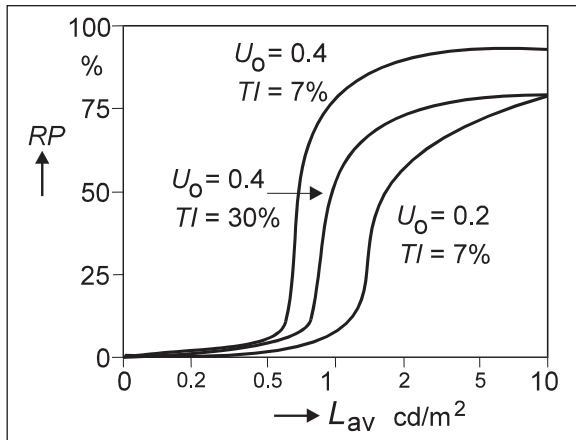


Abb. 1 „Revealing power“ (RP) an der dunkelsten Stelle auf der Straße als Funktion der mittleren Straßenflächenleuchtdichte (L_{av}) für drei verschiedene Kombinationen von Gesamtgleichmäßigkeit (U_o) und Schwellenwerterhöhung (TI). „Revealing power“ ist der Prozentsatz einer typischen Menge von Gegenständen (definiert durch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Reflexionsfaktors von Fußgängerkleidung), der sichtbar ist. Van Bommel, de Boer/3/.

die ersten auf dem Leuchtdichtekonzept beruhenden CIE-Empfehlungen für die Straßenbeleuchtung erschienen. Während der gesamten Industrialisierungsperiode beruhen Anlagen zur Straßenbeleuchtung auf Beleuchtungsstärkewerten. Diese Tatsache ist darauf zurückzuführen, dass es erst in den späten fünfziger Jahren möglich wurde, die Reflexionseigenschaften von Straßenflächen mit ausreichender Genauigkeit zu charakterisieren/4/.

3.2 Wiederaufbau

In den fünfziger Jahren war de Boer einer der ersten Forscher, der dem Sichtbarkeitsaspekt von Straßenbeleuchtung den Aspekt des visuellen Komforts hinzufügte/2/. Diesem „Zufriedenheits“aspekt maß man angesichts der Tatsache, dass Schnellstraßenbenutzer für relativ lange Fahrten relativ komfortable Autobahnen nutzten, einige Bedeutung bei. Anfangs wurde diese Art der Forschung wieder in einem Freiluftstraßenbeleuchtungslaboratorium durchgeführt (sowohl statisch als auch dynamisch), und später auch auf echten Straßen mit wirklichen Fahrern in normalen Fahrzeugen. Die „autofahrenden Beobachter“ wurden gebeten, verschiedene Straßenbeleuchtungssituationen zu beurteilen, die durch verschiedene photometrische Parameter charakterisiert wurden. Diese Art der Forschung hat gezeigt, dass für den Aspekt des visuellen Komforts wieder Leuchtdichtenniveau, Gleichmäßigkeit und Blendungsbegrenzung wichtig sind. Hinsichtlich der Gleichmäßigkeit unterscheidet sich das Kriterium jedoch von dem Gleichmäßigkeitskriterium für die reine Sichtbarkeit. Für den Komfort spielt die Längsgleichmäßigkeit eine wichtige Rolle. Die Konsequenz war, dass – eindeutiger als in der Vergangenheit – maximale Mastabstände vorgegeben werden mussten. Die Bedeutung der Längsgleichmäßigkeit ist auch anhand von vielen

Straßenbeleuchtungs-Simulator-Untersuchungen deutlich geworden. So hat zum Beispiel Walthert, (Schweiz)/5/, einen Simulator (Maßstab 1:50) benutzt, um den Einfluss des Mastabstands auf die Bewertung der Längsgleichmäßigkeit zu untersuchen. In Abbildung 2 sind seine Ergebnisse dargestellt.

Wenn der Mastabstand bei gleichbleibendem Leuchtdichteniveau größer werden darf, kann die Längsgleichmäßigkeit kleiner sein, ohne dass die Bewertung sich verschlechtert. Dies hat heute eine praktische Bedeutung, weil wir oft höhere Masten mit größeren Mastabständen verwenden. Bei diesen größeren Mastabständen ist also eine etwas geringere Längsgleichmäßigkeit möglich, was zu kostengünstigeren Anlagen führt.

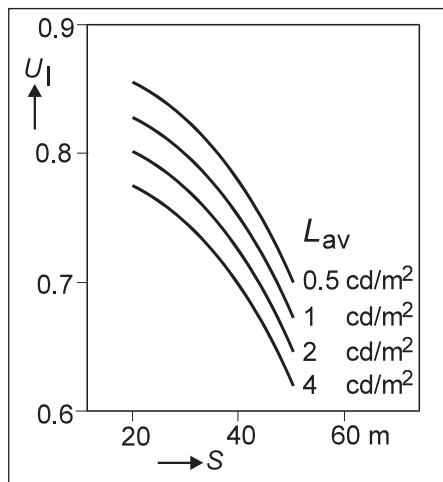


Abb. 2: Gerade noch zulässige Längsgleichmäßigkeit (U_l) in Abhängigkeit vom Leuchtenabstand (s) für vier verschiedene mittlere Leuchtdichteniveaus. (Fahrgeschwindigkeit 50 km/h). Walthert/5/.

(kombiniert mit dem konventionellen Leuchtdichtekonzept) Verbesserungen möglich macht (Narisada/7/).

Wir selbst haben in dieser Zeit auch ausgehend von der Analyse der Fahraufgabe untersucht, wie gut oder schlecht ein Fußgänger, der sich noch nicht auf der Straße, sondern 5 m neben der Straße befindet, vom Fahrer gesehen werden kann. Die in Abbildung 3 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die direkte Umgebung der Fahrbahn für diese Aufgabe mindestens 40 % der Fahrbahnbeleuchtung selbst aufweisen sollte.

Eine weitere wichtige Aufgabe des Fahrers ist die Beurteilung der eigenen Position relativ zum übrigen Straßenverkehr. Fisher und Hall (Australien)/9/ haben in einer Laboruntersuchung analysiert, wie viel Zeit ein Fahrer benötigt, um zu erkennen, dass ein vor ihm fahrendes Auto die Fortbewegung verzögert (noch kein Bremsen, also keine Bremslichter). Abbildung 4 zeigt, dass der Fahrer bei einem höheren Leuchtdichteniveau schneller erkennen kann, wie sich das vor ihm fahrende Fahrzeug verhält. Dies ist für die heutige Verkehrssituation noch wesentlich wichtiger als früher.

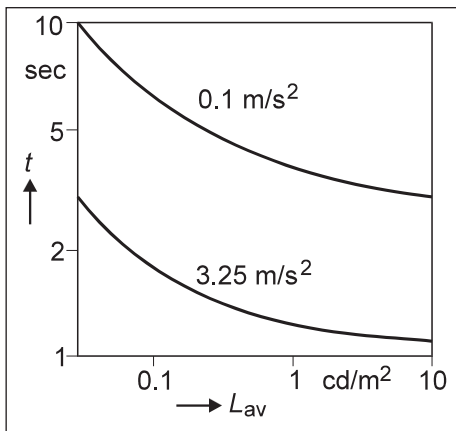


Abb. 3: Mittlerer Erkennungsabstand (d) für Fußgänger 3 m neben der Fahrbahnkante. (Offene Symbole mit Linie: helle Fahrbahnumgebung (40 % der Fahrbahnbeleuchtung), schwarzer Kreis: dunkle Fahrbahnumgebung, schwarzes Viereck: nur eigene Autoscheinwerfer). Van Bommel, Tekelenburg/8/.

entwickelt werden. Es werden Versuchspläne für eine dynamische Beleuchtung erarbeitet, die eine automatische Veränderung der Beleuchtung in Abhängigkeit von der vorherrschenden Verkehrsdichte und den Witterungsbedingungen ermöglichen/12/. Es ist zu erwarten, dass in diesem Jahrtausend zahlreiche neuartige dynamische Straßenbeleuchtungskonzepte eingeführt werden. In einem Versuchsprojekt ist ein vielversprechendes Konzept getestet, mit dem Verkehrsstaus entgegengewirkt werden soll/10/. Anstelle von Markierungsstreifen sind hierbei „Lichter“ in die Straßendecke eingelassen, um die Fahrspuren mit Licht zu kennzeichnen. Diese „Lichtlinien“ können leicht ein- und ausgeschaltet werden oder von durchgehenden Linien in unterbrochene Linien umgewandelt werden. Dieses „dynamische Straßenmarkierungssystem“ kann in

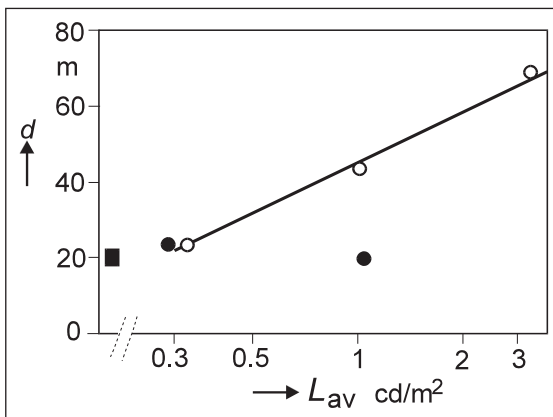


Abb. 4: Zeit (t), die notwendig ist, um eine Änderung in der Fortbewegung eines vorausfahrenden Autos zu erkennen, als Funktion der mittleren Leuchtdichte (L_{av}). Fisher und Hall/9/.

3.3 Umwelt+

Den Schwerpunkt des Interesses bei der Außenbeleuchtung in dieser Epoche können wir mit vier Schlüsselbegriffen charakterisieren: Verkehrsdichte, Stadtverschönerung, persönliche Sicherheit und Lichtemission.

Verkehrsdichte

Heutzutage ist die Verkehrsdichte so groß, dass die Straßenfläche häufig größtenteils durch Fahrzeuge verdeckt wird. In solchen Momenten ist das Leuchtdichtekonzept der Straßenbeleuchtung ohne Bedeutung. Sobald die Verkehrsdichte abnimmt, steigen die Fahrgeschwindigkeiten allerdings an und das Leuchtdichtekonzept gilt wieder. Für Situationen mit hoher Verkehrsdichte müssen vollständig neue Philosophien und Konzepte

Abhängigkeit von der tatsächlich herrschenden Verkehrslage geschaltet werden. In Zeiten hoher Verkehrsdichte mit entsprechend geringen Fahrgeschwindigkeiten kann die Anzahl der Fahrspuren beispielsweise erhöht, aber ihre Breite verringert werden, während ihre Anzahl bei niedrigerer Verkehrsdichte und entsprechend höheren Fahrgeschwindigkeiten verkleinert werden kann, aber ihre Breite vergrößert wird. Dadurch wird es möglich, den Verkehrsfluss auf bestehenden Straßennetzen zügiger zu gestalten. Das Versuchsprojekt hat in die Straßendecke eingelassene Lichtfaser-Bodeneinbauspots genutzt, wobei die Lichtgeneratoren selbst auf der Oberfläche nahe den Straßenrändern platziert werden.

Stadtverschönerung und persönliche Sicherheit

Wenn man bedenkt, welchen Stellenwert „Wohlbefinden“ und „Lebensqualität“ heute haben, ist es nicht erstaunlich, dass auch das Interesse an der visuellen Außenumgebung so groß ist. In den Stunden der Dunkelheit kann die visuelle Umwelt mit Beleuchtung „neu erschaffen“ werden. Dadurch kann einem Stadtbezirk zum Beispiel eine eigene Identität verliehen werden, so dass sich die Einwohner gerne mit „ihrem“ Bezirk identifizieren und stolz auf ihr Wohngebiet sind. Eine attraktive nächtliche Beleuchtung hilft aber auch, Besucher anzuziehen, und trägt dadurch zum wirtschaftlichen Wert des Gebietes bei. Wahre Stadtverschönerung kann jedoch nicht isoliert betrachtet werden. Wohnhausbeleuchtung, Straßenbeleuchtung und die ästhetisch ansprechende Beleuchtung von Gebäuden, Denkmälern und Strukturen sollten in einem einzigen Gesamtplan für ein Gebiet oder eine Stadt integriert werden. Interessant ist, dass wir – soweit es visuelle Qualität betrifft – bestrebt sind, die Außenumgebung mehr und mehr der inneren Umgebung anzugleichen. Dies erklärt, warum bei der Außenbeleuchtung ein deutlicher Trend zu mehr „weißem“ Licht von konstanter Farbqualität vorherrscht.

Ein Thema, dem ebenfalls immer größere Bedeutung in der städtischen Umgebung beigemessen wird, ist die persönliche Sicherheit. Wir haben eine der ersten systematischen Studien durchgeführt, um zu untersuchen, wie Wohnstraßenbeleuchtung zu einem Gefühl von Sicherheit und zur tatsächlichen Sicherheit beitragen kann (Caminada und van Bommel/11/). Das Ergebnis hat gezeigt, dass hier die halbzyklische Beleuchtungsstärke eine große Rolle spielt. Heute ist dieses neue Lichtmerkmal für die Wohnstraßenbeleuchtung in verschiedenen nationalen und internationalen Empfehlungen wiederzufinden.

Lichtemission

Die Beleuchtungsanlagen zur Stadtverschönerung und in größerem Maße auch die Beleuchtungsanlagen für Sportarenen können manchmal zu einer störenden Lichtemission führen, d.h. Licht trifft dort auf, wo es nicht erwünscht und nicht benötigt wird. Diesem Thema wird im Zusammenhang mit Wohlbefinden und Lebensqualität viel Aufmerksamkeit gewidmet, und das zu Recht. Die CIE arbeitet derzeit an einer umfassenden Richtlinie, mit deren Hilfe die Lichtemission minimiert werden soll. Sie enthält photometrische Werte, um die Grenzen der Lichtemission zu spezifizieren. Die Richtlinie unterscheidet in dieser Hinsicht zwischen verschiedenen „Schutzumgebungen“, die von Naturgebieten mit sehr strengen Grenzwerten bis zu Stadtzentren reichen, in denen weniger strenge Grenzwerte

gelten. Auch werden so genannte Stunden „vor und nach der Sperre“ mit unterschiedlichen Grenzwerten vorgeschlagen. Schließlich folgen Empfehlungen für „gute Entwurfspraxis“, um das Lichtemissionsproblem zu minimieren.

Beispiele für Lampen- und Leuchtenentwürfe, die speziell konzipiert wurden, um die Lichtemission zu minimieren, sind die so genannten ArenaVision- und PowerVision-Systeme für die Beleuchtung von Sportstadien bzw. kleineren Sportplätzen. Für Leuchtendesigner liegt hier eine Herausforderung, neue Materialien und Konzepte zu entwickeln, die eventuell auf neuen Lampenkonzepten beruhen, um die Lichtemission weiter zu begrenzen.

4. Trends für 2000+

Wie eingangs bereits erwähnt, sind wir der Meinung, dass die Epoche „Umwelt+“ hinsichtlich der Außenbeleuchtung noch weit ins heutige neue Millennium hineinreichen wird. Die wichtigsten Trends in der Straßenbeleuchtung werden also sein:

- Umweltrelevante Fragen (Energie, Materialien, Abfall)
- Bewertung menschlicher Aspekte
- Höhere Verkehrsdichte und mehr Verkehrsstaus
- Geschwindigkeitsbegrenzungen
- Größere Bedeutung von Sicherheit und Komfort
- Stadtverschönerung
- Kostenrelevante Fragen (Betriebskosten, Wartungs- und Energiekosten).

Für die Beleuchtung bedeutet dies, dass in Zukunft voraussichtlich dynamische Straßenbeleuchtungs- und Führungssysteme mit weitreichender Verwendung von Lichtregelungen eingesetzt werden. Eine intelligente Beleuchtung mit zahlreichen Sensoren zur Regelung der Beleuchtung in Abhängigkeit von Verkehrsdichte, Geschwindigkeit, Witterungsbedingungen und Tageszeit wird wahrscheinlich an der Tagesordnung sein. Der Lichtemission und der Blendungsbegrenzung wird sicherlich mehr Aufmerksamkeit geschenkt, was für die zukünftigen optischen Systeme von Bedeutung sein wird. Weißes, kompaktes Licht wird immer stärker gefragt sein, wobei natürlich auch großer Wert auf eine längere Lebensdauer und eine höhere Lichtausbeute gelegt wird.

Selbstverständlich werden diese Anforderungen an die Beleuchtung bereits heute in der Lampen-, Leuchten- und Anwendungsforschung berücksichtigt.

Literatur

- /1/ Waldram, J.M., „Formation of bright patches“, The Illuminating Engineer (1934).
- /2/ de Boer, J.B., et al., „Appraisal of the Quality of public Lighting based on road-surface luminance and glare“, CIE 14th Session, Brüssel (1959).
- /3/ van Bommel, W.J.M., de Boer, J.B., „Road Lighting“, Kluwer (1980).
- /4/ CIE Publication 66, „Road surfaces and lighting“ (1984).
- /5/ Walthert, R., „The influence of lantern arrangement and road-surface luminance on subjective appraisal and visual performance in street lighting“, CIE 18th Session, London (1975).
- /6/ Gallagher, V.P., „A visibility metric for safe lighting of city streets“, Journal of IES (1976).

- /7/ Narisada, K., „Balance between energy, environment and visual performance“, CIE 24th Session, Warsaw (1999).
- /8/ van Bommel, W.J.M., Tekelenburg, J., „Visibility research for road lighting“, Lighting Research and Technology (1986).
- /9/ Fisher, A.J., Hall, R.R., „Road luminances based on detection of change of visual angle“, Lighting Research and Technology (1976).
- /10/ Sools, F., de Winter, A., Heerkens, J., van der Poel, L., „Dynamic road marking“, CIE 24th Session, Warschau (1999).
- /11/ Caminada, J.F., van Bommel, W.J.M., „New considerations for residential areas“, International Lighting review (1980).
- /12/ Folles, E., Ysselstijn, J., „Dynamische Straßenbeleuchtung (Dyno), neue Generation“, Licht 98, Bregenz (1998).

Lichtquellen und ihre Betriebsgeräte – Status 2000

Alfred Wacker, Stéphan Müller

1. Einleitung

Die künstliche Beleuchtung ist auf Lichtquellen angewiesen, die durch Energieumwandlung Licht erzeugen. Das bedeutet, dass letztendlich alle Fachgebiete, die in dieser Tagung behandelt werden, von der Technologie der Lichterzeugung abhängig sind, das geht von repräsentativer Beleuchtung bis Tunnelbeleuchtung, von Automobilscheinwerfern bis Stadionbeleuchtung.

Lichtquellen besitzen viele Eigenschaften wie z.B.:

- Lichtstrom / Lichtausbeute / Leuchtdichte
- Lichtfarbe
- Farbwiedergabe
- Farbkonstanz / Veränderung
- Maintenance
- Lebensdauer
- Veränderbarkeit der Eigenschaften
- Betriebsweise
- Flickern / Flackern
- Anlauf
- Größe / Abmessungen / Punktförmigkeit / Linie / Fläche
- Sockelanschluss

Lichtausbeute in lm/W	Farbwiedergabe Ra	Lichtfarbe	Farbtemperatur K
683	-	Gelb-Grün (555 nm)	5900
298	63	Tageslichtweiß (3-Linienspektrum)	5900
318	76	Tageslichtweiß (3-Bandenspektrum)	5900
206	100	Tageslichtweiß (kontinuierlich)	5900
194	100	Neutralweiß	4300
161	100	Warmweiß	3000

Abb. 1: Theoretisch mögliche Lichtausbeute bei verlustloser Energieumwandlung

Dipl.-Ing. Alfred Wacker
Dipl.-Ing. Stéphan Müller
OSRAM GmbH
Hellabrunnerstraße 1, D-81543 München

Der Status 2000 für elektrische Lampen für die Allgemeinbeleuchtung muss gespiegelt werden an den theoretischen Grenzen der Lichterzeugung, um ihn bewerten zu können. Die theoretischen Grenzen sind die verlustlose Umwandlung elektrischer Leistung in Lichtleistung, also Watt in Lumen (Abb. 1). Das ist ein ganzes Datenfeld, in das aus energetischen Gründen die Farbtemperatur (blaue Strahlung ist energiereicher als rote) und der Farbwiedergabeindex (Vollständigkeit des Spektrums über die V_{λ} -Kurve) eingehen. So ist ein Eckpunkt z.B. für eine Lichtquelle 3000 K, Ra 100 = Halogeniedervolt-Glühlampe): Man könnte bei verlustloser Umwandlung 159 lm/W erreichen. Tatsächlich sind wir aber bei max. 30 lm/W, d.h. bei 20 % des theoretischen Wertes in der technischen Realisierung angekommen.

Im Folgenden sollen nun die verwendeten Lampentechnologien betrachtet und zusammen mit ihren Betriebsgeräten am Optimum gemessen werden.

2. Technologien zur Lichterzeugung

Natürliche und künstliche Lichtquellen benutzen mit einer Ausnahme die gleichen Technologien (Abb. 2).









	Temperaturstrahler	Lumineszenz	elektrische Strahlung Entladung	Strahlung aus Kristallen
Natürliche Lichtquellen	 Sonne	 Glühwürmchen	 Blitz	<u>Kein</u> natürliches Äquivalent
Künstliche Lichtquellen	Glühlampen  Halogen-Glühlampen 	Leuchtstofflampen 	Entladungslampen (Quecksilberdampf, Halogenmetall dampf, Natriumdampf) 	Leuchtdioden 

Abbildung 2

3. Temperaturstrahler

Hauptlichtquelle für die Menschheit ist der Wärme- oder Temperaturstrahler Sonne. Das Licht der Sonne ist das Maß aller Lichter und es hat den Menschen in seiner Evolution begleitet. Das Licht der Sonne hat faszinierende Eigenschaften:

- Farbtemperatur zwischen 1800 K (Sonnenaufgang/Sonnenuntergang) und 6000 K (Sommer mittags), wobei die Strahlung der Sonne selbst in guter Näherung als die eines schwarzen Körpers von etwa 6000 K betrachtet werden kann.
- Immer voll belegtes Spektrum im sichtbaren Bereich ($R_a = 100$)

Die künstliche Lichtquelle Temperaturstrahler Glühlampe ist ein vergleichsweise müder Abklatsch der Sonne und kann wenig im Vergleich und ist trotzdem die meist verwendete künstliche Lichtquelle der Welt (6 Mrd. Erdenbewohner brauchen jährlich 15 Mrd. Glühlampen, in Deutschland sind es immer noch über 300 Mio. p.a.).

Welche Leistungsfähigkeit hat eine Glühlampe heute?

Allgebrauchsglühlampen für 230-V-Netzspannung:
10-14 lm/W, Farbtemperatur 2400-2700 K, 25-100 W, $R_a = 100$ bei 1000 h mittlerer Lebensdauer (über die Lebensdauerabhängigkeit ein eigenes Datenfeld, auf die 1000 h hat man sich international geeinigt).

Allgebrauchsglühlampen für 120-V-Netzspannung:
25-100 W, 12-17 lm/W, Farbtemperatur 2500-2800 K, $R_a = 100$, bei 750 h mittlerer Lebensdauer, theoretischer Wert zu 10 % erreicht.

Was begrenzt den Lichtausbeutewert?

- begrenzende Temperatur (Schmelzpunkt des Wolframs bei 3680 K)
- hoher Infrarot-Strahlungsanteil in der Strahlung des Wolframs (ähnlich schwarzer Strahler)

Diese „unwirtschaftliche“ Technologie hat ihre Berechtigung ausschließlich durch die einfache Handhabung und eine über 120 Jahre andauernde Gewohnheit.

Halogenglühlampen können es ein wenig besser als normale Glühlampen, speziell Niedervoltlampen. Halogen sorgt dafür, dass die Lampen nicht schwärzen, darum kann man sie so klein bauen (Punktförmigkeit). Über die Niederdrucktechnik und UV-absorbierendes Quarz hat man erreicht, dass sie auch sicher sind. Über IR-reflektierende Schichten, was aber ein optisches System Wendel/Außenkontur verlangt, lässt sich die Lichtausbeute noch um ca. 30 % steigern. Außerdem unveränderte Lichtfarbe und Leuchtdichte während der Lebensdauer.

Halogenglühlampe in IRC-Technologie:
35-50 W, 30 lm/W, Farbtemperatur 3000 K, $R_a = 100$, theoretischer Wert bis zu 20 % erreicht.

Die Halogenglühlampe wird meist da verwendet, wo ihre Punktförmigkeit (gute Lichtlenkung durch Reflektoren) oder Brillianz (R_a , Leuchtdichte) gefragt sind. Weltweit werden heute ca. 1 Mrd. Halogenglühlampen p.a. hergestellt.

4. Niederdruckentladungslampen (Leuchtstofflampen/ Kompaktleuchtstofflampen)

Das meiste künstliche Licht (gemessen in lmh) wird von der Leuchtstofflampe erzeugt: Hg-Niederdruckentladung mit Standard- oder 3-Banden- oder Mehrbandenleuchtstoffen. Der wirtschaftlichste Kompromiss ist die 3-Bandenleuchtstofflampe ($R_a = 80$). Die modernsten Lampen haben nur noch 16 mm Durchmesser (T5) und besitzen die höchste Wirtschaftlichkeit. Diese ist aber auch von der relativen Belastung abhängig. So wurden 2 Reihen entwickelt mit max. Lichtströmen bei 35 °C Umgebungstemperatur: eine mit größtmöglicher Lichtausbeute aber relativ bescheidenen Lumenpaketen (z.B. 145 cm, 35 W, 3650 lm, 104 lm/W) und eine mit größtmöglichem Lumenpaket aber reduzierter Lichtausbeute (z. B. 145 cm, 80 W, 7000 lm, 88 lm/W). Mehrbandenleuchtstofflampen verzichten auf ca 1/3 der Lichtausbeute zugunsten der Steigerung des Farbwiedergabeindex auf 90-99.

Alle Entladungslampen benötigen zur Strombegrenzung Vorschaltgeräte. Die modernsten und wirtschaftlichsten sind elektronische Vorschaltgeräte für 16-mm-Lampen, bei denen man den Stiftstrom auf den Entladungsstrom reduziert hat, d.h. dass die Prüffunktion quer über die Wendel entfällt und durch dynamische Prüfkriterien ersetzt wird („cut off technologie“). Die Verluste der elektronischen Vorschaltgeräte (EVG) sind erheblich geringer als in einem magnetischen Vorschaltgerät (KVG/VVG), reduzieren aber trotzdem die Lichtausbeute des Systems.

Leuchtstofflampe 16 mm T5:

14-35W, 100-104 lm/W, 92-96 lm/W mit EVG, Farbtemperaturen 2700 K, 3000 K, 4000 K, 6000 K, $R_a \geq 80$, mittlere Lebensdauer 20.000 Stunden, theoretischer Wert zu 45 % erreicht!

Jede Abweichung vom Optimum kostet Lichtausbeute:

- Höhere Belastung – 10-30 %
- Höherer R_a – 30%
- Kleinere Leistungsstufe – 10%
- Höherer \varnothing – 5% (T8)-15% (T12)
- Ring statt Stab – 30%

Was begrenzt die Ausbeute?

- Umwandlung UV — Licht
- Elektrodenverluste
- VG-Verluste

Diese Technologie hat ihre Bedeutung v.a. als Standardlichtquelle in der gewerblichen Beleuchtung. Jährlich werden ca. 3 Mrd. Stück weltweit produziert, davon nur ca. 15 % 3-Bandenleuchtstoff. In Europa aber Trend bereits in Richtung 50 %.

Kompaktleuchtstofflampe (KLL) 12 mm T4 (16 mm T5):

5-57 W, bis 75 lm/W, bis 70 lm/W mit EVG, Farbtemperaturen 2700 K, 3000 K, 4000 K, 6000 K, $R_a \geq 80$, mittlere Lebensdauer 8.000 bis 15.000 Stunden, theoretischer Wert zu 35 % erreicht!

Die KLL ist aus der geraden Leuchtstofflampe abgeleitet und hat geringere Lichtausbeute durch

- Faltung (Abschattung) ca. – 10%
- höhere rel. Belastung ca. – 20%

Diese Technologie hat ihre Bedeutung durch ihre geringen Abmessungen (Annäherung zur Glühlampengröße) und ihre vergleichsweise immer noch gute Lichtausbeute und Farbwiedergabe. Anwendung privat (Einschraublösung mit integriertem EVG) und gewerblich (Stiftsockellampen). Weltweit werden jährlich ca. 500 Mio. KLL hergestellt.

5. Hochdruckentladungslampen

Zwei Grundtechnologien sind bekannt: Quecksilber- und Natriumdampfentladung. Von der Hg-Entladung abgeleitet sind Halogenmetalldampflampen, d.h. hier wurde das schmale Emissionsspektrum von Hg (blau) mit Farbanteilen aus anderen Metallen (z.B. seltene Erden) aufgefüllt, so dass hier Farbwiedergabewerte R_a bis über 90 erreichbar sind. Die Brennermaterialien sind bisher Quarz, für kleine Leistungsstufen wurde auch Aluminiumoxidkeramik eingeführt, deren höhere thermische und chemische Stabilität bessere Werte (Lichtausbeute, Farbwiedergabe, Farbkonstanz) zulässt. Hergestellt werden Lampen von 35-3500 W. Natriumdampfhochdrucklampen sind die wirtschaftlichsten Lampen, haben aber ihren Nachteil in der relativ schlechten Farbwiedergabe. Auch Hochdruckentladungslampen brauchen ein Vorschaltgerät, das heute meist magnetisch ist (KVG), EVG sind erst in der Anfangsphase. Kompliziert wird die Technologie durch das Zünd-Anlaufverhalten der Lampen.

Halogen-Metalldampflampe:

35-3500 W, bis 100 lm/W, Farbtemperaturen 3000 K, 4200 K, 6000 K, $R_a \geq 80, 90$, mittlere Lebensdauer bis ca. 15.000 Stunden, theoretischer Wert zu 45 % erreicht.

Diese Technologie hat ihre Bedeutung überall da, wo hohe Wirtschaftlichkeit und gute Bündelung des Lichts erforderlich sind, d.h. wo Punktförmigkeit bzw. deren Annäherung wichtig ist. Anwendung ausschließlich gewerblich von Akzent- bis Stadionbeleuchtung.

Natriumdampf-Hochdrucklampen:

50-1000 W, bis 150 lm/W, Farbtemperatur 2000 K (entsprechend unterbelasteter Glühlampe), $R_a > 20$, mittlere Lebensdauer bis ca. 32.000 Stunden, theoretischer Wert zu 55 % erreicht.

6. LED (Leuchtdioden, Light Emitting Diodes)

LED werden als Lichtquelle zunehmend akzeptiert, sie übernehmen immer mehr Beleuchtungsaufgaben (Automobil, Sicherheit, Allgemeinbeleuchtung im Experimentalstadium). Bisher nur in Farben (Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau) und nun auch in Weiß. Die Lampenindustrie setzt jetzt voll auf diese vierte Technologie. Wichtig hierbei ist, dass die LED als Ableger der Halbleiterindustrie ein hohes

Innovationstempo vorlegen und wir heute am Anfang einer sicherlich rasanten und spannenden Entwicklung stehen.

LED: 0,1-0,2 W, 15 lm/W (weiß), > 50 lm/W (farbig), $R_a = 80$ (weiß), theoretischer Wert (für Weiß) zu 10 % erreicht!

7. Resümee

Die Erzeugung von Licht aus Elektrizität erfolgt mit Wirkungsgraden zwischen 10 und 55 %. Bezieht man sich aber auf die Primärenergie, sinken diese Werte um den Wirkungsgrad der Stromerzeugung z. B. aus fossilen Brennstoffen zwischen 35 % (alte Technologie) und 60 % (neue Technologie). Nehmen wir 45 % im Mittel an, so sind die Gesamtwirkungsgrade nur noch bei ca. 5 - 25 %.

Das Verbesserungspotenzial liegt einerseits in der Erhöhung der Wirkungsgrade der Lampen (Lichtausbeute). Besondere Bedeutung ist natürlich andererseits dem Gesamtsystem zuzumessen: die Reduzierung der Verlustleistungen bei den EVG und die Erhöhung der Leuchtenbetriebswirkungsgrade sind ein entscheidender marktwirtschaftlicher Faktor. Hier gilt es in den nächsten Jahren im Markt u. a. umzusetzen

- Ersatz von Standardlampen 26 mm mit KVG durch 3-Bandenleuchtstofflampen 16 mm mit EVG
- Ersatz von Glühlampen durch Halogenmetallampfen
- Ersatz von Glühlampen durch Kompaktleuchtstofflampen

An diesem Ziel arbeitet unsere gesamte Branche (Lampen-, Leuchtenhersteller, Planer und immer stärker Architekten) und hat auch gute Teilziele erreicht.

Nicht verschwiegen werden sollen gegenläufige Trends:

- gesunkene Strompreise durch Liberalisierung des Stromerzeugermarktes
- oftmals Trennung von Bauherr und Betreiber, was eine wirtschaftliche Lösung verhindert.

Anforderungen zur Sicherung einer lebenswerten Umwelt für uns und unsere Nachfahren sollten uns weiter anspornen, die heute bereits erkennbaren Verbesserungsmöglichkeiten des Systems Lampe/Vorschaltgerät/Leuchte umzusetzen.

Der Einfluss von Energiemanagementsystemen auf das Einsparpotential im Beleuchtungssektor

Jürgen Schmid, Ingo Stadler, Sascha Beverungen

1. Einleitung

Gebäudeautomation und in Gebäudeautomation integrierte Energiemanagementsysteme (EMS) gewinnen vor allem in Büro- und Verwaltungsgebäuden immer mehr an Bedeutung und verbinden eine Vielzahl unterschiedlicher Gewerke, wobei hier nur auf die Beleuchtung eingegangen wird. In diesem Beitrag soll gezeigt werden, dass vor allem durch das Nutzerverhalten bedingte Energiemehrverbräuche wirkungsvoll durch den Einsatz von EMS verringert werden kann. Gleichzeitig wird auch auf deren Risiken bzw. Akzeptanzprobleme hingewiesen und anhand eines sehr innovativen Ansatzes eines dialogfähigen EMS ein Ausweg und die erreichbaren Energieeinsparpotentiale aufgezeigt.

2. Nutzerverhalten und Beleuchtung

Die langjährige Beschäftigung mit dem Thema Energieeinsparung zeigt, dass ohne Ausnahme in jedem Gebäude im bedarfsgerechten Einsatz von Energie wesentliche Ansatzpunkte zur Energieeinsparung bestehen, da in jedem Gebäude zu viel beleuchtet, zu lange gelüftet u.s.w. wird.

Zum Arbeitsbeginn am Morgen ist künstliche Beleuchtung oft notwendig. Wenn es nun außen heller wird, die natürliche Belichtung des Raumes ansteigt, reagiert das menschliche Auge in der Weise, dass es die Pupille schließt. Eine irgendwie geartete Schmerzempfindung ist damit nicht verbunden. Einen natürlichen Antrieb, Licht abzuschalten, gibt es nicht. So kann die künstliche Beleuchtung eingeschaltet bleiben, selbst wenn außen die Sonne scheint./1/ Das menschliche Auge nimmt langsame Intensitätsänderungen wegen seiner großen Anpassungsfähigkeit nicht wahr. Die Kontrastlichtempfindlichkeit des Auges ist logarithmisch: Intensitätsänderungen von z.B. 20% auf 30% ergeben für das Auge nur unbedeutende Änderungen des Lichtreizes von 2% auf 4%. Blickt der Nutzer nicht direkt zur Leuchte, so bemerkt er die Änderung kaum, und das Licht bleibt eingeschaltet. Bei Spiegelrasterleuchten tritt dieses Phänomen noch verstärkt auf, da die Lampe als einzig helles Objekt nur direkt unter der Leuchte wahrgenommen wird./2/

Untersuchungen haben gezeigt, dass „während 60 % der normalen Bürozeit die Leuchten eingeschaltet sind; Die Mehrzahl der Benutzer schaltet bei der Ankunft am Arbeitsplatz das Licht ein (am Abend wird dann das Licht oft erst vom Reini-

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmid, Dipl.-Ing. Ingo Stadler,
Dipl.-Phys. Sascha Beverungen
Universität Gh Kassel
IEE – Rationelle Energiewandlung
Wilhelmshöher Allee 73
D-34121 Kassel

gungsdienst gelöscht); Es konnte kein Zusammenhang zwischen der Menge des Tageslichtes und der Einschaltdauer des Kunstlichts nachgewiesen werden./3/

In den meisten Räumen ist durch getrennt voneinander schaltbaren Lichtbändern auch eine manuelle Möglichkeit zum Energiemanagement gegeben, indem vom Fenster weiter entfernte Lampen länger als Lampen in Fensternähe betrieben werden können. In einem Versuchsgebäude waren jedoch beide Einschaltquoten (Fensterzone und rückwärtige Zone) fast gleich./4/

Neben dem nicht Bemerken unnötig eingeschalteten Lichts wird auch mangelndes Interesse an Energiesparen/3/ als Grund für den unnötigen Energieverbrauch genannt. Ein EMS sorgt dafür, dass nur dann und nur soviel beleuchtet wird, wie die Arbeitsansprüche es erfordern. Es wird noch gezeigt werden, dass ein EMS bedeutend mehr Energie sparen kann, als dies selbst ein aufmerksamer Nutzer zu tun vermag.

3. Akzeptanz automatischer Beleuchtungs- und Jalousiesteuerungen

Mit Hilfe der Gebäudeautomation kann sehr viel Energie gespart werden. Allerdings tritt mit einem erhöhten Automationsgrad nicht nur eine erhöhte theoretische Einsparung in Erscheinung, dann nimmt auch die Unzufriedenheit der Nutzer zu und somit die Akzeptanz der Technik ab.

Ein automatisches Ein- und Ausschalten der Beleuchtung wird vom Nutzer häufig als störend empfunden, was mit der Regelbarkeit der Anlagen zusammenhängt. Dies wird vor allem durch die Physiologie des Menschen bestimmt, der gleitende Übergänge – wie sie in der Natur durch die Dämmerung vorgegeben sind – als angenehm empfindet. Im Gegensatz dazu steht das abrupte Schalten der Beleuchtung./2/

Auch andere EMS-Optionen sind für das Energiesparen gut gemeint, wie z. B. dass „der Präsenzmelder das Kunstlicht erst freigibt, wenn das Tageslicht unter 400 Lux fällt“./4/ Ist die Beleuchtung nicht von Hand einschaltbar, sind Akzeptanzprobleme vorprogrammiert. Es wird immer Situationen geben, in denen der Nutzer trotz des relativ hohen Beleuchtungsniveaus die künstliche Beleuchtung einschalten möchte.

Grundsätzlich darf eine Automation die individuelle Freiheit des Nutzers nie einschränken./5/ Die Nutzer sollen zu jeder Zeit in der Lage sein, in die Steuerung einzugreifen. Andernfalls werden Steuereinrichtungen vom Nutzer außer Betrieb gesetzt (z. B. Lichtfühler überklebt)./4/ Die beste Beleuchtungsteuerung nützt nichts, wenn sie nicht benutzt wird.

Daraus kann jedoch nicht grundsätzlich geschlossen werden, dass durch ein EMS Komfort und Akzeptanz sinken. Eine Tageslichtabhängige Beleuchtungssteuerung, die die Beleuchtungsstärke dem natürlichen Tageslicht anpasst, ist nur ein Beispiel für Komfort, der erst durch ein EMS ermöglicht wird. Die Anpassung kann stufig oder kontinuierlich erfolgen, wobei einer Stufenschaltung die Differenzen zwischen den einzelnen Stufen nicht größer als 30 % sein sollen, um

eine Adaption des Auges an die veränderte Beleuchtungsstärke zu ermöglichen./4/

4. Dialogfähiges Energiemanagementsystem „BySys“

Ziel des europäischen Projektes „Building Energy Management with Smart Systems (BySys)“ ist es, die eben genannten Vorteile von EMS unter Ausschluss deren Nachteile zu nutzen. Dies wird durch eine maximale Eingriffsmöglichkeit des Nutzers in das Systemgeschehen ermöglicht. Im Rahmen des Projektes wurde eine Schnittstelle entwickelt, die es dem Nutzer ermöglicht, dem EMS mitzuteilen, was seine Bedürfnisse und Ansprüche an die Raumregelung sind. Hierzu wurden zwei heute durchaus gebräuchliche Netzwerke miteinander verknüpft: eine EIB-Gebäudeautomation und das TCP/IP-Netz (Internet), siehe Abb. 1.

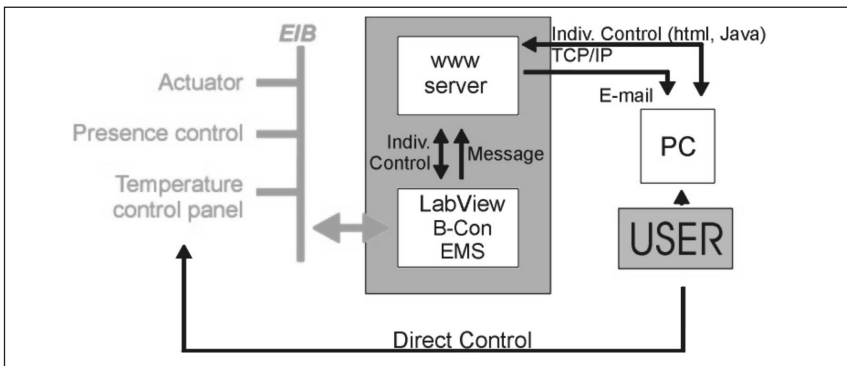


Abb 1: Dialogfähiges Energiemanagementsystem

Damit hat der Nutzer die Möglichkeit, mit der Hilfe eines Internet-Browsers an seinem PC die Einstellungen für seinen Arbeitsplatz vorzunehmen und zusätzlich, wie gewohnt, manuelle Einstellung über EIB-Schalter vorzunehmen.

Beim Design des Systems wurde darauf Wert gelegt, dass mit einer normalen EIB-Installation ohne viele Zusatzkomponenten eine große Funktionalität und Flexibilität erreicht werden kann.

Abb. 2 zeigt die Installation eines Büros. Für die hier näher beschriebene Beleuchtungsautomation sind vor allem der Präsenz- und Helligkeitssensor von Bedeutung. Zentral für das ganze Gebäude ist eine Wetterstation in das EMS integriert. Beleuchtung und auch Jalousie können sowohl über das EMS automatisch wie auch manuell über Tastschalter gesteuert werden.

Einfluss auf das System nimmt der Nutzer über seinen Arbeitsplatzrechner, wo ihm eine komfortable und leicht verständliche Bedienoberfläche das Verständnis und die Benutzung der Automationsmöglichkeiten leicht gemacht werden. Abb. 3 zeigt das Nutzerinterface für die Beleuchtungssteuerung. Der Nutzer hat immer

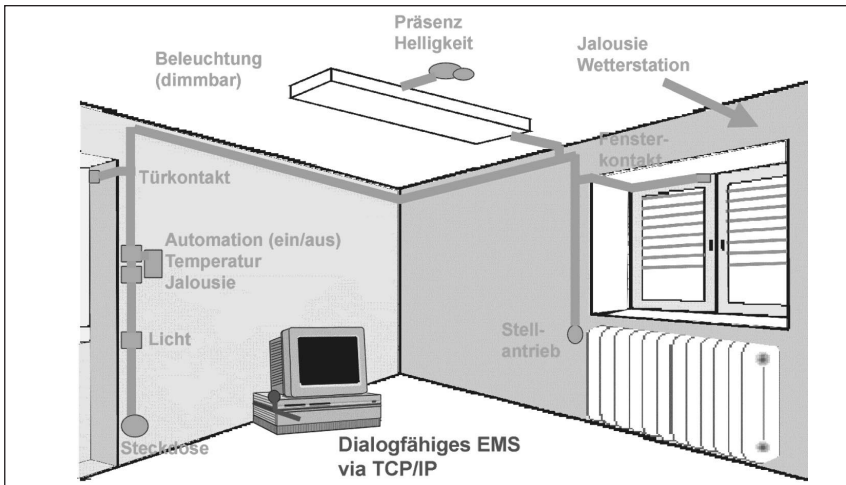


Abb. 2: Benutzer Interface für Beleuchtung

die Möglichkeit die Automatik – sofern sie ihn denn stört – auszuschalten. Zum besseren Verständnis steht ihm links unten eine Online-Hilfe mit der Erklärung der Automatikfunktionen zur Verfügung.



Abb. 3: EIB-Installation in einem BySys-Büro

Der Stromverbrauch für Beleuchtung kann bei Verwaltungs- und Institutsgebäuden bis zu 40 % betragen./2/ Da die Anforderungen an die Menschen im Büro steigen, steigen folgerichtig auch diese an die Güteermkmale der Beleuchtung. Gleichzeitig sollen diese jedoch mit geringerem Energieaufwand realisiert werden. Besser beleuchten mit weniger Energie ist offensichtlich ein Gegensatz, der einer Lösung bedarf./6/ Im Folgenden werden die einzelnen Optionen mit deren Einsparmöglichkeiten näher beschrieben.

4.1 Option: „Automatisches Ausschalten“

Die Aktivierung der Option „Automatisches Ausschalten“ verhindert, dass das Licht eingeschaltet ist, wenn es nicht benötigt wird. Das heißt, das EMS schaltet das Licht automatisch aus, wenn

- die Beleuchtungsstärke durch das Tageslicht ausreichend wäre oder
- sich niemand mehr im Raum befindet.

Oft wird zum tageslichtabhängigen Ausschalten nur eine Sensor-Steuereinheit pro Fassade installiert. Dies ist zwar eine preiswerte Lösung, führt aber aus verschiedenen Gründen zu Unzufriedenheit und damit zu Akzeptanzproblemen. Dabei wird von einer konstanten Verteilung des Himmelslichtes ausgegangen und mit einem konstanten Tageslichtquotienten gerechnet. Dies ist eine Annahme, die nicht zutrifft. Deshalb müssen die Schaltschwellen genügend hoch gewählt werden, um diese Ungenauigkeiten auszugleichen – und dies führt wiederum zu längeren Einschaltzeiten als nötig und damit zu geringeren Energieeinsparungen. Des Weiteren können Sonnenschutzvorrichtungen genauso wenig berücksichtigt werden wie z. B. am Fenster stehende Pflanzen und andere Gegenstände.

Bessere Ergebnisse – sowohl hinsichtlich der Akzeptanz wie auch der Energieeinsparung – liefern EMS, die in jedem Raum einen Helligkeitssensor installiert haben. Darüber hinaus verfügen gewerkeübergreifende EMS wie „BySys“/7/ über

- eine Berücksichtigung der aktuellen Jalousiehöhe,
- des aktuellen Lamellenwinkels und
- eine kontinuierliche Aktualisierung des Tageslichtquotienten. Dadurch werden auch vorübergehende Veränderungen, wie laubfreie Bäume im Winter mit berücksichtigt (Abb. 4 zeigt eine Schar von Messpunkten zur Bestimmung des Tageslichtquotienten).

Die Nachlaufzeit, bis das Licht ausgeschaltet wird, wenn jemand den Raum verlässt, sollte je nach Nutzungsprofil veränderbar sein, um ein zu häufiges Schalten zu verhindern, was sonst vor allem bei konventionellen Vorschaltgeräten in einer verkürzten Lampenlebensdauer resultieren würde. Eine gut eingestellte Nachlaufzeit erhöht wiederum die Akzeptanz bei den Nutzern.

Erzielte Einsparungen:

- in Büros wurde eine Reduktion der Voll-Betriebsstunden gegenüber einer Handabschaltung zwischen 16 % (Einzel-, Doppelbüros) und 36 % (Gruppenbüros) erreicht./2/

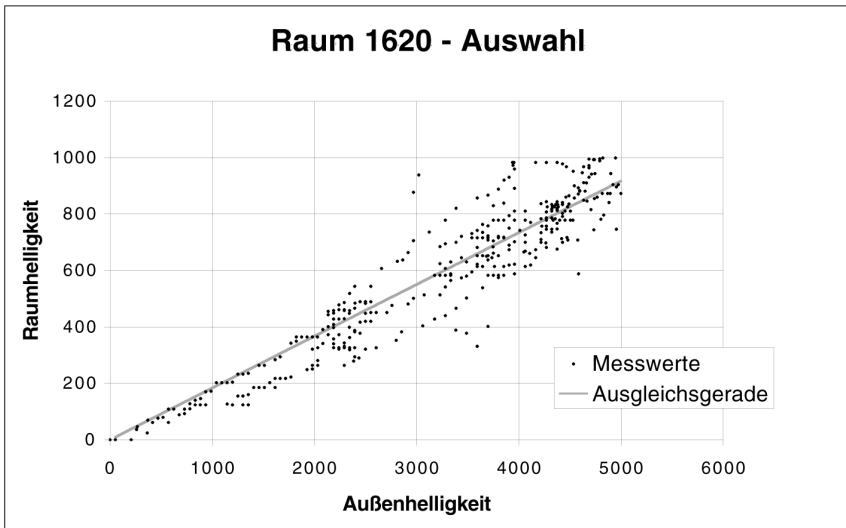


Abb. 4: Kontinuierliche Berechnung des Tageslichtquotienten

- auf Verkehrsflächen in Schulen werden typischerweise bis zu 50 % Energie eingespart,³⁾
- in Klassenzimmern wird berichtet, dass die Energieeinsparung bei ca. 37 % liegt, verglichen mit einem unregelmäßigen System mit manuellem Schalten von drei Reihen gleichzeitig und bei ca. 20 %, verglichen mit manueller, individueller Schaltung der drei Reihen./2/

4.2 Option: „Automatisches Einschalten“

Die Option „Automatisches Einschalten“ schaltet das Licht automatisch ein, wenn

- sich jemand im Raum befindet und
- die Beleuchtungsstärke durch das Tageslicht nicht mehr ausreicht.

Mit dieser Option lässt sich keine Energie sparen, im Gegenteil führt dies sogar zu einem leichten Mehrverbrauch, da manuelles Einschalten bei sehr vielen Menschen erst ab einer Beleuchtungsstärke von unter 125 lx wieder eingeschaltet wird./14/

Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass es Nutzer gibt, die in einem automatisierten Gebäude, in dem Licht automatisch ausgeschaltet wird, auch das automatische Einschalten erwarten. Aus Gründen der Akzeptanz von EMS wurde bei „BySyS“ der häufig ausgesprochenen Empfehlung: „Die eingesetzte Beleuchtungssteuerung sollte nur dafür sorgen, dass das Licht automatisch ausgeschaltet wird. Das Einschalten der Beleuchtung sollte von Hand durch den Benutzer geschehen./14/“ nicht gefolgt, um dem Bedarf auch dieser Nutzer gerecht zu werden.

4.3 Option: „Konstantlichtregelung“

Von „echter“ Tageslichtnutzung kann erst dann die Rede sein, wenn das Kunstlicht in Abhängigkeit des Tageslichtanteils geregelt bzw. gedimmt wird. Dies führt nochmals zu beträchtlichen Einsparungen gegenüber dem reinen Ein- und Ausschalten der Beleuchtung, vor allem bei fensternahen Lichtbändern.

Ein häufiges Argument gegen eine Konstantlichtregelung ist, dass „die Beleuchtungssteuerung durch Dimmung bezüglich Energieverbrauch bessere Ergebnisse als ein Präsenzmelder alleine bringt, ist aber wegen der höheren Investitionskosten nicht mehr wirtschaftlich.“^{8/} Die hohen Investitionskosten werden vor allem durch den Einsatz von elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) verursacht, ohne die ein Dimmen von Leuchtstofflampen nicht möglich ist. Bei diesen Betrachtungen bleiben jedoch häufig wichtige Vorteile von EVG unberücksichtigt:

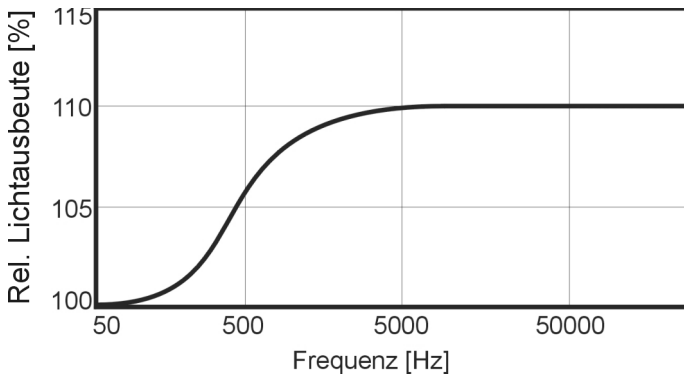


Abb. 5: Frequenzabhängige Erhöhung der Lichtausbeute

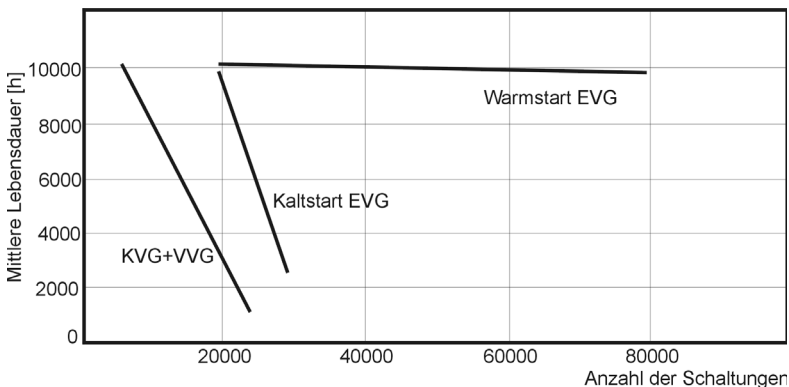


Abb. 6: Lebensdauer von Leuchtstofflampen in Abhängigkeit des Vorschaltgerätes und der Schalhäufigkeit

- Mit EVGs werden Leuchtstofflampen mit einer Frequenz von 25-70 kHz betrieben. Ab ca. 10 kHz ergibt sich ein Lichtausbeutegewinn (siehe Abb. 5). Eine mit einem konventionellen Vorschaltgerät (KVG) betriebene Lampe benötigt im Vergleich mit einer EVG-Anlage ca. 23 % weniger Energie – und dies ohne jegliche tageslichtabhängige Regelung.
- Während die Lebensdauer von KVG ca. 7.500 Stunden beträgt, liegt sie bei EVGs bei etwa 12.000 Stunden./6/
- Durch EMS werden Lampen häufiger geschaltet als bei manuellem Betrieb. Als Warmstartgeräte ausgeführte EVGs erreichen bis zu 40.000 Start-Stop-Zyklen, während bei Kaltstartgeräten und KVGs nur ca. 8.000 bis 10.000 Zyklen erreicht werden/9/ (siehe auch Abb. 6).
- Auch ohne Regelung wurde mit EVGs eine erhöhte Zufriedenheit mit der Beleuchtungsanlage festgestellt, was vor allem mit dem nicht vorhandenen Flimmern beim Betrieb mit hohen Frequenzen erklärt wird. So konnten britische Forscher nachweisen, dass durch den Einsatz von EVGs die Häufigkeit von Kopfschmerzen vermindert wird./10/
- EVG schalten sich selbständig ab, wenn die Lampe defekt ist. Somit wird die Energie gespart, die magnetische Vorschaltgeräte benötigen, um dauernde Startversuche durchzuführen.⁴⁾

Es gibt sehr viele Gründe, weshalb man durch die Konstantlichtregelung viel Energie sparen kann. Der Naheliegendste ist die Zunahme des Tageslichts mit dem Verlauf des Vormittags – lange bevor das Licht ganz ausgeschaltet werden kann, ist ein Betrieb mit verminderter künstlicher Beleuchtungsstärke ausreichend. Dasselbe gilt für den Nachmittag: Das Tageslicht reicht z. T. schon sehr früh nicht mehr aus, bis jedoch 100 % des installierten Kunstlichts benötigt werden, vergeht eine relativ große Zeitspanne – und im Teillastbetrieb benötigt die Beleuchtungsanlage weniger Strom (siehe Abb. 7).

Es gibt jedoch eine ganze Reihe von Gründen, weshalb in vielen Fällen höhere Beleuchtungsstärken als notwendig vorhanden sind:

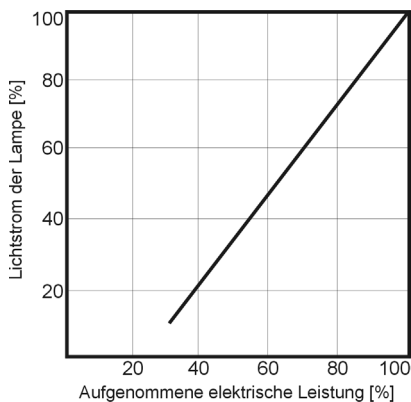


Abb. 7: Elektrische Leistungsaufnahme von Beleuchtungsanlagen mit Leuchtstofflampen

- Durch Reihenschaltung von Projektbeteiligten ergeben sich häufig „Angst- und Sicherheitszuschläge“, welche sich dann insgesamt häufig zu einem vermeidbaren Investitions- und Energiekostenniveau aufsummieren /2/.
- Lichtsysteme werden häufig um den sogenannten Planungsfaktor 1,25 überdimensioniert, um einen Ausgleich für den Abfall der Beleuchtungsstärke während der Lebensdauer der Lampen zu schaffen. Mit Hilfe der Dimmung kann die Beleuchtungsstärke dann automatisch auf das erforderliche Niveau abgesenkt werden, bis der Lichtstrom altersbedingt oder durch Verschmut-

zung zurückgeht. Über die Lebensdauer der Lampe können somit bis zu 14 % der Energie eingespart werden /4/ (Abb. 8).

- Beleuchtungssysteme sind häufig überdimensioniert, um die Mindestbeleuchtungsstärke auch dann noch zu garantieren, wenn Schwankungen im Stromnetz oder suboptimale Temperaturen zu einer Unterbelichtung führen würden. EVG sind weniger empfindlich für diese Einflüsse, so dass kein Anlass zur überdimensionierten Auslegung besteht. Einsparungen von bis zu 10 % sind möglich /4/.

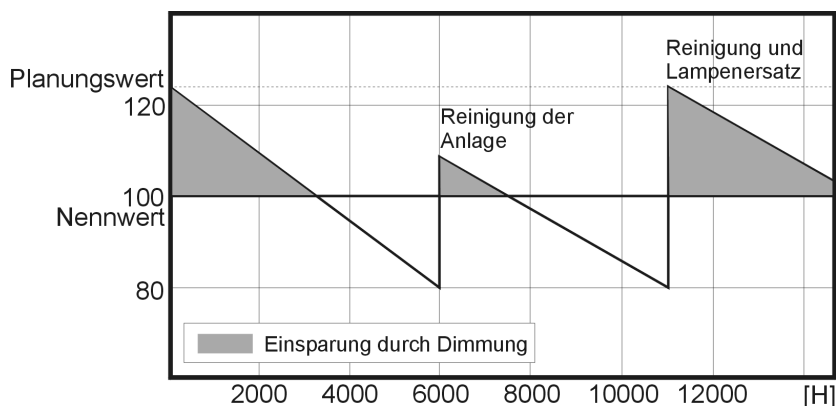


Abbildung 8: Lampenleistung in Abhängigkeit der Wartungszyklen

In der Literatur werden viele Erfolge von erzielten Einsparungen genannt, hier ist eine Auswahl davon:

- Tageslichtabhängiges, automatisches Dimmen und Optimierung der Einschaltzeit durch Einsatz von Präsenzmeldern reduzieren den elektrischen Energieeinsatz um 50 % /5/.
- Die Lichtdimmung bringt die effizienteste Energieeinsparung, gegenüber der Handschaltung eine Einsparung von 42 %, gegenüber dem Präsenzmelder immerhin noch 20 % /8/.
- Bei einer Bürobeleuchtung in 3 m hohen Räumen mit Seitenfenster, einer Nutzungszeit von 8:00 – 17:00 Uhr und einem Sollwert von 500 lx lassen sich mit einer Konstantlichtregelung bis zu 60 % der Energiekosten für Beleuchtung einsparen /11/.
- Messungen in dem Demonstrations-Neubau Geysel in Köln haben gezeigt, dass durch Lichtlenkung 30 % und durch automatisches Dimmen 78 % Beleuchtungsstrom eingespart werden können /12/.
- Landis & Gyr berichtet über Lichtmanagementsysteme, die neben der künstlichen Beleuchtung auch Jalousien und Tageslichtlenkung mit einbeziehen: „Das Lichtmanagement-System erbrachte gegenüber der konventionellen Beleuchtung Einsparungen von 40 % im Winter, 75 % im Sommer und 70 % im Herbst. Solche Lichtmanagementsysteme zeichnen sich dadurch aus, dass sie durch die optimale Verknüpfung der Komponenten Tageslichtlenkung, Jalousien und Kunstlicht unter Einsatz spezieller Software die maximal

mögliche Einsparung bei den Betriebskosten erreichen. Diese liegen bei bis zu 80 % gegenüber einer geschalteten Anlage. Eine leuchtengebundenen Einzellösung erzielt demgegenüber nur maximal 50 % /2/.

- Überlegungen zur tageslichtabhängigen Lichtregelung zeigen, dass hier durch Energieeinsparungen bis zu 60 % gegenüber der (Nicht-)Abschaltung von Hand möglich sind. Dimm- und über Bus (EIB) steuerbare EVGs ermöglichen sowohl eine individuelle als auch eine zentrale Steuerung /13/.
- Beim am Fenster liegenden Lichtband wird eine Einsparung von 83 %, beim zweiten Lichtband noch 62 % und beim dritten Lichtband immerhin noch 45 % Einsparung erreicht /2/.

4.4 Option: „Helligkeitwahl“

Das „BySyS“ – EMS ermöglicht zusätzlich zur Optionswahl „Konstantlichtregelung“ auch die Wahl des Beleuchtungsniveaus. Dabei wurde bewusst auf die Angabe von Lux-Werten verzichtet, da zum einen kaum jemand mit der physikalischen Größe etwas anfangen kann und zum anderen der Messwert stark vom Anbringungsort des Sensors abhängt; die Werte unterscheiden sich stark, wenn der Sensor anstatt auf die helle Tischoberfläche auf den dunklen Boden gerichtet ist.

Mit der Einrichtung der Wahlfreiheit der Beleuchtungsstärke ist eine weitere Energieeinsparung beabsichtigt. Ein Vergleich der internationalen Normen zeigt, dass in keinem anderen Land die Anforderungen an die Beleuchtungsstärken so hoch sind wie in Deutschland. DIN 5035 fordert für Büroräume eine Beleuchtungsstärke von 500 lx, bzw. 300 lx, wenn die Arbeitsplätze tageslichtorientiert sind. Wenn man davon ausgeht, dass die Augen der Deutschen nicht wesentlich schlechter sind als beispielsweise die der Österreicher oder Briten (beide Länder fordern eine Beleuchtungsstärke von nur 120 lx am Arbeitsplatz), kann man von weiteren Energieeinsparungen ausgehen, wenn man die Wahl des Beleuchtungsniveaus den Nutzern selbst überlässt.

Tatsächlich hängt die Güte der Innenbeleuchtung nicht allein von der Beleuchtungsstärke ab, sondern von vielen anderen Faktoren, wie Beleuchtungsverteilung, Beleuchtungsart, Farbton, Farbton, Sättigungsgrad, Verteilung im Raum und Farbwiedergabe /13/. Weitere Indikatoren, dass eine Beleuchtungsstärke von 500 lx keine Notwendigkeit darstellen, sind:

- Aus physiologischer Sicht ist ein Zehntel bzw. Fünftel dieses Wertes, d. h. ca. 50 bzw. 33 lx für bürotypische Seharbeiten ausreichend. Bodmann hat in seiner Untersuchung vom Jahre 1962 über „Beleuchtungsniveaus und Sehtätigkeit“ nachgewiesen, dass büromäßige Sehobjekte oberhalb von 100 lx kaum besser sichtbar werden /10/.
- Die Sehleistung des einzelnen Menschen ist stark abhängig vom Alter. Ein älterer Mensch benötigt für die Bewältigung der gleichen Sehaufgabe günstigere beleuchtungstechnische Werte und damit auch höhere Beleuchtungsstärken. Gleichzeitig nimmt aber seine Empfindlichkeit gegenüber Licht mit ungünstigen Merkmalen zu.
- Kontrastwiedergabeeigenschaften bei Tageslicht führen bei gleichem Beleuchtungsniveau zu besseren Sehbedingungen als im Vergleich zur Be-

leuchtung mit künstlichem Licht. Deshalb ist die Tageslichtbeleuchtung ausreichend, wenn die Beleuchtungsstärke am ungünstigsten Arbeitsplatz mindestens 60 % der in den Standards oder Normen für Beleuchtung mit künstlichem Licht angegebenen Nennbeleuchtungsstärken beträgt /11/.

- Weiterhin berichtet Cakir: „Hingegen hat die am Arbeitsplatz tatsächlich vorhandene Beleuchtungsstärke keinen Einfluss auf die Akzeptanz, selbst dann nicht, wenn sie über denjenigen Werten liegt, die vielen Menschen als „zu hell“ erscheinen. So kann es vorkommen, dass Arbeitsplätze mit 400 lx als zu hell abgelehnt werden, während andernorts das Vierfache dieser Beleuchtungsstärke keinerlei Probleme verursacht“ /10/.
- Das Niveau der Beleuchtung ist dabei eher aus psychologischer Sicht bedeutsam als aufgrund der Sehleistung.

Es ist anzunehmen, dass Nutzer, die das Glück haben, in Räumen mit einer gut geplanten Beleuchtungsanlage arbeiten zu dürfen, mit Beleuchtungsstärken von z. T. weit unter 500 lx auskommen und sich dabei wohl fühlen. Man muss sich fragen, ob die Vorstellung „Je mehr, desto besser“ noch haltbar ist.

Erste Ergebnisse aus dem „BySyS“ – Projekt deuten darauf hin, dass ein Teil der Mitarbeiter, die in den mit der Pilotanlage ausgestatteten Räumen arbeiten, von der Möglichkeit des Herabsetzens der Beleuchtungsstärke Gebrauch machen. In 44 % der Räume wurde eine Beleuchtungsstärke unter 500 lx eingestellt. Aus /13/ ist z. B. zu entnehmen, dass die Jahreseinschaltdauer der Beleuchtung bei einer Arbeitszeit von 8:00 – 16:00 Uhr und einem Tageslichtquotienten von 5 um die Hälfte bis auf ein Drittel herabsetzen lässt.

Literatur

- /1/ Friedrich Reinmuth: „Energieeinsparung in der Gebäudetechnik“, Vogel Buchverlag, 1994, ISBN 3-8023-1502-2
- /2/ Günther Volz: „Besseres Licht mit weniger Strom“, IMPULS-Programm Hessen, Darmstadt
- /3/ Othmar Humm, Felix Jehle: „Strom optimal nutzen“, ökobuch, Staufen bei Freiburg, 1996
- /4/ Detlef Hennings: „Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau (LEE)“, Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1999
- /5/ Bernd Kühr: „Installations-Bus-Systeme unter dem Aspekt der Energieeinsparung“, IMPULS-Programm Hessen
- /6/ Hans-Joachim Richter: „Licht im Büro“, verlag moderne Industrie, 1993, ISBN 3-478-930054
- /7/ Sascha Beverungen: „Mehrstufiges tagelichtabhängiges Regelungskonzept für ein nutzer- und bedarfsgerechtes EMS einer Gebäudeautomation“, Diplomarbeit, Kassel, 2000
- /8/ B. Brechbühl: „Rationelle Energienutzung mit dem Schwerpunkt Elektrizität in hochkomplex installierten Gebäuden“, Haus der Technik e. V., Essen, 1997
- /9/ Nikolaus Fecht: „Komponenten für die Lichttechnik“, verlag moderne Industrie, 1996, ISBN 3-478-93126-6
- /10/ Ahmet E. Cakir: „Physiologische und psychologische Auswirkungen der Beleuchtungsqualität“, OTTI, 3. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Staffeldstein, 1997
- /11/ Baer: „Beleuchtungstechnik Grundlagen“, Verlag Technik, Berlin, 1996, ISBN 3-341-01115-3

- /12/ Helmut F. O. Müller: „Gesamtenergieverbrauch verschiedener Gebäudetypen“, OT-TI, 3. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Staffelstein, 1997
- /13/ Hans Jürgen Hentschel: „Licht und Beleuchtung“, Hüthig Verlag, Heidelberg, 1994, ISBN 3-7785-2184-5
- /14/ Bernd Heibel: „Verfahren zur Bestimmung von Kunstlicht-Einschaltzeiten“, Dissertation, Kassel, 1998

Stand und Tendenzen in der Lichtmesstechnik

Georg Sauter

1. Einleitung

In der Lichtmesstechnik werden Lichtquellen und -messgeräte durch charakterisierende Größen beschrieben und bekanntlich stehen dafür viele lichttechnische Messgrößen mit den zugehörigen Messmethoden und Einheiten zur Verfügung. In diesem Bericht muss sich wegen dieser Vielfalt die Darstellung des erreichten Standes und der erkennbaren Tendenzen in der Lichtmesstechnik auf eine kleine Auswahl beschränken. Es werden nur vier Bereiche herausgegriffen und durch einige Beispiele erläutert. Die Bereiche können durch die Begriffe Definition, Messverfahren, Messunsicherheit und Äquivalenz unterschieden werden.

2. Definition von Messgröße und Messparameter

Ausgangspunkt für Messungen ist die eindeutige Definition der Messgröße und eine verbindliche Festlegung der einzuhaltenden Messparameter. Dies ist die wesentliche Voraussetzung zum Verständnis und zur Verwendung eines Messergebnisses bei Herstellern und bei Anwendern lichttechnischer Produkte. Diese Festlegungen werden meist durch gemeinsam erarbeitete nationale Normen oder zunehmend auch durch internationale Regelwerke erreicht. Allerdings müssen bei der technischen Weiterentwicklung eines Messobjektes die Festlegungen immer wieder überprüft und gelegentlich auch neu angepasst werden, wie nachfolgend zwei Beispiele mit modernen Lichtquellen zeigen.

Der Gesamtlichtstrom von Lampen wird z.B. bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C angegeben. Die Entwicklung der Leuchtstofflampen führte bei den T5-Typen, wie in Abb. 1 erkennbar, zu einem deutlich höheren Lichtstromwert bei 35 °C, der selbstverständlich auch in den Lampenkatalogen in geeigneter Form angegeben werden sollte.

Dies wurde zunächst ohne die notwendige Abstimmung zwischen den Beteiligten versucht und führte zu erheblicher Verwirrung, da nun in einigen Katalogen weiterhin der niedrige Lichtstromwert bei 25 °C zusammen mit einem Korrekturfaktor von z.B. 1.1 zum Maximum angegeben wurde, während in anderen Katalogen der hohe Lichtstromwert bei 35 °C eingetragen war, zusammen mit dem reziproken Korrekturfaktor von etwa 0.91, der zur Umrechnung auf die ursprüngliche Temperaturbedingung dient. Die Situation war zwar noch etwas komplizierter, aber schon solch eine Doppelangabe verdeutlicht, dass so ohne zusätzliche Kommentare weder Leuchtenwirkungsgrade angegeben noch Beleuchtungspla-

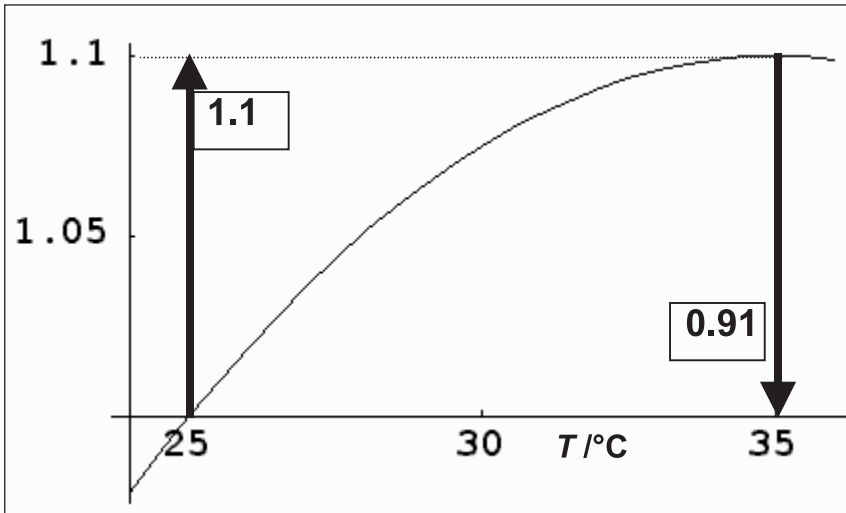


Abb. 1: Prinzipielle relative Temperaturabhängigkeit des Lichtstroms von T5-Leuchtstofflampen mit dem Maximum bei 35 °C und den Umrechnungsfaktoren (links) zum Maximalwert und (rechts) zum Wert bei Referenztemperatur

nungen durchgeführt werden können. Inzwischen wurde zu einheitlichen Angaben zurückgefunden, also zu einem Lichtstromwert bei 25 °C, der als Basis für weiterführende Berechnungen verwendet wird, zusammen mit einem Korrekturfaktor zur Berechnung des Maximalwertes und zusätzlich auch noch der Maximalwert selbst. Die Angaben werden voraussichtlich so auch in europäischen Normen zur Darstellung von Lampeneigenschaften festgelegt werden. Dies Beispiel lehrt, dass sich Vorteile für alle Beteiligten ergeben, wenn neue Festlegungen gemeinsam und einheitlich erarbeitet werden.

Das zweite Beispiel behandelt eine vergleichbare Situation bei der Kennzeichnung von lichtemittierenden Dioden, LEDs. Dort gab es für viele Jahre erhebliche Schwierigkeiten bei der Angabe der Lichtstärke. Die ersten LEDs emittierten eine geringe Strahlungsleistung, verteilt in einen weiten Raumwinkelbereich, und so war weder eine exakte Ausrichtung noch die genaue Lage des Lichtschwerpunktes für die Angabe der Lichtstärke wichtig. Es wurde vereinfachend eine nur unzureichend spezifizierte Messgröße angegeben und nach verschiedenen Messverfahren bestimmte Werte zeigten keine auffälligen Unterschiede. Als die emittierte Strahlungsleistung dann zunahm, die Fertigung immer engere Bündelung erlaubte, mehr Hersteller möglichst maximale Lichtstärkewerte unter sehr verschiedenen Messbedingungen bestimmten und schließlich auch die Qualitätsanforderungen erheblich wuchsen, da wurden die Unstimmigkeiten immer größer und einschneidender.

Eigentliche Ursache dafür waren die fehlenden Antworten auf drei Fragen: (i) In welche Richtung soll gemessen werden, (ii) wo liegt der Lichtschwerpunkt und (iii) wie klein darf der erfasste Raumwinkel sein? Bis zur gemeinsamen Lösung

dauerte es Jahre, aber wirklich erstaunlich war, wie schnell sich schließlich eine von der Internationalen Beleuchtungskommission, CIE, empfohlene Messmethode /1/ mit vollständig spezifizierten Messbedingungen weltweit durchsetzte. Heute werden LEDs praktisch nur noch in dieser in Abb. 2 angegebenen Messgeometrie gemessen und die zugehörige Messgröße wird als „Averaged Luminous Intensity LED“ bezeichnet, wobei aus zwei Bedingungen A und B ausgewählt werden kann entsprechend Abständen von 316 mm und 100 mm bzw. Raumwinkeln von 0.001 sr bzw. 0.01 sr. Es wurde weiterhin festgelegt: Messrichtung ist die Gehäuseachse und Ort für den Lichtschwerpunkt ist der äußerste dem Empfänger zugewandte Gehäuseteil. Da diese CIE-Empfehlung sich in kurzer Zeit so bewährt hat, wird sie demnächst als eine internationale CIE/ISO Norm festgelegt werden.

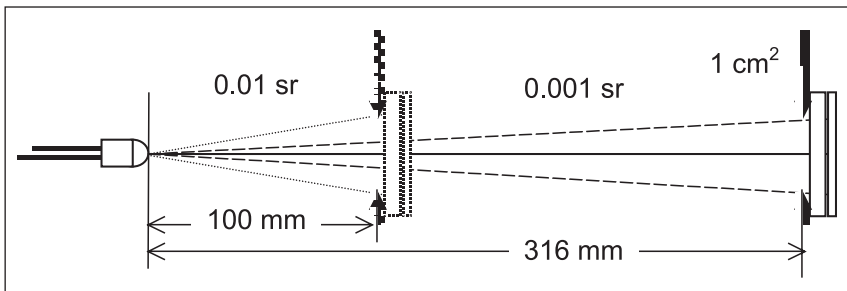


Abb. 2: Von der CIE empfohlene geometrische Messbedingung zur Bestimmung der „Averaged Luminous Intensity LED“ für die beiden Abstandsbedingungen „A“ und, gestrichelt dargestellt, „B“

Bei LEDs verläuft die technische Weiterentwicklung so rasant, dass sie schon bald auch in der Allgemeinbeleuchtung Verwendung finden werden. Die Messung ihrer Eigenschaften wird dann für viele wichtig werden und deshalb sei hier zusätzlich die jetzt in der CIE vorgesehene Messbedingung für den Lichtstrom einer einzelnen LED mit angegeben, die sich von der in /1/ empfohlenen, nicht allgemein anwendbaren Messmethode unterscheidet:

Es wird alles von der LED in eine Hemisphäre emittierte Licht gemessen, wobei die Ebene zur Begrenzung der Hemisphäre die Gehäuserückseite der LED berührt und senkrecht zur Gehäuseachse ausgerichtet ist.

3. Messverfahren: Die stabilisierte U-Kugel

In der Lichtmesstechnik finden neue Messverfahren z.B. mit ortsauflösenden Empfängern oder Empfängerkombinationen mit weitgehend berechenbarem spektralem Verlauf der Empfindlichkeit besondere Aufmerksamkeit und sie bilden die Grundlage für viele neue Messgeräte. Dies gilt auch deshalb, weil empfangergestützte Messverfahren oft eine Reproduzierbarkeit ermöglichen, die mit Referenzstrahlungsquellen nur mit großem Aufwand erreicht werden kann. In der Radiometrie erzielt man kleinste Messunsicherheiten mit Kryoradiometern als Absolutempfänger und mit Trap-Detektoren als TransfERNormal, aber die Verwendung dieser Empfänger ist bisher für die spektral breitbandig strahlenden

und räumlich oft ausgedehnten Lichtquellen der Lichttechnik nur eingeschränkt möglich, doch sie wird in Zukunft auch in der Lichtmesstechnik an Bedeutung gewinnen.

Neben den neuen messtechnischen Lösungen darf die Fortentwicklung vorhandener Messverfahren nicht übersehen werden, wie das Beispiel einer modifizierten Lichtstrommessung mit der U-Kugel zeigt. Das herkömmliche Messverfahren mit der U-Kugel wird als bekannt vorausgesetzt, ebenso wie die Messanordnung in Abb. 3, die nur um wenige Details erweitert wurde. Bei der U-Kugelmessung konnten Messfehler durch Fremdkörpereinfluss, durch Erwärmung bei unterschiedlicher Leistung von Kalibrierobjekt und Normal sowie durch Drift oder Änderung des Kugelfaktors während einer Messserie bisher nur mithilfe zeitaufwändiger Zusatzmessungen korrigiert werden. Jetzt erlaubt ein am Staatsinstitut der USA, NIST, entwickeltes Messverfahren /2/ ihre fast vollständige Korrektur: die Stabilität der U-Kugel wird durch eine „Monitormessung“ kontinuierlich bestimmt, und zwar simultan zur eigentlichen Lichtstrommessung. Vereinfacht ausgedrückt wird das Licht einer Hilfslampe so moduliert, dass am Photometer der zugehörige Photostrom mit einem Lock-In-Verstärker unabhängig vom eigentlichen Messsignal zusätzlich gemessen werden kann.

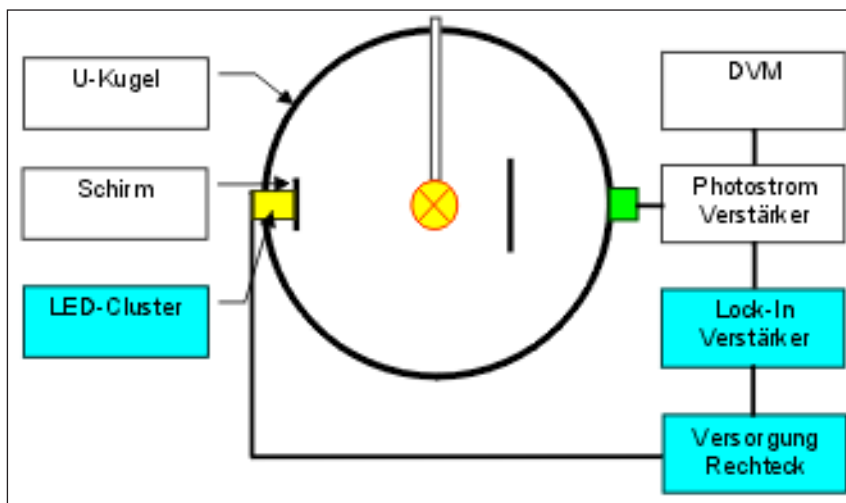


Abb. 3: U-Kugel mit LED-Cluster als Hilfslampe, versorgt mit periodischer Rechteckspannung. Der Photostrom setzt sich aus zwei Anteilen zusammen, der Lock-In-Verstärker misst den Anteil von der Hilfslampe, das DVM misst den eigentlichen Anteil vom Messobjekt.

Praktisch wird die Hilfslampe ersetzt durch eine stabile Lichtquelle, deren Licht vollständig moduliert ist, wie z.B. ein Cluster aus vielen LEDs, die aus einer Versorgung periodisch angesteuert werden, oder eine externe Lichtquelle mit Chopper, deren Licht mit einem Glasfaserbündel in die U-Kugel geleitet wird. Jeder Veränderung des Kugelfaktors der U-Kugel folgt unmittelbar eine Änderung des Messwertes am Lock-In-Verstärker, wodurch Instabilitäten sofort erkannt und

korrigiert werden können. Der Lichtstrom Φ des Messobjektes wird weiterhin nach der bekannten Gleichung

$$\Phi = \Phi_R \cdot \frac{y}{y_R} \cdot \frac{z_R}{z}$$

berechnet und es bedeutet: Φ_R ist der Lichtstrom des Referenznormals, y ist ein Mittelwert aus Messwerten des Photometers mit dem DVM, z ist ein Mittelwert aus Messwerten am Lock-In-Verstärker der immer gleichzeitig zum entsprechenden Mittelwert y gemessen wird. Der Index „R“ weist auf Größen für das zur Kalibrierung verwendete Referenznormal.

Vorteile des neuen Messverfahrens sind eine verringerte Zahl an notwendigen Kalibrierungen für die U-Kugel, eine verkürzte Messdauer für das einzelne Messobjekt und eine deutlich kleinere Messunsicherheit die jedem Lichtstrom-Messwert beigeordnet werden kann. Dies Messverfahren mag für viele nutzbar sein, und es zeigt beispielhaft, wie früher nacheinander ausgeführte Messungen heute parallel, also Zeit sparend erledigt werden, wobei die Messwerte korreliert sind und die Korrelationen wie hier zur Verringerung der dem Messergebnis beigeordneten Messunsicherheit führen.

4. Messunsicherheit und Toleranz

Der allgemeinen Entwicklung in der Messtechnik folgend, gewinnt auch in der Lichtmesstechnik die Messunsicherheit an Bedeutung. Ihre Angabe und der Nachweis über die Bestimmung dieses Qualitätskriteriums ist schon jetzt im Qualitätsmanagement gefordert, und auch im Wettbewerb werden zugesicherte Produkteigenschaften immer häufiger nur zusammen mit Angaben zur Messunsicherheit akzeptiert.

Vor einigen Jahren wurde die prinzipielle Behandlung der Messunsicherheit geändert und international wurden neue Regeln /3/ zur Berechnung der Messunsicherheit vereinbart, auf die hier nicht eingegangen werden kann. Es soll aber wenigstens auf einige wichtige Zusammenhänge hingewiesen werden.

Zur Bestimmung der Messunsicherheit wird heute das für die Ergebnisgröße angewandte Messverfahren in allen Einzelheiten auf Beiträge untersucht, die den Messwert verändern können und dann auch bei der Berechnung der Messunsicherheit beachtet werden müssen. Aus dieser Kenntnis folgt das Modell zur Auswertung, eine mathematische Gleichung, mit der alle Beiträge von Mess- und Einflussgrößen zum Wert des Ergebnisses zusammengefasst werden. Das ist der wichtigste Schritt, alles Weitere ist einfache Mathematik und kann sogar mit am Markt verfügbarer Software erledigt werden.

Für alle Beiträge zur Messunsicherheit werden Wahrscheinlichkeitsverteilungen berücksichtigt, die entweder statistisch aus Standardabweichungen ermittelt werden oder aus Abschätzungen, z.B. als Rechteckverteilung. Ihre Zusammenstellung erfolgt in einheitlicher Form als eine Tabelle, dem Messunsicherheitsbudget, das schließlich zur erweiterten Messunsicherheit zusammengefasst wird.

Hier sei besonders auf dieses Messunsicherheitsbudget hingewiesen, das sehr übersichtlich die Wichtigkeit der einzelnen Beiträge im Vergleich darstellt und so die Möglichkeit bietet, den Aufwand für eine geforderte Messunsicherheit zu optimieren. Weiterhin können die Auswirkungen von Modifikationen im Messverfahren kompetent verglichen werden und Fragen – z.B. ob sich eine längere Messdauer überhaupt lohnt oder ob die mit den Referenznormalen erfolgte Kalibrierung hinreichend kleine Messunsicherheitsbeiträge liefert – lassen sich meist durch einfache Simulation beantworten. Falls Unterschiede auftreten, z.B. bei den Vergleichen im Rahmen von Qualitätsmanagementsystemen oder zu Messergebnissen von Vertragspartnern, so können mögliche Ursachen leichter zugeordnet werden. Mit dem Hilfsmittel Messunsicherheitsbudget lässt sich Vertrauen in die Messergebnisse herstellen, da es die volle Transparenz vermittelt.

Die Messunsicherheit ist das Maß für die „Qualität eines Messergebnisses“, sie besagt aber nur sehr wenig über das untersuchte Produkt. Beim Umgang mit Produkten ist dagegen die Toleranz, also der zugelassene Spielraum für die Einhaltung vereinbarter Eigenschaften wichtig. Da diese Eigenschaften auch gemessen werden müssen, wird das Intervall der erweiterten Messunsicherheit manchmal mit dem Toleranzintervall für die Produkteigenschaften verwechselt. Den Unterschied erläutert die Abb. 4 für das folgende Beispiel: Werden für eine

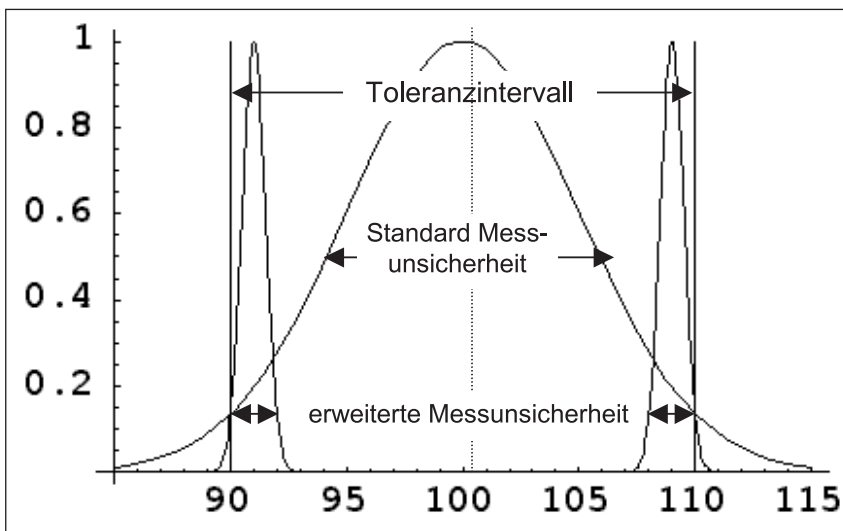


Abb. 4: Toleranzintervall und 3 Normalverteilungen, dargestellt für erweiterte ($k = 2$) Messunsicherheiten mit

- der halben Breite des Toleranzintervalls (zentral angeordnet),
- 1/20 der Breite des Toleranzintervalls (an den Rändern).

Produkteigenschaft z.B. Werte zwischen 90 und 110 toleriert und kann diese Eigenschaft nur mit einer erweiterten Messunsicherheit von über 10 zum Vertrauensbereich von 95% bestimmt werden, so kann kein einziges Produkt als geeignet selektiert werden. In dem Maße aber wie die erweiterte Messunsicherheit

zum gleichen Vertrauensbereich, z.B. auf 1 verringert werden kann, nimmt der selektierte Anteil zu und umfasst in diesem Fall alle Produkte mit Messwerten zwischen 91 und 109. Eine Verringerung der Messunsicherheit beim Selektionsverfahren kann zwar keine Fehlproduktion verbessern, sie kann jedoch verhindern, dass Produkte mit noch zulässigen Abweichungen ausgesondert werden.

5. Äquivalenz und Rückführbarkeit

Die Angabe des Wertes einer Messgröße zusammen mit der Messunsicherheit erfordert in der Metrologie zusätzlich den Nachweis, dass die Referenznormale in einer ununterbrochenen Kette bis zu nationalen Normalen zurückverfolgt werden können. Diese Rückführbarkeit wird durch Zertifikate von Staatsinstituten oder von anerkannten und kontrollierten Kalibrierlaboratorien nachgewiesen. Aber für diese metrologische Forderung gab es bisher kein juristisches Pendant, d.h. ein Produkt, das im Staat „A“ zugelassen war, musste erneut im Staat „B“ vermessen werden, um auch dort zugelassen werden zu können. Solche technischen Handelshemmnisse sollen jetzt beseitigt werden durch bilaterale Verträge, mit denen in beiden Staaten juristisch verbindlich die Äquivalenz der mit den nationalen Normalen repräsentierten Einheiten bestätigt wird. Ein solcher Vertrag besteht z.B. zwischen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, PTB, und dem Staatsinstitut der USA, NIST, schon seit letztem Jahr und er umfasst explizit die Einheiten der photometrischen Größen Lichtstärke und Lichtstrom und gilt auch für alle daraus abgeleiteten photometrischen Einheiten.

Die wirtschaftlichen Vorteile für die Industrie der betroffenen Länder sind offensichtlich, deshalb wurden im letzten Jahr die Voraussetzungen für solche Äquivalenzerklärungen institutionalisiert durch einen Vertrag mit der Bezeichnung „Mutual Recognition Arrangement“, MRA, der beim Bureau International des Poids et Mesures, BIPM, von den Signaturstaaten der Meterkonvention unterschrieben wurde. Das MRA regelt die Durchführung der notwendigen internationalen Vergleiche, so genannte „Schlüsselvergleiche“, für alle in Frage kommenden Einheiten und es definiert, wie Äquivalenz festgestellt werden kann. Auf dieser Basis kann dann die wechselseitige Anerkennung als jeweils bilateraler Vertrag erfolgen. Äquivalenz E_n liegt vor, falls die folgende Gleichung gilt

$$E_n = \frac{|y_A - y_B|}{\sqrt{U^2(y_A) + U^2(y_B)}} \leq 1$$

und γ_A , γ_B sind Messergebnisse mit den beigeordneten erweiterten Messunsicherheiten $U(\gamma_A)$, $U(\gamma_B)$ für die beiden Teilnehmer „A“ und „B“.

Langfristig sollen alle Messwerte rückführbar auf äquivalente nationale Einheiten angegeben werden, d.h. alle Staatsinstitute müssen an den erforderlichen Schlüsselvergleichen teilnehmen. Statt eines einzigen langwierigen Vergleiches mit allen Teilnehmern sieht das MRA Vergleiche auf zwei Ebenen vor. Auf der Ebene beim Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie, CCPR, beteiligen sich nur Mitglieder des CCPR, es wird die Äquivalenz zueinander berechnet und zusätzlich aus allen verglichenen Einheiten ein Referenzwert, KCRV, als gewogener Mittelwert bestimmt.

Die zweite Ebene steht allen Staaten offen und Vergleiche mit dem Referenzwert werden in den regionalen metrologischen Organisationen, RMO, wie z.B. EUROMET durchgeführt. Der Referenzwert wird durch wenigstens zwei Staatsinstitute weitergegeben, die sich an den Vergleichen auf beiden Ebenen beteiligen.

In der Photometrie beteiligten sich bis zu 17 Staatsinstitute an CCPR-Schlüsselvergleichen, für die Größen photometrische Empfindlichkeit, Lichtstärke und Lichtstrom, die inzwischen schon abgeschlossen sind. Die PTB nahm an allen Vergleichen teil und wirkte bei den Vergleichen von Lichtstärke und Lichtstrom als Pilotlabor /4/. Jetzt sind als EUROMET-Projekt in Vorbereitung die RMO-Schlüsselvergleiche für Lichtstärke und Lichtstrom und wieder beteiligt sich die PTB als Pilotlabor und auch zur Weitergabe des Referenzwertes KCRV. Der Abschlussbericht für diese Vergleiche wird in etwa zwei Jahren vorliegen.

Ziel ist es, wenn in wenigen Jahren das MRA voll etabliert ist, auf der Basis einer Messung, die auf ein Staatsinstitut rückgeführt ist, seine Produkte weltweit zulassen zu können.

6. Zusammenfassung

Die Weiterentwicklung von Produkten macht gelegentlich neue Festlegungen erforderlich, die nur durch nationale oder internationale Normen erfolgen sollten. In modernen Messverfahren werden möglichst alle Messungen parallel ausgeführt, damit Instabilitäten von Quelle oder Messgerät korrigiert werden können und die den Messwerten beigeordnete Messunsicherheit verringert wird. Die Messunsicherheit gibt die Qualität einer Messung an, sie kann daher auch zur Optimierung des Messverfahrens verwendet werden, aber sie sagt wenig über die Produkte aus. Die Auswahl der Produkte wird durch die vereinbarte Toleranz festgelegt und ist unabhängig von der Messunsicherheit. Eine verringerte Messunsicherheit bei der Selektion kann deshalb nur die Anzahl abgewiesener Produkte verringern. Eine in der Metrologie völlig neue und als MRA bezeichnete Vereinbarung bildet die Grundlage für die zukünftige globale Vermarktung von Produkten, d.h. zu einer kostengünstigen und erheblich vereinfachten Zulassung von Produkten in nationalen oder regionalen Märkten. Die erforderlichen Verträge zum MRA sind unterschrieben, die Vergleiche sind teilweise schon abgeschlossen und erste bilaterale Verträge zur rechtlich anerkannten Äquivalenz, wie zwischen der PTB und dem NIST, sind schon unterschrieben. Damit kommt der Lichtmesstechnik sogar eine besondere Rolle zu, sie ist in diesem eingeleiteten Prozess an vorderster Linie mit beteiligt und kann auch noch verändernd auf die im Fluss befindlichen Verfahren einwirken.

Literatur

- /1/ CIE 127-1997; Measurement of LEDs; ISBN 3 900 734 84 4; 1997
- /2/ Ohno, Y., private Mitteilung; National Institute of Standards and Technologie, Gaithersburg, USA
- /3/ Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement; Geneva, Switzerland; ISO 1995
- /4/ Sauter G., Lindner D., Lindemann M.; CCPR Key Comparison K3a of Luminous Intensity and K4 of Luminous Flux with Lamps as Transfer Standards; PTB-Opt-62, ISBN 3-89701-471-8; Braunschweig, 1999

Vom Nutzen der CIE

Axel Stockmar

1. Einleitung

Die Internationale Beleuchtungskommission (CIE, Commission Internationale de l'Éclairage) versteht sich als die weltweit führende Organisation für den Informationsaustausch auf dem Gebiet von Licht und Beleuchtung. In mehr als 120 Technischen Komitees, organisiert in 7 Divisionen, werden sowohl Fragen grundsätzlicher Art als auch aus allen Bereichen der Lichtenwendung behandelt. Die Arbeitsergebnisse werden in der überwiegenden Zahl als Technische Berichte, in einigen Fällen als Empfehlungen oder auch als ISO/CIE Standards herausgegeben. Bereits bei der Gründung (1989) des Technischen Komitees TC 169 ‚Licht und Beleuchtung‘ des Europäischen Komitees für Normung (CEN, Comité Européen de Normalisation) war als eine Bearbeitungsrichtlinie festgelegt worden, daß zu erstellende europäische Normen auf dem Gebiet der Lichttechnik in enger Anlehnung an bereits bestehende CIE-Publikationen formuliert werden sollen. Diese ursprüngliche Absicht ist in einem offiziellen Kooperationsvertrag zwischen der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) und dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) aus dem Jahre 1999 bestätigt worden. Dadurch hat die Bearbeitung nicht nur der normativen, sondern sämtlicher technisch-wissenschaftlicher Publikationen der CIE zusätzliche Bedeutung erhalten. Anhand einiger Publikationen – in der Reihenfolge ihrer Herausgabe – betreffend die Innen-, Außen- und Sportstättenbeleuchtung sowie die Wartung von Beleuchtungsanlagen soll aufgezeigt werden, wie Bearbeitungsergebnisse der CIE unmittelbar Eingang in europäische Normen gefunden haben.

2. Wartung von Innenraum-Beleuchtungsanlagen

Das Technische Komitee TC 3-10 der Internationalen Beleuchtungskommission hat 1992 den technischen Bericht ‚Maintenance of Indoor Electric Lighting Systems‘ herausgegeben /1/. In diesem Bericht werden die Grundlagen des Konzepts des Wartungsfaktors dargestellt und die einzelnen Faktoren – Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor, Lampenausfall-Wartungsfaktor, Leuchten-Wartungsfaktor und Raum-Wartungsfaktor – beschrieben. Für Fälle, in denen bei der Beleuchtungsplanung nicht mit projektbezogenen, produktspezifischen Wartungsfaktoren gerechnet werden kann, sind in dem Bericht die einzelnen Wartungsfaktoren tabellarisch, im Sinne von Mittelwertskurven, aufgeführt zur näherungsweise Ermittlung der resultierenden Wartungsfaktoren. Hierbei werden der Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor und der Lampenausfall-Wartungsfaktor angegeben als Funktion der Brenndauer für sechs verschiedene Lampenarten. Der Leuchten-Wartungsfaktor wird in Abhängigkeit von der Zeit seit der letzten Reinigung angegeben für drei verschiedene Staubbelastungen der Innenräume und

Dipl.-Ing. Axel Stockmar
LCI Light Consult International
Lindenallee 21 A
D-29227 Celle

sechs konstruktiv unterscheidbare Leuchtenarten. Der Raum-Wartungsfaktor schließlich wird angegeben für verschiedene Raumgrößen (ausgedrückt durch den Raumindex), Lichtstrom-Verteilungen der Beleuchtungsanlage und Staubbelastungen als Funktion von der Zeit seit der letzten Reinigung. Zusammen mit dem im Entwurf vorliegenden Bericht ‚Maintenance of Outdoor Lighting Systems‘ des TC 5-14 /2/, in welchem die Leuchten-Wartungsfaktoren für Leuchten unterschiedlicher Schutzarten tabelliert sind, ergibt sich eine vollständige Theorie zum Konzept des Wartungsfaktors zur Anwendung auf dem Gebiet der angewandten Lichttechnik.

Für die Normungsarbeit im CEN TC 169 war zu einem sehr frühen Zeitpunkt beschlossen worden, Festlegungen für Beleuchtungsniveaus in Form von Wartungswerten der Beleuchtungsstärke oder der Leuchtdichte zu treffen. In den bisher erschienenen oder im Entwurf vorliegenden europäischen Normen sind daher sämtliche mittleren Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten als Wartungswerte angegeben; die bei der Beleuchtungsplanung in Anwendung zu bringenden Wartungsfaktoren werden in einigen Normen nach dem Motto ‚wenn nichts Genaueres bekannt‘ wertemäßig vorgegeben, in anderen werden sie völlig offen gelassen. In diesen Fällen besteht dann für die Beleuchtungsplaner die Möglichkeit, auf die entsprechende CIE Publikation 97 /1/ zurückzugreifen, wenn nicht andere projekt- und/oder produktspezifische Daten zur Verfügung stehen.

3. Blendungsbewertung für Außenbeleuchtungsanlagen und Beleuchtungsanlagen für Sport im Freien

Im Technischen Bericht ‚Glare Evaluation System for Use within Outdoor Sports and Area Lighting‘ des TC 4-07 aus dem Jahr 1994 wird ein Verfahren zur Bewertung der Blendung von Außenbeleuchtungsanlagen beschrieben /3/. Die Ermittlung des ‚Glare Ratings‘ (GR) entsprechend der Blendungsbewertungsformel setzt die Kenntnis der Schleierleuchtdichten am Auge des Beobachters voraus, die einerseits von den beleuchtenden Scheinwerfern und andererseits von der beleuchteten Fläche hervorgerufen werden. Darüber hinaus werden in diesem Bericht Vorschläge für standardisierte Beobachterpositionen unterbreitet und ein Näherungsverfahren zur Ermittlung der Schleierleuchtdichte aufgrund der beleuchteten Fläche angegeben. Mit dem hier beschriebenen Verfahren besteht erstmals die Möglichkeit, Blendungsbewertungen für den Bereich der Außenbeleuchtung durchzuführen.

In der europäischen Norm für Sportstättenbeleuchtung /4/ ist daher das Konzept des ‚Glare Ratings‘ für die Beleuchtung von Sportanlagen im Freien übernommen worden. Für mehr als 30 Sportarten sind in den entsprechenden Tabellen Grenzwerte für das ‚Glare Rating‘ festgelegt worden. Diese GR-Werte sind bei der Beleuchtungsplanung entsprechend der in der CIE Publikation 112 /3/ beschriebenen Vorgehensweise zu ermitteln.

4. Blendungsbewertung von Innenraum-Beleuchtungsanlagen entsprechend UGR

Ein ‚praktisches System für die Bewertung der psychologischen Blendung‘ wird im technischen Bericht ‚Discomfort Glare in Interior Lighting‘ beschrieben /5/, der

1995 vom TC 3-13 in der Nachfolge eines früheren Berichts ‚Discomfort Glare in the Interior Working Environment‘ /6/ herausgegeben worden ist. Das nunmehr als ‚Unified Glare Rating‘ (UGR) System bezeichnete Verfahren gestattet die Bewertung der Blendung in Innenräumen für Beobachter in beliebigen Positionen. Dabei können sowohl Leuchten unterschiedlicher Bauart in wahlfreier Anordnung gemeinsam bewertet werden als auch der Einfluß der Leuchtdichte-Verteilung im Gesichtsfeld des Beobachters berücksichtigt werden. In umfangreichen Untersuchungen konnte nicht nur gezeigt werden, daß die UGR-Berechnungsformel gut geeignet ist, das subjektive Blendungsfinden zu beschreiben, sondern auch besser geeignet ist als mögliche Tabellen- oder Grenzkurvenverfahren /7/. Allerdings läßt sich eine hohe Vorhersagegüte nur dann erreichen, wenn die Auswertung der UGR-Formel mit hinreichender Genauigkeit durchgeführt wird /8/. Die Lichtstärke-Verteilungen der zu bewertenden Leuchten müssen, besonders in dem blendungskritischen Winkelbereich, in einem genügend engen, der jeweiligen Interpolationsmethode adäquaten Stützpunktraster gegeben sein. Langgestreckte Leuchten müssen gegebenenfalls in Teilleuchten ähnlicher relativer Lichtstärke-Verteilung unterteilt werden. Die Ermittlung der Hintergrundleuchtdichte erfordert die individuelle Berechnung der indirekten Beleuchtungsstärke am Beobachteraueg jeweils orthogonal zur Blickrichtung.

Die Einhaltung der im Rahmen der europäischen Normung des CEN TC 169 gegebenen UGR-Grenzwerte /4/ /9/ kann mit dem hier beschriebenen Verfahren entsprechend der CIE Publikation 122 /5/ überprüft werden. Hierbei ist selbstverständlich dem Geltungsbereich des UGR-Verfahrens Rechnung zu tragen. Für die Auswahl geeigneter Leuchten wäre es wünschenswert, über eine – aus der in der CIE-Publikation beschriebenen Beobachter-Variation abgeleitete – leuchtenspezifische Dokumentation zu verfügen.

5. Beleuchtung von Arbeitsstätten im Freien

Mit dem technischen Bericht ‚Guide for Lighting Exterior Work Areas‘ /10/ hat das TC 5-13 im Jahr 1998 erstmals alle lichttechnischen Gütemerkmale umfassende Empfehlungen für die Beleuchtung von Arbeitsstätten im Freien herausgegeben. Für eine umfangreiche Sammlung von Tätigkeiten und/oder Arbeitsbereichen im Freien werden jeweils spezifische Empfehlungen gegeben hinsichtlich Beleuchtungsniveau, Gleichmäßigkeiten und Blendungsbewertung. Zur Ermittlung von Mittelwerten und Gleichmäßigkeiten der Beleuchtungsstärke werden Berechnungsraster vorgegeben, deren Punktdichten sich nach derselben Formel bestimmen lassen wie sie auch in der europäischen Norm für Sportstättenbeleuchtung /4/ angegeben ist. Die Blendungsbewertung erfolgt nach dem schon beschriebenen ‚Glare Rating‘ für Außenbeleuchtungsanlagen.

Da in Normen, auch in den Entwürfen des CEN TC 169, bisher nur unzureichend auf die Belange der Beleuchtung von Arbeitsstätten im Freien eingegangen worden ist, bietet sich für die Beleuchtungsplanung die CIE-Publikation 129 /10/ als geeignete Grundlage an.

6. Schlußbetrachtung

Im Zeitalter europäischen, wenn nicht globalen Wirtschaftens ist es naheliegend, sich bei der Erarbeitung von Empfehlungen für verbesserte Beleuchtungsbedin-

gungen der weltweit verfügbaren Erkenntnisse zu bedienen. Hierfür bietet die Internationale Beleuchtungskommission das geeignete Forum. Die ausgewählten Beispiele zeigen, daß die Arbeiten innerhalb der CIE in technisch-wissenschaftlicher Hinsicht von großem Nutzen sein können für die Erstellung nationaler oder europäischer Empfehlungen oder Normen. Zur Verbesserung des unmittelbar praktischen Nutzens kann nur ein verstärktes Engagement interessierter Kreise für eine intensivere Mitarbeit in den Technischen Komitees der CIE beitragen.

Literatur

- /1/ Maintenance of Indoor Electric Lighting Systems.
CIE Publication 97 (1992)
- /2/ Maintenance of Outdoor Lighting Systems.
5th draft CIE TC 5-14 (1999)
- /3/ Glare Evaluation System for Use within Outdoor Sports and Area Lighting.
CIE Publication 112 (1994)
- /4/ DIN EN 12193 Sportstättenbeleuchtung (1999)
- /5/ Discomfort Glare in Interior Lighting.
CIE Publication 122 (1995)
- /6/ Discomfort Glare in the Interior Working Environment.
CIE Publication 55 (1983)
- /7/ Müller, Th. UGR-Blendungsbewertung – Eine Verfahrensbeurteilung anhand
Hesse, J. empirischer Untersuchungen.
Stolzenberg, K. Tagungsbericht Licht '96, S.43-54
- /8/ Stockmar, A. Unified Glare Rating - from Theory to Practice.
Proceedings ILE/CIBSE Joint Conference, York (2000)
- /9/ prEN 12464 Lighting of Work Places (1998)
- /10/ Guide for Lighting Exterior Work Areas.
CIE Publication 129 (1998)

Goethes Farbenlehre im Kontext zur Tagung Licht 2000

Dietrich Gall

1. Einführung

Kaum ein anderes Wissenschaftsgebiet ist mit soviel unterschiedlichen Intentionen belegt wie die Lehre vom Licht. Da existiert zunächst die licht-optische Säule mit folgenden Disziplinen:

- Photonik
- Optoelektronik
- Displaytechnik
- Bildverarbeitung
- Photomedizin
- Photophysik
- Photobiologie
- Photochemie
- Phototechnologie

Dieser Richtung wird für die Zukunft eine große Bedeutung beigemessen. So finden sich in der Agenda „Optische Technologien für das 21. Jahrhundert“ folgende Bemerkungen/1/:

„Der Weg in das Jahrhundert des Photons erfordert in Zukunft erhebliche gemeinsame Anstrengungen von Industrie, Wissenschaft und Politik.“

Auf der anderen Seite gibt es eine zweite Richtung, die die Wirkung des Lichtes aus emotionaler, künstlerischer und gestalterischer Sicht betrachtet.

Beide Richtungen stehen sich monolithisch gegenüber, obgleich die Einsicht vorhanden ist, daß nur aus dem gemeinsamen Miteinander das Gesamtphänomen „Licht“ erschlossen werden kann. Es hat deshalb nicht an Versuchen gefehlt, beide Säulen zusammenzubringen. Die Tagung Licht 2000 ist ein erneuter Versuch, zumindest die Lichttechnik auf der einen und die Lichtgestaltung auf der anderen Seite gemeinsam zu präsentieren.

In dem folgenden Beitrag soll gezeigt werden, daß die vorliegende Fragestellung bereits bei dem Universalgenie GOETHE eine große Rolle spielte. Es war die erklärte Absicht von GOETHE (1759-1832), der licht-optischen Säule, die zu seiner Zeit stark von I. NEWTON (1642-1727) geprägt war, eine zweite dagegen zu setzen, welche die menschliche Empfindung beinhaltet. Dieses Problem be-

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dietrich Gall
Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau, Fachgebiet Lichttechnik
Unterer Berggraben 10
D-98693 Ilmenau

schäftigte ihn sein ganzes Leben. Ein Rückblick auf GOETHES Farbenlehre läßt uns ahnen, auf welches schwierige Feld man sich dabei begibt und wie gering die Chancen zur Lösung desselben sind.

2. GOETHES Leistungen auf dem Gebiet „Licht und Farbe“

Über 40 Jahre verbrachte GOETHE mit dem Studium über die Farben:

- 1769 Erste Beobachtungen über die Abstufung zum Licht, Sonnenuntergänge und Regenbögen
- 1780 Optische Experimente mit Prismen, Linsen und der camera obscura
- 1791/92 Veröffentlichungen der „Beiträge zur Optik“
- 1792 „Von den farbigen Schatten“
- 1794 Versuch, die Elemente der Farbenlehre zu entdecken
- 1810 „Entwurf einer Farbenlehre“
 - Teil „Physiologische Farben“
 - Teil „Physische Farben“
 - Teil „Chemische Farben“
- 1820 „Entoptische Farben“
- 1822 „Nachträge zur Farbenlehre“

GOETHE schätzte seine Leistungen auf dem Gebiet der Farbenlehre größer als sein literarisches Schaffen:

„Auf alles, was ich als Poet geleistet habe, bilde ich mir gar nichts ein. Es haben treffliche Dichter mit mir gelebt, es lebten noch trefflichere vor mir, und es werden ihrer nach mir sein. Daß ich aber in meinem Jahrhundert in der schwierigen Wissenschaft der Farbenlehre der einzige bin, der das Rechte weiß, darauf tue ich mir etwas zugute, und ich habe daher ein Bewußtsein der Superiorität über viele.“
GOETHE zu P. ECKERMANN 1824

Auch GOETHE spürte am Ende seines Lebens schon, daß ihm die Anerkennung aus unterschiedlichen Lagern versagt bleibt:

„Ich habe mich vierzig Jahre mit dieser Angelegenheit beschäftigt und zwei Oktavbände mit der größten Sorgfalt geschrieben; da ist es denn auch wohl billig, daß man diesen einige Zeit und Aufmerksamkeit schenke.“

GOETHE an J.C. STIELER 1829

Heute, an der Schwelle des 21. Jahrhunderts, muß man bei der Würdigung dieser Leistungen von GOETHE berücksichtigen, daß viele Erkenntnisse der Optik, die uns selbstverständlich erscheinen, damals noch unbekannt waren. Man denke nur an die Lichtdeutung als Korpuskel oder Welle, an die physiologischen Erkenntnisse (Physiologische Optik, Neuroinformatik), an die Gesetze der Farbmischung (die Trennung zwischen additiver und subtraktiver Farbmischung) u.v.a.m.

Viele seiner Aussagen sind deshalb heute umstritten und noch immer gibt es ein großes Heer von glühenden Verehrern seiner Farbenlehre. Hier ein paar Stimmen aus dem GOETHE-Jahr 1999:

„Auch im Irrtum setzte GOETHE Maßstäbe. ... In zahllosen Experimenten versuchte er, seine vorgefaßte Meinung zu belegen, und holte schließlich 1810 mit dem Werk „Zur Farbenlehre“ zum finalen Schlag gegen die Newtonianer aus. Außer den Teilen über die Physiologie des Auges und zur Geschichte der Farbenlehre kann darin nichts wissenschaftlichen Rang beanspruchen, und doch ist vieles streckenweise großartig in Beobachtung und vor allem Diktion. Die allgemeine Ablehnung, auf die GOETHE stieß, provozierte ihn zu rüden Ausfällen, deren Maßlosigkeit manchmal den Verdacht aufkommen läßt, daß er insgeheim ahnte, wie weit er sich verrannt hatte.“

F. Unbedürftig, „Taschenlexikon GOETHE“ 1999

„Dieser Bann herrscht ungebrochen und beweist nach wie vor, die rigorose Tendenz der herrschenden Fachschaft, einpolig orientierte Methoden ihrer „Natur“-Wissenschaften fortzusetzen und totalitär zu vertreten. ... Dadurch bekommt seine „Farbenlehre“ für unsere Gegenwart noch eine weitere Bedeutung; denn überdies legt sie zum einen die Ignoranz von Wissenschaft und Forschung bloß, zum anderen verweist sie uns auf Leistungsgrenzen ganz natürlicher, menschlicher Fähigkeiten, die zu überschreiten nur inhumane und katastrophale Folgen haben kann.“

W. Liebchen, aus „GOETHES Farbenlehre“ 1999

„Und er stilisiert sich zum großen Einzelkämpfer, der das Licht der Wahrheit durch eine verfinsterte Welt trägt... Was er NEWTON vorwirft („Daß er unmögliche Mühe auf die Behauptung eines einmal festgestellten Irrtums verwendete“), genau dies zeigt sich bei GOETHE wortwörtlich so, über viele Jahre, über Jahrzehnte hinweg.“

D. Kühn, aus „GOETHE zieht in den Krieg“ 1999

„Das nachsichtige Lächeln, mit dem das 19. Jahrhundert diese offensichtliche Trotzleistung seines im übrigen hochverehrten Dichters begleitete, könnte uns am Ende des 20. Jahrhunderts vergangen sein. Wir mögen schwer genug verstehen, wovon die „Farbenlehre“ redet. Aber wir brauchen durch kein Spektrum, nur zum Fenster hinaus zu blicken, um zu wissen, wovon sie handelt.“

A. Mugsch, in „Bis an die Sterne weit“ 1999

3. GOETHES Bezug zu Licht und Farbe

Es ist nicht Anliegen dieses Beitrages, GOETHES Auffassungen über Licht und Farbe umfassend darzustellen, sondern einige Aspekte, die im Kontext mit der Tagung Licht 2000 stehen, aufzuzeigen.

3.1 GOETHES Auffassungen von Licht und Farbe

a. „Licht ist eine unteilbare Einheit, die Farben entstehen aus der Vereinigung von Licht und Finsternis, von Hellem und Dunklem unter Beimengung von, wie er es nannte, trüben Medien.“^{2/}

Die Theorie der Spektralfarben von NEWTON lehnte er ab, obwohl GOETHE selbst mit Dispersionsprismen arbeitete.

b. Licht und Farbe beeinflussen die Stimmung der Menschen. So spricht Faust zu Mephistopheles, der sich noch in der Gestalt des schwarzen Pudels bei ihm aufhält:

„Ach wenn in unsrer engen Zelle
Die Lampe freundlich wieder brennt,
Dann wird's in unserm Busen helle,
Im Herzen, das sich selber kennt.
Vernunft fängt wieder an zu sprechen,
Und Hoffnung wieder an zu blühn;
Man sehnt sich nach des Lebens Bächen,
Ach! Nach des Lebens Quelle hin.“

Den Farben werden bei GOETHE tiefe Gefühle zugeordnet /3/:

„Die Menschen empfinden im allgemeinen eine große Freude an der Farbe. Das Auge bedarf ihrer, wie es des Lichtes bedarf. Man erinnere sich der Erquickung, wenn an einem trüben Tage die Sonne auf einen einzelnen Teil der Gegend scheint und die Farben daselbst sichtbar macht. Daß man den farbigen Edelsteinen Heilkräfte zuschrieb, mag aus dem tiefen Gefühl dieses unaussprechlichen Behagens entstanden sein.“

c. Die starke Beziehung zu Licht und Farbe hat bei GOETHE auch sicher etwas mit seiner visuellen Veranlagung zu tun.

„Als außergewöhnlich erwies sich insbesondere die visuelle Veranlagung GOETHES. Bilder, Szenen und Gestalten, die er fasziniert beobachtet hatte, konnten Tage, Wochen oder sogar Jahre später farbig und in halluzinativer Deutlichkeit als subjektive Erscheinungen wiederkehren. GOETHE berichtete: ‚Ich bin hinsichtlich meines sinnlichen Auffassungsvermögens so seltsam geartet, dass ich alle Umriss- und Formen aufs Schärfste in Erinnerung behalte, dabei aber durch Missgestaltungen und Mängel mich aufs Lebhafteste affiziert finde.‘(1826)“/4/

d. Bei der Beschreibung der Farben machte GOETHE schon einen Unterschied zwischen den subjektiven Farberscheinungen (physiologische Farben), den Lichtfarben (physische Farben) und den Körperfarben (chemische Farben), siehe Tabelle zur Farbenlehre/3/.

3.2. Das Streben nach Universalität (Interdisziplinarität)

Wie schon erwähnt, war es das Anliegen GOETHES, dem Urphänomen Farbe in seiner ganzen Vielfalt auf die Schliche zu kommen.

a. Umfassende Literaturlauswertung

Es ist bestechend, mit welchem Aufwand GOETHE die Literaturrecherche zu seiner Farbenlehre durchführte.

„Nichts war natürlicher, als das ich aufsuchte, was uns über diese Materie in Schriften überliefert worden, und es von den ältesten Zeiten bis zu den unsrigen nach und nach auszog und sammelte. Durch eigene Aufmerksamkeit, durch guten Willen und Teilnahme mancher Freunde kamen mir auch die seltsamen Bücher in die Hände; doch nirgends bin ich auf einmal soviel gefördert worden als in Göttingen durch den mit großer Liberalität und tätiger Beihilfe gestatteten Gebrauch der unschätzbaren Büchersammlung. So häufte sich allmählich eine große Mas-

se von Abschriften und Exzerpten, aus denen die ‚Materialien zur Geschichte der Farbenlehre‘ redigiert worden und wovon noch manches zu weiterer Bearbeitung zurückliegt.“ (zitiert bei /6/)

Umso mehr überrascht es, daß er offenbar bestimmte Literaturstellen nicht berücksichtigt hat, obgleich er sie doch gekannt haben muß.

„Auffallend ist hierbei allerdings, daß er die ästhetische Farbenlehre, die bei ihm selbst die Krönung seiner Arbeit darstellt, in der historischen Betrachtung nahezu völlig außer acht läßt. Speziell das Gebiet der Farbenharmonie scheint GOETHE alleine für sich beanspruchen zu wollen.“/7/

Diese Ignoranz ist ihm von der Fachwelt oft angelastet worden. Selbst die gutgemeinten Erklärungsversuche von namhaften Zeitgenossen zu GOETHES nicht korrekten Auffassungen schlug er in den Wind (Prof. F. A. GREN – Halle, Prof. WÜNSCH – Frankfurt/Oder, Prof. LICHTENBERG – Göttingen, Prof. FRAUENHOFER u. a.). Sie paßten nicht in seine „Farbenwelt“.

Diese selektive Wahrnehmung ist bei den Fachleuten der Lichtdisziplinen z. T. bis heute festzustellen. Es ist noch eine Stufe schlimmer, man glaubt sogar, ohne Kenntnis der schon publizierten Ergebnisse auf diesem Gebiet auszukommen. Selbsternannte „Licht-Apostel“ ersetzen diesen Wissensschatz durch eigene Postulate, die allein durch ein Sendungsbewußtsein und Ignoranz bestechen.

b. Das Streben nach Interdisziplinarität

GOETHE war es bewußt, daß er bei seinem Ansatz der universalen Beschreibung des Phänomens Licht auf verschiedene Gebiete zurückgreifen mußte.

„... : denn es hat jedes einzelne Beginnen so viele Schwierigkeiten, daß es einen ganzen Menschen, ja mehrere zusammen braucht, um zu einem erwünschten Ziele zu gelangen. Allein dagegen hat man wieder zu bedenken, daß die Tätigkeiten, in einem höhern Sinne, nicht vereinzelt anzusehen sind, sondern daß sie einander wechselweise zu Hilfe kommen, und daß der Mensch, wie mit andern also auch mit sich selbst, öfters in ein Bündnis treten und daher sich in mehrere Tüchtigkeiten zu teilen und in mehreren Tugenden zu üben hat.“ (Konfession)

Den Naturwissenschaften und der Mathematik stand GOETHE skeptisch gegenüber.

„In den Werken GOETHES gibt es unzählige Belege dafür, daß er die rein materialistische Denkweise der aufkommenden „exakten“ Naturwissenschaft tief verachtet hat. ... GOETHE fordert von der von ihm vorgedachten ganzheitlichen Naturwissenschaft, daß sie ihre Erkenntnissuche nicht nur auf die Quantitäten, d. h. auf die mathematisch zu erfassenden Phänomene, sondern auch auf die Formen und Qualitäten richten soll, welche die herrschende „Naturwissenschaft“ getreu der NEWTONschen Forderung bis heute konsequent negiert hat. ...“ /8/

Die Mathematik, Optik und Physik schienen GOETHE suspekt. Er rühmt sich, davon nichts zu verstehen und behauptet, daß diese Disziplinen der Farbenlehre sogar schaden.

„722. Man kann von dem Physiker, welcher die Naturlehre in ihrem ganzen Umfange behandeln will, verlangen, daß er Mathematiker sei.

723. Der Verfasser kann sich keiner Kultur von dieser Seite rühmen ...

724. Wer bekennt nicht, daß die Mathematik, als eins der herrlichsten menschlichen Organe, der Physik von einer Seite sehr vieles genutzt; daß sie aber durch falsche Anwendung ihrer Behandlungsweise dieser Wissenschaft gar manches schadet ...

725. Die Farbenlehre besonders hat sehr viel gelitten, und ihre Fortschritte sind äußerst gehindert worden, daß man sie mit der übrigen Optik, welche der Meßkunst nicht entbehren kann, vermengte, da sie doch eigentlich von jener ganz abgedondert betrachtet werden kann.

727. Der Verfasser des Gegenwärtigen hat die Farbenlehre durchaus von der Mathematik entfernt zu halten gesucht ... Aber so mag denn auch dieser Mangel zum Vorteil gereichen, indem es nunmehr des geistreichen Mathematikers Geschäft werden kann, selbst aufzusuchen, wo denn die Farbenlehre seiner Hülfe bedarf, und wie er zur Vollendung dieses Teils der Naturwissenschaft das Seine beitragen kann.“/3/

Heute weiß man, daß die Farbmetrik und die Bild- und Farbverarbeitung insbesondere von der mathematischen Beschreibung leben und zu großartigen Anwendungen gekommen ist.

Von der Medizin dagegen erwartet GOETHE einen wesentlichen Beitrag zur Farbenlehre.

„Den Arzt, besonders denjenigen, der das Organ des Auges zu beobachten, es zu erhalten, dessen Mängeln abzuhefen und dessen Übel zu heilen berufen ist, glauben wir uns vorzüglich zum Freunde zu machen. In der Abteilung von den physiologischen Farben, in dem Anhang, der die pathologischen andeutet, findet er sich ganz zu Hause. Und wir werden gewiß durch die Bemühungen jener Männer, die zu unserer Zeit dieses Fach mit Glück behandeln, jene erste, bisher vernachlässigte und man kann wohl sagen wichtigste Abteilung der Farbenlehre ausführlich bearbeitet sehen.“/3/

Bei Künstlern und Malern fand GOETHE ein geteiltes Echo.

So schrieb GOETHE an den Maler Philipp Otto RUNGE (18.10.1809):

„Wie angenehm ist mir's, daß ich auch unter den Gleichzeitigen Gleichgesinnte nennen kann, die ich bisher nur unter den Abgeschiedenen aufsuchen mußte.“

Runge ahnte aber, daß GOETHE sich in verschiedener Hinsicht verrannt hatte.

„Kein Mensch ist ganz rein; aber wer es nicht bekennen will, daß er sich geirrt hat – das ist böse. GOETHE hat auf NEWTON geschimpft, daß der auf dem Irrtum gebaut habe, um sich am Ende zu blamieren; und jetzt: o wenn GOETHE doch gestorben wäre, um nicht von sich zu erleben, was er erlebt!“ (RUNGE 1803 zitiert in/4/)

GOETHE hatte seine Farbenwelt nach seinen Vorstellungen gebaut und wetterte über jeden anderen Fachmann, der andere Vorstellungen hatte. So konnte er

sich nur mit rüden Ausfällen gegenüber seinen vermeintlichen Gegnern rechtfertigen.

„Die Irrtümer meiner Gegner sind seit einem Jahrhundert zu allgemein verbreitet, als dass ich auf meinem einsamen Wege hoffen könnte, noch diesen oder jenen Gefährten zu finden. Ich werde allein bleiben! Ich komme mir oft vor wie ein Mann in einem Schiffbruch, der ein Brett ergreift, das nur einen einzigen zu tragen im Stande ist. Dieser eine rettet sich, während alle übrigen jämmerlich ersaufen.“

(GOETHE gegenüber ECKERMANN 1830)

Heute gibt es keine Gegner mehr, in der weiteren Entwicklung der Farbenlehre spielt GOETHES Farbmétrie keine Rolle. Von einer Gegnerschaft in den Lichtdisziplinen kann man nicht mehr reden, es ist nur ein mühsames Miteinander.

c. Die Vision von der Licht- und Farbharmonie

GOETHE malte sehr gern, war sich aber bewußt, daß er diesbezüglich nicht reichlich mit Talenten ausgerüstet war. So suchte er nach Gesetzmäßigkeiten, mit denen die Gestaltung und Harmonie zu beschreiben wären. Er entwickelte einen harmonischen Farbenkreis, der sich an den farbigen Nachbildern orientiert /9/. Wie erwähnt, gab es schon vor GOETHE umfangreiche Bemühungen, Gesetze der Harmonik aufzustellen. Diese Bemühungen halten bis heute an. Es werden z. T. Formeln für das ästhetische Farbmaß angegeben (MOON und SPENCER zitiert in/7/). Zahlreiche Untersuchungen brachten allerdings ein ernüchterndes Ergebnis.

„Die Ergebnisse dieser Tests, die mit einer Vielzahl von Versuchspersonen vorgenommen wurden, können dahingehend zusammengefaßt werden, daß sich keine sicheren und verbindlichen Vorhersagen über die harmonische Zusammenstellung von Farben treffen lassen. Mit anderen Worten – es lassen sich keine Farbenharmoniegesetze mit objektivem Geltungsanspruch aufstellen.“/7/

Ähnlich muß es sicher den Bemühungen ergehen, Regeln für die Lichtgestaltung aufzustellen. Das soll nicht heißen, daß dieses Bemühen nutzlos sei. Genauso wie die alten Farbharmonien Geschmacksrichtungen ganzer Epochen geprägt haben, ist jede neue Richtung der Licht- und Farbharmonie der Motor für neue Lichtkulturen, allerdings nur auf Zeit.

4. Fazit

Ein Blick in GOETHES Farbenlehre zeigt uns viele Parallelen zu den heutigen Fragestellungen der modernen Licht- und Farbkultur. Die Lichtdisziplinen aller Coleurs bringen auf ihren Gebieten originäre Leistungen und sollten deshalb von allen geachtet werden. Die Kultur des Miteinander lebt von den Verschiedenheiten und der Art und Weise, wie man Konflikte behandelt. Ein Alleinvertretungsanspruch wird von der „Geschichte bestraft“.

Literatur

/1/ „Optische Technologien für das 21. Jahrhundert – Deutsche Agenda“, Düsseldorf, Mai 2000

- /2/ Gerste, R. D., „Das Ohr ist stumm, der Mund ist taub, aber das Auge vernimmt und spricht“, Z. prakt. Augenheilkunde 20 (1999), S. 77 - 83
- /3/ Matthaei, R., „Goethes Farbenlehre“, Otto Maier Verlag, Ravensburg, 1987
- /4/ Sölch, R., „Die Evolution der Farben“, Ravensburger Buchverlag, Ravensburg, 1998
- /5/ Bedürftig, F., „Taschenlexikon – Goethe“, Piper Verlag, München, 1999
- /6/ Liebchen, W., „Goethes Farbenlehre 1999“, Fabel Verlag G. Liebchen, Rhön Grabfeld, 1999
- /7/ Schwarz, A., „Die Lehren von der Farbenharmonie“, Muster-Schmidt Verlag, Göttingen, 1999
- /8/ Bleecken, S., „Der Teufel und die Welt und Goethe, des Teufels Gegenspieler“, Inoffizieller Beitrag zum Kulturstadtjahr „Weimar 99“
- /9/ Boëtius, H. U. a., „Das Licht, das Dunkel und die Farben“, Multivers Verlag, 1999

Neue Trends in der Beleuchtung des Jahres 2000

Philippe C. Joye

1. Vielfalt

Die Beleuchtung des Jahres 2000 und des nächsten Jahrhunderts wird sich dadurch bezeichnen, dass die Quellen immer vielfältiger werden, dass die Integration, in den anderen Tätigkeiten der „Führung“ der Haus- und Bürotechnik, der künstlichen und natürlichen Beleuchtung, noch intensiver und einfacher als jetzt sein wird.

2. Parallele Wege

Auf der anderen Seite werden mehrere Wege zur Beleuchtung sich parallel immer weiterentwickeln:

- die klassischen Beleuchtungskörper werden noch immer gebaut, weil ich keinen Grund sehe, warum Leute, die sich durch klassische Möblierung ihren „soziologischen Aufstiegsdrang“ oder ihre ästhetische Unsicherheit zu überwinden versuchen, nicht weiterexistieren!
- die einfachen Lichtquellen, für die Länder, wo die Beleuchtung noch nicht zum Komfort des Lebens gehört, sondern wo eine Glühbirne einen Luxus darstellt
- die erneubaren Energiequellen wie Windmühlen, photovoltaische usw. Energien werden immer nützlicher, dort wo man sich an kein Netz zu einem vernünftigen Preis anbinden kann (Berggebiete usw.)
- die unabhängige, drahtlose Lichtquelle: ich kann nicht sagen, wodurch der Draht ersetzt wird, außer mit Batterie, – und diese werden immer kleiner und stärker-, aber vielleicht kommt etwas Anderes ...
- die absolut homogene Flächenverteilung der Beleuchtungsquelle auf mehrere Quadratmeter, wie etwa Fernsehen, Glasscheiben, Trennelemente, aber mit viel billigeren Lichtquellen
- eine generelle Verbesserung der Qualitäten der schon jetzt existierenden Beleuchtung in den verschiedensten Gebieten wie Wärmeerzeugung, Beleuchtungsrichtungen, Spilllight, etc.
- eine ständige Verkleinerung der tragenden Elemente und Schalter, Trafos etc. der modernen Beleuchtungskörper
- eine Integration, im tagtäglichen Leuchtenbedarf, für „Monsieur et Madame Tout le Monde“, der neuen Bühnenprojektoren, die alle möglichen Beleuchtungsarten, samt Rhythmus, Feuchtigkeit, Nebel, Geruch, bald produzieren werden
- eine ständig längere Lebensdauer der Lichtquellen mit verbesserten Rekuoperationsvorgängen

- ein immer besseres Verständnis der raffinierten, dialektischen Beziehungen zwischen natürlichem Tageslicht und künstlicher Beleuchtung, mit eventueller Superposition der geographischen Lage der Lichtquelle Tag und Nacht, Einführung in Zwischengeschossen von „Sonnenkaminen“ etc.
- die Öffnung der militärischen Wissenschaft betreffend Infrarot- usw. Beleuchtung für den zivilen „Day-to-day“-Gebrauch, und dies nicht nur für Sicherheitszwecke, sondern auch nichttechnische Bedienung
- und, last but not least, eine immer größere Phantasie in allen Gebieten der Kreativität, sei es durch den „Minimalist-Approach“, durch die originelle Zusammensetzung von unerwarteten Elementen, die Mischung aller Sinnesgefühle, die Lust zu einer gewissen Sinnlichkeit, etc. etc.

3. Denkmalpflege

Unter anderem, Gebäude mit großem historischen Wert, oft in südländischen Gebieten Europas, auch weiter um das Mittelmeer, würden es sehr nötig haben, eine bessere Innenbeleuchtung (Außenvolumen auch) zu genießen. Der heutige Zustand, auch in weltweit bekannten Kirchen Italiens zum Beispiel, ist derartig furchtbar, dass auch bescheidene Maßnahmen, so billig wie möglich, die Beleuchtungsqualität um das Hundertfache verbessern könnten.

Das Hauptproblem: Drahtlosigkeit, Fernsteuerung, große Lebensdauer der Leuchtquellen, gute Führung des Lichtes!

Die (katholische und orthodoxe) Kirchen, unter anderen, sind arm.

Aber etwas muss vorgeschlagen werden. Alle Schaltapparate sollten nicht an die Gebäulichkeiten angeschlagen werden, sondern flexibel, autonom, und in anderen Materialien als die vom Gebäude, gestaltet werden.

4. Die Leute bewegen sich: also auch die Beleuchtung!

Zum Abschluss scheint es mir, dass die Mobilität, das rasche Auswechseln der Leuchten, eine leichte Anbindung, wenn schon eine zu festen Gebäudeteilen, eine selektive Beleuchtung der Monumente und Denkmäler, durchdacht und ohne Überflutung, immer mehr zum Trend wird: die Leute müssen sich leider daran gewöhnen, dass sie 3- bis 5mal ihr Beruf im Leben wechseln werden. Die Gebäude müssen demnach viel flexibler gestaltet werden, auch im Gebiet der Beleuchtung, weil sie grosse Funktionswechsel auf sich nehmen müssen.

Das bedeutet, dass man die Funktionen, Moden und Art der Anwendung der Räume, in denen wir leben, arbeiten, lachen und weinen, streiten und küssen, sehr rasch, billig und funktionell einwandfrei ändern kann.

5. Schlussfolgerung

Diejenige, die diese totale Mobilität im Beleuchtungswesen begreifen, und diese Problematik mit totaler Unabhängigkeit der jetzigen Klischees behandeln, werden Freude und Erfolg haben.

Remember: Licht ist ein Spiel, nicht nur „subtiles Spiel mit der Architektur“
wie es Le Corbusier einmal sagte:
„L'architecture est le jeu subtil des formes et de la lumière“.

Jetzt sind wir in Sachen Beleuchtung und Architektur viel weiter gekommen:
„La lumière naturelle et artificielle est un des éléments essentiels, combinés avec d'autres, de la sécurité, de la qualité, du plaisir de vivre, dans des espaces en constante évolution, au rythme de nos vies et de nos sentiments respectifs“.

Lichtplanung an der Wegscheide – ein Instrument zur Realisierung energetisch optimierter Immobilien oder ein Teil eines Gesamtkunstwerkes?

Gudrun Schach

Architekten zeichneten früher für Entwurf und Ausführung des Gesamtgebäudes verantwortlich. Der Architekt war in Weiterführung des Stadtbaumeisters ein kreativ Schaffender, dessen Konzeption geachtet wurde. Die unterschiedlichen Gewerke ordneten sich der Leitung aus einer Hand unter und so entstand ein Gesamtkunstwerk.

Aufgrund immer größer werdender Bauvorhaben und der daraus resultierenden Managementaufgaben entwickelte sich der Berufsstand des Projektsteuers. Der Projektsteurer, der direkte Vertreter des Bauherrn ist Kontrollinstanz und bereitet die Entscheidungsfindung vor, beeinflusst vor allem durch Kosten und Termindruck. Die einzelnen Fachbereiche darunter auch der Architekt, der dem Haustechniker, dem Fassadenplaner und dem Lichtplaner beinahe gleichgestellt ist, sind zu koordinieren. Jeder Spezialist konzentriert sich auf seinen Bereich und versucht den Normen und Vorschriften gerecht zu werden. Die Zusammenarbeit erfolgt manchmal miteinander, aber immer öfter auch gegeneinander. In der hektischen Baubranche herrscht eine Art Konkurrenzkampf zwischen den Fachbereichen.

Lichtplaner und Haustechniker sind vor allem bestrebt die Lüftungsquerschnitte, die Sprinklerrohre und die notwendige Kabelage unterzubringen. Die Aufgabe des Architekten besteht nun darin mit diesen Angaben einen Deckenspiegel zu erstellen. Der ihm zur Seite gestellte Techniker denkt oft nur eindimensional anhand des Grundrisses. Die Beleuchtung wird oftmals nur mit der Angabe der Raumhöhe geplant.

Architektur ist Raum und Raum ist dreidimensional und wird durch alles, was sich darin befindet geprägt und gestaltet.

Wir Lichtplaner vergessen bei unserer Arbeit den Raum, wir sehen das Lichtsystem losgelöst von der Architektur. Lichtsysteme werden von der Lichttechnik für eine spezielle Sehaufgabe entwickelt. Diese Vorgangsweise hat für den Büroarbeitsplatz sicherlich seine Berechtigung. Aber wie behandeln wir Räume, wie z.B. Einkaufszentren, Foyers, Hotels, Kinos, Theater, Flure und Besprechungszimmer?

Der leere Raum gebaut aus Licht ist die Vision des Architekten. Der Wunsch von jeglichem technischem Equipment frei zu sein begleitet den Entwurf. Aber nie-

Dipl.-Ing. Gudrun Schach
Mosergasse 9/10
A-1090 Wien

mand möchte auf den Komfort der technischen Errungenschaften in der heutigen Zeit verzichten. Eine Verbindung eines klaren reduzierten Raumes mit technischen Know-How zu realisieren, muß unser Ziel sein. Die architektonische Idee wird im Konzept mittels 3D Simulationen visualisiert. Es sind virtuelle Bilder, die dem Bauherrn präsentiert werden und ihn überzeugen. Diese Simulationen sollten für alle Gewerke als Vorgabe gelten. Selten sind darauf sichtbare Lichtsysteme zu erkennen, aber es wird sehr wohl mit Licht gestaltet. Denn erst durch Kontraste und Reflexionen, mit Licht und Schatten beginnt auch erst virtuelle Architektur zu leben.

Gezielt eingesetztes Licht verstärkt den Raumcharakter. Zueinander versetzte Ebenen, Wandscheiben, Stützen, ein plötzlicher Materialwechsel – jeder Raum hat seine eigene Charakteristik und diese herauszuarbeiten stellt eine Herausforderung für die Lichtplanung dar. Architektur kann mit künstlicher Beleuchtung unterschiedlich interpretiert werden. Je nach Nutzung des Raumes kann das eingesetzte Licht die Stimmung verstärken. Ein Atrium mit verglastem Dach kann zum Beispiel sowohl als geschützter Außenraum als auch als eine Erweiterung des Innenraumes verstanden werden. Beides kann bei Nacht mit künstlichem Licht erzeugt werden.

Licht bestimmt das Ambiente und die Stimmung. Der Mensch begreift Licht durch die Reflexion an unterschiedlichen Oberflächen. Das eingesetzte Material spielt dabei eine entscheidende Rolle. Es erfordert eine intensive Auseinandersetzung mit dem Planungsgeschehen und eine enge Abstimmung mit dem Architekten um die Beleuchtungsintensität und die Lichtfarbe in Harmonie mit dem Innenausbau auszuwählen. Normalerweise wird nach Plänen ohne Kenntnis der Ausstattung und Möblierung gearbeitet. Die Raumhöhe und Raumbreite definieren das Leuchtmittel und es wird der Auswahl der Lichtfarbe wenig Bedeutung beigemessen. Warmweiß ist Favorit, denn es wird mit einer wohnlichen, angenehmen und streßfreien Atmosphäre assoziiert. In einer falschen Umgebung kann es jedoch das Gegenteil bewirken.

Die Wahl der Lichtfarbe und die Wahl des Systems muß der Funktion des Raumes entsprechen. Ein Restaurant und ein Museum – zwei unterschiedliche Beleuchtungsaufgaben. Im Restaurant wird warmes Licht dem festlichen Anlaß gerecht. Die Sehaufgaben bestehen darin, den eigenen Teller, das Essen darauf und das Gegenüber wahrzunehmen. In einem Museum ist die Sehaufgabe und die Anforderung komplexer. Das Studium der Exponate steht im Vordergrund, notwendig dafür ist ein möglichst gleichmäßiger vertikaler Beleuchtungsstärkeverlauf an den Ausstellungsflächen. Außerdem muß eine hervorragende Farbwiedergabe und die Vermeidung von Schattenbildung erreicht werden. Ist das das Ziel? Licht für zweckdefinierte Funktionen zu entwerfen? Oder macht erst das Licht den Raum zum Ort?

Gezielt gelenktes Licht, sei es Tages- oder Kunstlicht kann als Leitsystem genutzt werden. Mit bewußt gesetzten Schwerpunkten wird der zu beschreitende Weg verdeutlicht. Der Antritt einer Treppe, der Bereich direkt vor den Aufzugstüren, Kreuzungen in einer Mall und Aufgänge zu den Bahnsteigen – all das sind

Orte, die mit erhöhten Beleuchtungsstärken zur einer klaren Orientierung im Raum beitragen können.

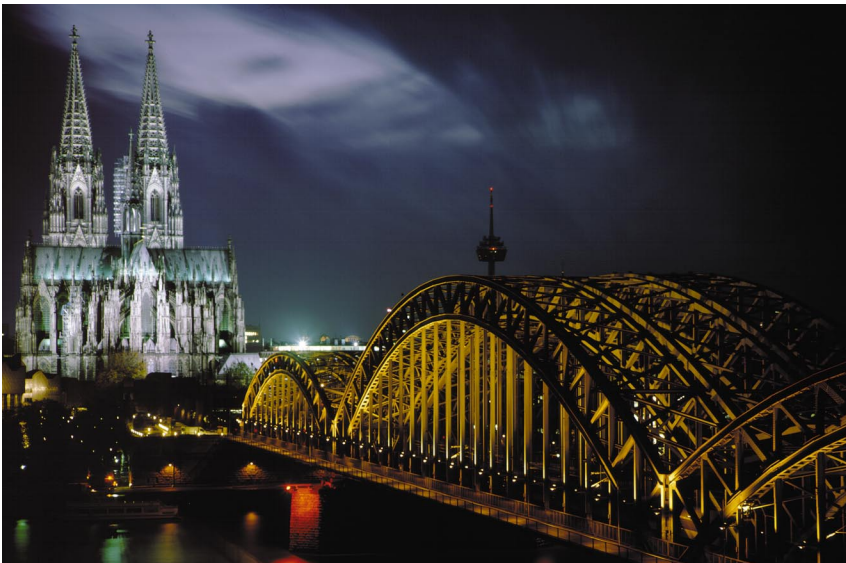
Um mit künstlichem Licht arbeiten zu können muß man bereit sein, sich auf die Architektur einzulassen, um zu allererst das Konzept des Raumes zu verstehen, bevor man an die Montagemöglichkeiten, an die Auswahl des Leuchtmittels und an wirtschaftliche Vorgaben denkt.

Lichtzauber in der Nacht

Harry Hollands

Am Ende des neunzehnten Jahrhundert strömten viele New Yorker zusammen im Menlo Park, wo Hunderte von Glühlampen an Kabeln hingen. Plötzlich wurde ein Schalter umgelegt und alle Lampen leuchteten. Vom Publikum war ein lautstarkes „ooh“ zu vernehmen, als es zum ersten Mal das elektrische Licht im Außenraum sah. Von diesem Moment an wurde Thomas Edison, der die Lampen entwickelt hatte, der Zauberer von Menlo Park genannt. So einen tiefen Eindruck hinterlässt das Zuschalten des Kunstlichtes heute natürlich nicht mehr. Haben wir die Faszination der Beleuchtung verloren? Bei weitem nicht, wir definieren die Rolle des Lichts neu um Lichteffekte und Stimmungen zu schaffen, die uns diesem zauberhaften Aspekt des Licht wieder erleben lässt.

Am Tage modelliert das Tageslicht unsere Umgebung, es gibt der Architektur und dem öffentlichen Raum ihre Plastizität. Das Licht der Sonne lässt uns mittels unserer Augen die Welt sehen. Die Wahrnehmung von Objekten ist abhängig von der Menge und Weise, wie das Licht durch Material absorbiert, durchgelassen oder reflektiert wird. Tagsüber gibt das Licht unseren Städte kein statisches Bild, trotzdem erfahren wir unsere Umgebung, als wäre sie ständig gleich, weil die Änderungen des Lichtklimas langsam verlaufen. Wir reagieren viel empfindlicher auf plötzliche Änderungen der Lichtverhältnisse.

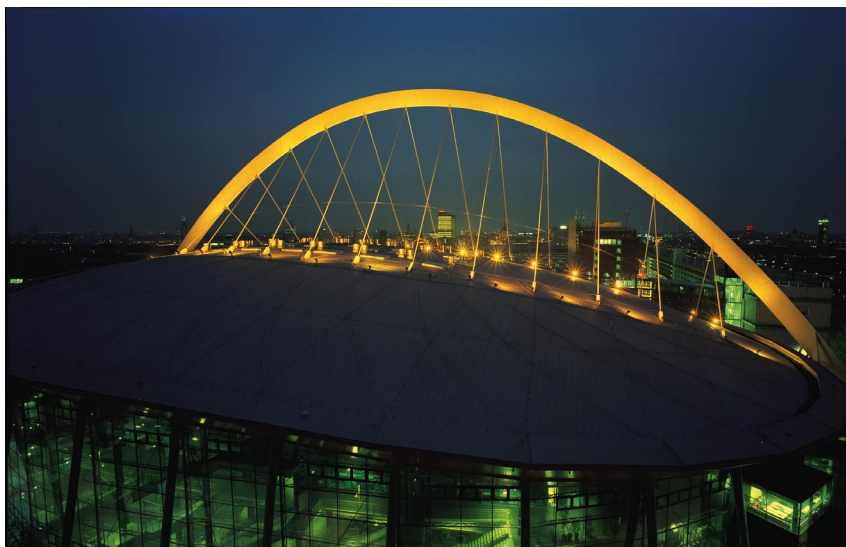


Ir. H.J. Hollands
Har Hollands Lichtarchitect
Maasstraat 23
NL-5626 BB Eindhoven

Was immer der Grund ist, warum der Lichtsinn so ist – durch Gottes Hand geschaffen, als Resultat eines langen evolutionären Prozesses oder beides – er funktioniert so, dass wir uns ein Bild von den Objekten dieser Welt machen. Dieses „innere“ Bild ist aber immer subjektiv geprägt, es wird beeinflusst durch unsere historischen Erfahrungen. Selbst erlebte und vielleicht genetisch überlieferte Situationen. Das Licht ist Futter für unseren Augen, es wird aber verdaut im Gehirn. Aus der Fülle der visuellen Reize wird selektiert und Prioritäten werden gesetzt. Von der physikalischen Welt bekommt man ein subjektives Bild durch einen physiologischen und psychologischen Prozess. Bei diesem Wahrnehmungsvorgang unterscheidet und bewertet der Mensch das Bild auf dreierlei Weise. Diese beeinflussen sich gegenseitig, dennoch sind sie vom Charakter unterschiedlich: der Nutzwert, die gestalterische und emotionale Qualität.



Das Licht verleiht der Architektur nicht nur eine Präsenz, sondern auch eine Bedeutung, die zweckvoll sein kann für unser Handeln, die eine ästhetische Empfindung generiert und gleichsam wirksam ist als Förderer von unseren Gefühlen. Die Wahrnehmung lässt sich nicht einzig und allein beschränken auf die Funktion der Augen. Gemeint ist die Empfindlichkeit für Helligkeit und Farbe. Auch bei dem Erleben von Architektur und Städten spielen funktionale, gestalterische und emotionale Aspekte eine große Rolle. Man verlässt sich bei der Planung von Gebäuden und öffentlichen Räumen nicht ausschließlich auf rein funktionale Kriterien.



Was würden wir machen, wenn es zum ersten Male dunkel würde und wir hätten nur das Arsenal von Lampen und Leuchte, die uns heute zur Verfügung stehen? Stellen wir uns diese schwarze, dimensionslose Leere vor und fragen uns: Warum würden wir etwas enthüllen, was würden wir beleuchten und wie wird dieses dann in Licht gesetzt? Bei der Beantwortung der ersten Frage würden wir uns berufen auf die menschlichen Bedürfnisse, den Bedarf an Schutz, Sicherheit, Orientierung, Identität und dem Verlangen nach einem stimmungsvollen Ambiente. Alles sichtbar machen mit einer mehr oder weniger gleichmäßigen Decke aus Licht würde nur einer Anforderung gerecht werden, unserem Hang nach Sicherheit. Für die anderen Bedürfnisse reichen lichttechnische Empfehlungen – festgelegt in Beleuchtungsstärke; Gleichmäßigkeit und Farbwiedergabe – und Formeln nicht aus. Der gestalterischen und emotionale Wert einer Beleuchtung ist nicht mittels einer kalkulatorische Methode zu erreichen. Die Anforderungen, die man an eine Lichtplanung stellt, sind zum Teil rational zu verstehen – und in Worten auszudrücken – es gibt aber auch andere, die zum Teil verborgen bleiben – wir können sie nur ahnen. So ist es auch mit der Sprache: Für eine effektive Kommunikation gibt es ein effizientes Prosa, in einem politischen Text übersteigert man die Bedeutung der einzelnen Worte. Um eine Poesie des Lichts zu schaffen ist

es unzureichend, wenn bei der Planung des Lichts nur der Aspekt der Erkennbarkeit der Umgebung betrachtet werden. Es ist wichtig, dass der Wunsch nach Schönheit und das Verlangen nach emotionaler Ladung im Planungsprozess einbezogen werden. Kurz gesagt, das Licht soll unsere Städte humanisieren.

Nicht alles soll in der Nacht erhellt werden. Schattenbereiche sind ein integraler Teil einer Lichtkomposition. Bei einer totalen Beleuchtung würde das typische Merkmal der Nacht, die Finsternis, verloren gehen. Anders als tagsüber, wenn alle Körperlichkeit ein nicht zu beeinflussendes Resultat des gegebenen Lichtes ist, muss wenn es dunkel ist, mittels Kunstlicht eine Komposition von Helligkeiten und Farben inszeniert werden. Die Nacht ist ein schwarzes, dreidimensionales Kanvas, worin mit Licht gestaltet wird. Der Eindruck dieses Lichttraumes lässt sich leicht ändern. Das Licht wird zu einem immateriellem Baustoff für die Inszenierungen von Materialien, Texturen, Strukturen und Formen; nicht nur um sie darzustellen, wie sie sich am Tage präsentieren. Eine Kopie zu planen, wie es sich tagsüber darstellt, ist nur eine Möglichkeit. Andere Bilder zu produzieren, die die Bedeutung der Architektur oder die des Ortes zum Ausdruck bringen, ist sinnvoller. Es sind Bilder, die tagsüber nicht zu realisieren sind. Das Licht wird zum magischen Mittel. Weil das Medium Kunstlicht sich leicht ändern lässt, kann man Inszenierungen in einer bestimmten Reihenfolge zeigen, die verschiedene Qualitäten erlebbar machen. Ein leises Spiel oder ein lautes Spektakel. Das bewegende Licht wird dann zu einer Erfahrung, die uns Menschen bewegt.



Kunstlicht ist ein Stilmittel, das eine Situation interpretiert, ihre Qualität bewertet und typische Merkmale hervorhebt. Das Licht bestimmt den spezifischen Charakter, den Geist des Ortes. Mit Licht lässt sich eine verborgene Bedeutung erklären. Das Licht berührt unsere Städte in der Weise, dass wir von der Architek-

tur oder dem Ort angesprochen werden. Sie erhalten da – durch menschlich – sinnliche Qualitäten. Licht interpretiert unsere Umgebung und wird so zum Stadtführer, um die Stadt am Abend wieder neu zu entdecken. In der Nacht – das Reich der Magie – ist Licht der Zauberer. Licht bereichert die Stadt im persönlichen Umfeld. Vieles mehr als nur die Stadt zu verschönern ist möglich. Licht kann eine Geschichte aktualisieren, das Moderne in einer Tradition platzieren oder die Zeit erfrieren lassen. Licht ist in der Lage komplexe Strukturen zu verdeutlichen oder Verwirrung anzurichten. Das Normale kann verfremdet werden; das Eigenartige wieder erkennbar. Das Licht verleiht dem gewöhnlichen einen monumentalen Eindruck oder entdramatisiert das Monument. Funktionen werden ablesbar gemacht; das Licht wird zum Kommunikationsmittel. Licht hebt das Spezifische, das Ortsabhängige hervor, die typischen Farben, Texturen, Strukturen und Formen, deren Transparenz, Geschlossenheit, Schlankheit oder Massivität hervor. Licht verkörpert oder entmaterialisiert. Die Beleuchtung versetzt alles in eine märchenhafte, eine mysteriöse, eine festliche, eine geweihte oder sachliche Atmosphäre. Das Licht spielt mit dem Objekt, es dramatisiert die Bedeutung, es stellt etwas vor als eine flüchtige Phantasie.



Welche Kenntnisse und Fähigkeiten werden von dem Lichtplaner verlangt, wenn der Grund jeder Beleuchtung ist, eine Situation so zu enthüllen, dass sie unsere Bedürfnisse nach Schutz, Sicherheit, Orientierung, Identität und Atmosphäre befriedigt? Neben einem Fachwissen über Leuchtmittel und Lichttechnik soll er die Fähigkeit besitzen, sich ästhetische und räumliche Überlegungen zu machen. Dieses erfordert eine Kombination von analytischem Denken und ein Vermögen an ein Problem auf eine gestalterische und subjektive Weise heranzugehen. Beide Qualitäten müssen in einer Person vereint sein. Er sollte die Sprache beider

Welten beherrschen. Deshalb sollten Lichtplaner bei der Ausbildung zum Lichtplaner die Grammatik des Architekten und der Stadtplaner erlernen, um ein kompetenter Planungspartner zu sein. Lichtplanung ist eine Dienstleistung. Der Planer muss eine gute Beleuchtung im Sinne des Auftraggebers planen und sich nicht verlieren in unangebrachter Effekthascherei. Um eine gute Qualität der Beleuchtung zu schaffen, decken Normen die quantitativen, minimalen Maßstäbe nur zu einem geringen Teil ab. Man sollte sich hüten, die Reglementierung zu verdichten, weil es die Gefahr in sich birgt eine Rechtfertigung zu haben, um nicht nach besseren Lösungen suchen zu müssen. Das Bestreben von dem Lichtplaner sollte es sein, ein gutes, schönes und eindrucksvolles Lichtklima zu schaffen, wo man den Eindruck bekommt, alle Möglichkeiten ausgeschöpft zu haben, zu Gunsten von unmessbaren, menschlichen Werten. Manchmal gelingt es dann, die Nacht mit Licht zu verzaubern.

Entwicklung von optischen Systemen aus einer gegebenen Lichtstärkeverteilung nach dem Evolutionsprinzip

Horst Rudolph

1. Einleitung

Häufig steht bei der Entwicklung des optischen Systems einer Leuchte die Lichtstärkeverteilung (LVK) im Vordergrund:

- sie soll geringste Lichtstärken oberhalb $\gamma = 60^\circ$ aufweisen oder
- sie soll geeignet sein, eine ebene Fläche möglichst gleichmäßig zu beleuchten oder
- sie möge asymmetrisch sein, mit einem Lichtstärkemaximum bei $\gamma = 62,5^\circ$.

Das alles natürlich mit dem bestmöglichen Betriebswirkungsgrad und bei vorgegebenen Abmessungen der Leuchte.

Da es aber keine Möglichkeit gibt, für räumlich ausgedehnte Lichtquellen die Reflektor- oder Prismenkontur durch mathematische Gleichungssysteme zu lösen, bleibt nur der iterative Prozeß: Eine Initialoptik wird in vielen Einzelschritten solange optimiert, bis das gewünschte Ergebnis vorliegt.

Im Folgenden soll nun anhand eines einfachen Beispiels gezeigt werden, wie diese Optimierung mit Hilfe von evolutionären Algorithmen dem Computer übertragen werden kann. Voraussetzung hierfür ist einerseits ein Computerprogramm, welches aus den geometrischen und lichttechnischen Daten der Leuchte die LVK errechnen kann (Simulationsprogramm). Andererseits benötigt man ein Computerprogramm, welches die gewonnenen LVKn auswerten und die geometrischen Parameter des optischen Systems variieren kann (Optimierungsprogramm).

2. Aufgabenstellung

Gegeben sei die in Bild 2 dargestellte rotationssymmetrische LVK. Sie entstammt der Messung einer Leuchte mit einem Drehspiegel-Goniophotometer. Die Optik der Leuchte besteht aus einem hochglänzenden Aluminiumreflektor (s. Bild 1) und ist mit einer Halogen-Metaldampflampe der Leistungsstufe 250W mit beschlammtem, ellipsoidförmigem Glaskolben bestückt.

Die gegebene LVK soll nun ebenfalls von einer Leuchte erzeugt werden, die sich sowohl in ihren äußeren Abmessungen als auch in der Bestückung von der Leuchte aus Bild 1 unterscheidet. Durchmesser und Höhe der neu zu ent-

wickelnden Leuchte sollen um etwa 50% geringer ausfallen, außerdem wird in der Leuchte eine Natriumdampf-Hochdrucklampe der Leistungsstufe 70W mit klarem Glaskolben betrieben.



Bild 1

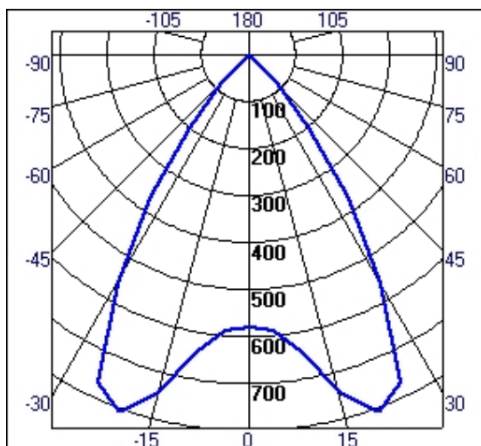


Bild 2

3. Erstellen der ersten Reflektor-Generation

Im Computer wird ein erstes Modell des optischen Systems erstellt, wobei schon hier auf die Randbedingungen geachtet werden muß: z. B. die Position der Lichtquelle, die maximale Größe der Optik, Anbindungen an Gehäuseteile, usw. Bild 3 zeigt dieses erste Modell.

Die Kontur des rotationssymmetrischen Reflektors wird durch einen kubischen Spline erzeugt. Die insgesamt 6 Stützstellen dieses Splines sind durch Rauten im Bild 3 gekennzeichnet. Verschiebt man nun eine der Stützstellen in eine beliebige Richtung, so ändert sich entsprechend die Form des Reflektors. Die Koordinaten der Stützstellen bestimmen also das Aussehen des Reflektors grad so, wie die Erbanlagen (die Gene) eines Lebewesens, dessen Struktur und Fähigkeiten bestimmen.

Für die erste Generation (die Initialoptik) sind Anzahl und Position der Stützstellen, also Anzahl und Information der Gene, willkürlich gewählt. Die von dieser Leuchte gewonnene LVK ist in Bild 4 dargestellt.

4. Die nächste Generation

Es werden nun weitere Optiken vom Computer erzeugt, indem die Stützstellen des Vorgängers um zufällig gewählte Distanzen horizontal verschoben werden. Der jeweils resultierende Spline erzeugt eine neue Reflektorkontur, die sich vom Vorgänger unterscheidet (s. Bild 5). So lassen sich, bildlich gesprochen, durch Mutation des Erbgutes beliebig viele individuelle Nachkommen schaffen.

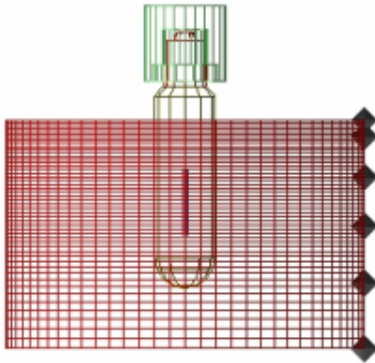


Bild 3

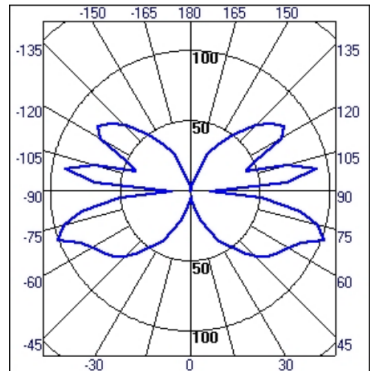


Bild 4

Im vorliegenden Fall werden die Stützstellen 2 bis 6 geringfügig variiert. Die unterste Stützstelle 1 bleibt fest, da sie Anbindungen an das Gehäuse darstellt. Für die Variation der Splines müssen zudem noch Grenzwerte definiert werden, um zu verhindern, daß der Reflektor beispielsweise mit der Lichtquelle kollidiert oder die vorgegebenen Gehäuseabmessungen durchdringt.

Von den so neu gewonnenen Optiken werden anschließend die jeweiligen LVKn mit einem Computerprogramm berechnet (s. Bild 6).

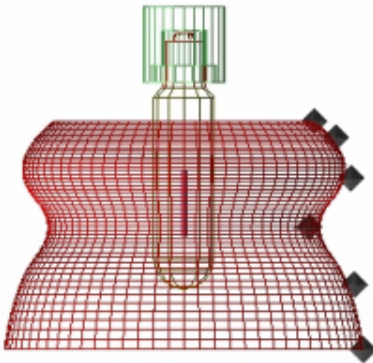


Bild 5

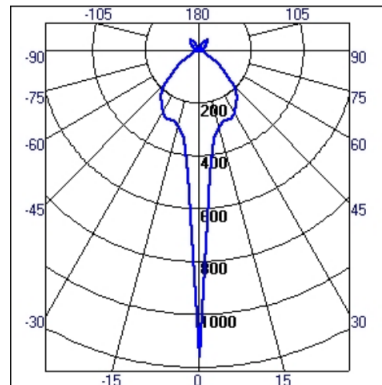


Bild 6

5. Die Bewertung der Generation

Nachdem nun die neu gefundenen LVKn vorliegen, müssen sie bewertet werden: die Qualität jeder Leuchte wird durch eine sog. Qualitätsfunktion ermittelt. Dazu wird die absolute (vorzeichenlose) Differenz aller Lichtstärken zur Soll-LVK berechnet. Es ergibt sich jeweils eine Differenz-LVK, aus der durch Integration ein Differenz-Wirkungsgrad ermittelt werden kann.

Geht der Differenz-Wirkungsgrad gegen 0, so entspricht die gefundene LVK der Soll-LVK. Die Leuchte würde demnach die Soll-LVK erzeugen und die Optimierung wäre erfolgreich beendet.

6. Die Selektion

Im vorliegenden einfachen Fall (3 Vorgänger, 10 Nachkommen, man spricht hier von der 3,10-Strategie) erhält man in jeder Generation 10 Differenz-Wirkungsgrade. Diese können sowohl kleiner (die LVK ähnelt der Soll-LVK mehr) als auch größer (die LVK ähnelt der Soll-LVK weniger) sein als die Differenz-Wirkungsgrade der Vorgänger.

Die Anzahl der Vorfahren sowie die Anzahl der Individuen pro Generation ist frei wählbar. In mehreren Versuchen hat sich gezeigt, daß sich die 3,10-Strategie schneller dem Ziel nähert als beispielsweise die 1,6-Strategie (s. Abschnitt 9).

Die 3 Leuchten mit der jeweils besten Qualität (kleinster Differenz-Wirkungsgrad) werden nun die Vorgänger für die Erstellung der nächsten Generation. Somit schließt sich der Kreisprozeß der Iteration, indem auch für die nächste Generation die Schritte Mutation und Selektion durchgeführt werden.

7. Die optimierte Reflektorkontur

Der Optimierungsprozeß wurde nach 100 berechneten Generationen abgebrochen. Innerhalb von 9 Stunden wurden die Lichtstärkeverteilungen von insgesamt 1000 Reflektoren berechnet und ausgewertet. Die folgenden Bilder zeigen die optimierte Reflektorkontur und die daraus resultierende LVK. Der Differenz-Wirkungsgrad beläuft sich auf 4,8%.

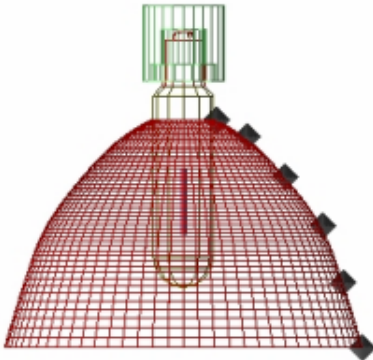


Bild 7

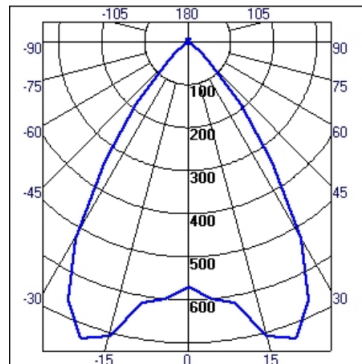


Bild 8

8. Konvergenzbetrachtung

In Bild 9 ist das Konvergenz-Diagramm für die 3,10-Strategie dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, daß die Annäherung an das Optimum innerhalb der ersten Generationen recht groß ist. Dahingegen flacht die Kurve am Ende der Optimierungsphase deutlich ab. Es sind pro Generation die jeweiligen Differenz-Wirkungsgrade aller 3 Vorfahren aufgezeichnet.

Die Mutationsgröße, also der Betrag, um den die Stützstellen bei der Erzeugung der Folgegeneration variiert werden, ist abhängig von der Qualität der Vorfahren. Das heißt, je mehr sich die LVKn dem Soll-Wert annähern, um so geringer fällt die Varianz der Stützstellen für die Folgegeneration aus. Das hat einerseits zur Folge, daß das Optimum genauer angesteuert wird, andererseits nähern sich die Individuen bei großem Abstand zur Soll-LVK schneller an.

Die Anzahl der Generationen, die berechnet werden müssen, um zur Soll-LVK zu kommen, hängt sehr stark von der gewählten Evolutionsstrategie (s. Abschnitt 9) ab. Ebenfalls von großer Bedeutung für die Anzahl der untersuchten Generationen ist der allererste Vorfahr: Ist die LVK der Initial-Leuchte der Soll-LVK bereits sehr ähnlich, so läßt sich der Optimierungsprozeß drastisch verkürzen.

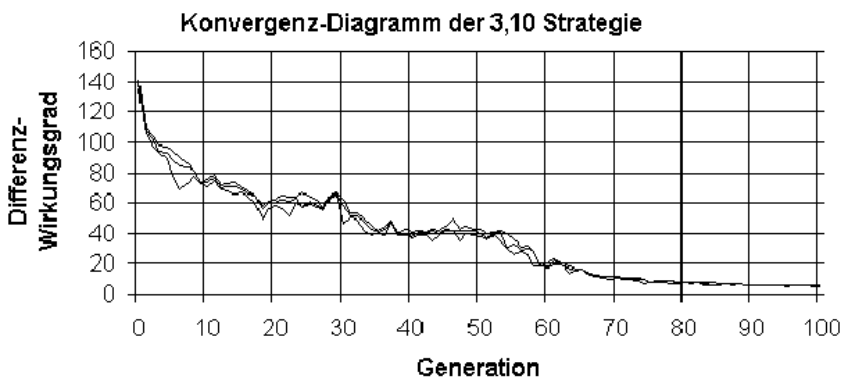


Bild 9

Ein Differenz-Wirkungsgrad von 0 kann in diesem Beispiel nicht erreicht werden, da aufgrund des geringeren Abschirmwinkels der Lampe zur Reflektorunterkante noch Lichtstärken oberhalb $\gamma = 50^\circ$ auftreten, die bei der Soll-LVK fehlen. Die ungünstigen Randbedingungen (geringere Reflektorhöhe) verhindern also, daß die optimierte Optik die Soll-LVK erzeugen kann.

9. Evolutionsstrategien

Die oben erläuterte 3,10-Strategie mit 3 Vorfahren und 10 Nachkommen pro Generation ist nur ein Beispiel aus einer Vielzahl möglicher Strategien. Je nach Anzahl der Vorfahren und Nachkommen, optimiert man beispielsweise nach der 1,6-Strategie, der 3,10-Strategie oder der 5,20-Strategie.

Des weiteren besteht die Möglichkeit, die Vorfahren in die Selektion mit einzubeziehen. Das hat zur Folge, daß die Qualität der folgenden Generation nie schlechter ausfällt, als die der Vorfahren. Allerdings besteht hier die Gefahr, daß sich die Evolution in einem Suboptimum verfängt, da keine Rückschritte zugelassen werden.

Strategien mit mehreren Vorfahren lassen auch eine Vermischung der Gene durch Rekombination zu, bevor die Nachkommen gebildet werden. Dabei werden von 2 zufällig ausgewählten Vorfahren einige Gene (Spline-Stützpunkte) durch ein sog. Cross-Over ausgetauscht. Erst danach wird das Erbgut durch Mutation verändert, um die neuen Individuen zu erzeugen. In mehreren Versuchen hat sich gezeigt, daß auf diese Weise weitaus weniger Generationen benötigt werden, um zu einem zufriedenstellenden Ergebnis zu kommen.

Sehr aufwendig ist das Verfahren, mehrere Populationen getrennt voneinander über mehrere Generationen hinweg zu berechnen, um sie erst nach einer bestimmten Zeit zu rekombinieren. Auch hier werden im allgemeinen weniger Generationen zur Optimierung benötigt. Allerdings kompensiert die größere Anzahl der zu berechnenden Individuen diesen Zeitgewinn.

10. Evolutionäre Algorithmen

Bereits im Jahre 1859 veröffentlichte Charles Darwin sein Werk „On the origin of species by means of natural selection“ („Über die Entstehung der Arten durch natürliche Selektion“) und legte damit den Grundbaustein für die moderne Genetik.

Die Informationen über Struktur und Fähigkeiten eines biologischen Individuums sind in den Genen kodiert. Diese Erbanlagen werden von Generation zu Generation an die Nachkommen weitergegeben, wobei sie im allgemeinen bei der Fortpflanzung der Individuen gemischt (rekombiniert) werden und durch spontane Änderung (Mutation) zu Nachkommen führen, die sich von den Eltern mehr oder weniger stark unterscheiden. Die Evolution basiert also – vernachlässigt man die vielen Details – im wesentlichen auf Mutation, Rekombination (Cross-over) und Selektion.

Aus der Sicht des Ingenieurs stellt die Evolution nichts anderes als ein Optimierungsverfahren dar. Sie ist eine Art Suchprozeß im Raum der genetischen Informationen. Ihr Ziel ist es, diejenigen Erbanlagen zu finden, die ein Individuum oder eine Art am besten dazu befähigen, sich im Kampf um das Dasein zu bewähren.

Evolutionäre Algorithmen (genetische Algorithmen) werden heute in vielen Bereichen als stochastische Verfahren zur Optimierung von Systemen eingesetzt. Sie wurden vor allem von John Holland von der Universität Michigan um 1975 entwickelt und besitzen gegenüber konventionellen Suchmethoden eine viel größere Robustheit. Damit ist gemeint, daß genetische Optimierungsverfahren auch für nicht differenzierbare, komplexe und chaotische Zielfunktionen in der Lage sind, schnell eine annähernd optimale Lösung zu finden. Andere Optimierungsmethoden sind beispielsweise die Koordinaten-, Simplex-, Gradient-, Newton- oder Monte-Carlo-Verfahren, die sich zum Teil nicht für Objekte mit großer Parameterzahl eignen, zu hohe Ansprüche an die Qualitätsfunktion stellen oder zu geringe Konvergenzgeschwindigkeiten aufweisen.

11. Fazit

Auch mit diesem Optimierungsverfahren lassen sich die Grenzen der Physik nicht überwinden. So kann zum Beispiel mit einem mattweißen Reflektor

keine extrem tiefstrahlende LVK erzeugt werden. Der Computer wird zwar versuchen über die Generationen hinweg die Reflektorkontur zu verbessern, doch wird der Differenz-Wirkungsgrad nie gegen 0 gehen können. Die Randbedingungen müssen dem Computer genügend Freiraum zur Optimierung lassen.

Neben der Entwicklung von beliebigen Reflektorkonturen (auch nicht-rotations-symmetrische) lassen sich beispielsweise auch bei gegebener Optik die geeignetsten Positionen der Lichtquelle finden. Die zu variierenden Parameter, die Gene, wären dann die Koordinaten und ggf. die Ausrichtung der Lichtquelle.

Für die Zukunft ist angedacht, die genetischen Algorithmen bei der Reflektoroptimierung von Straßenleuchten einzusetzen. Denkbar ist, daß die Qualität eines optischen Systems dann direkt am erreichbaren Mastabstand gemessen wird. Die Qualitätsfunktion entspräche dann einem Planungsprogramm, welches die Leuchtdichteverteilung, die Gleichmäßigkeiten sowie die prozentuale Schwellenerhöhung TI% auf einer Fahrbahn ermittelt.

Literatur

Stefan Berchtold, Evolution im Computer, c't 1989, Heft 6

Thomas Blümecke, Wunder der Evolution, c't 1991, Heft 12

Thomas Zink, http://rupert.informatik.uni-stuttgart.de/~zinks/doc/ga/genetic_.htm

Volker Kehl, <http://freddy.rz.fh-mannheim.de/~kehl/j97/juf097.html>

Wirkung von Licht und Strahlung auf Pflanzen in der Innenraumbegrünung

Dieter Jansen

Der Begriff „Innenraumbegrünung“ wird in der „Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Innenraumbegrünungen“ der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL e.V.) definiert als „eine dauerhafte Begrünung von Innenräumen mit lebenden Pflanzen in mobilen oder ortsfesten Gefäßen sowie in Flächen mit oder ohne Bodenanschluß“. In der Regel sind diese Räume überwiegend geschlossen und meist für den menschlichen Behaglichkeits-Anspruch klimatisiert, was nicht grundsätzlich auch optimal für die Pflanzen sein muß. Daher kommt neben der Gebäudetechnik der richtigen Pflanzenauswahl eine entscheidende Bedeutung zu. Optimal ist die Berücksichtigung des Projektbereiches „Pflanzen zur Begrünung“ im Anfangsstadium einer Gebäudeplanung, womit eine wesentlich bessere Durchführung der klima- und lichttechnischen Installation gegeben ist als ein „Nachrüsten“ in bereits beendete Bauvorhaben.

Die drei wichtigen Wachstumsfaktoren „Licht, Temperatur, Luftfeuchte“, die meist eine spezielle Planungsgröße darstellen oder oftmals bei Altbau-Anlagen nachträglich viel Probleme bereiten können, stehen in engem Zusammenhang, beeinflussen sich gegenseitig und müssen in ihrer Abhängigkeit voneinander gemeinsam positiv für die Pflanzen beeinflusst werden.

Licht

Das menschliche Auge reagiert im grünen Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes (um 550 Nanometer) am empfindlichsten und sieht damit am besten ist für das Pflanzenwachstum ein unbrauchbares Helligkeits- Meß- und Kontrollorgan. Die Pflanze benötigt jedoch für den Aufbau (Photosynthese) überwiegend den hellroten Wellenlängenbereich um 660 Nanometer und den blauen um 435 Nanometer mit der größten Wirksamkeit; den grünen Bereich kann sie hierfür kaum verwerten. Das erklärt die Aussage, daß trotz Helligkeit für das menschliche Auge die Pflanze im „Dunkel“ steht. Dieser Tatbestand kann besonders kritisch werden, wenn Pflanzen hinter oder unter Glasfassaden – und Dächer/Kuppeln stehen, die mit beschichteten Sondergläsern (Wärmeschutzglas) oder nachträglich mit Sonnenschutzfolienauftrag verglast sind. Hier kann die Transmission in den beiden wichtigen Spektralbereichen auf etwa 50 % und darunter (je nach Beschichtungsstärke und Material) abfallen. Wenn diese Reduzierung im Sommerhalbjahr (fast) keine negative Auswirkung auf die Pflanzen hat, abgesehen von einer eventuell negativen Wärme-Infrarot-Strahlung, und der völlig fehlenden, sonst nützlichen, UV-A-Strahlung aber umso mehr im „dunkelen“ Winterhalbjahr.

Dipl.-Ing. Dieter Jansen
Wilhelmshöher Allee 331
D-34131 Kassel

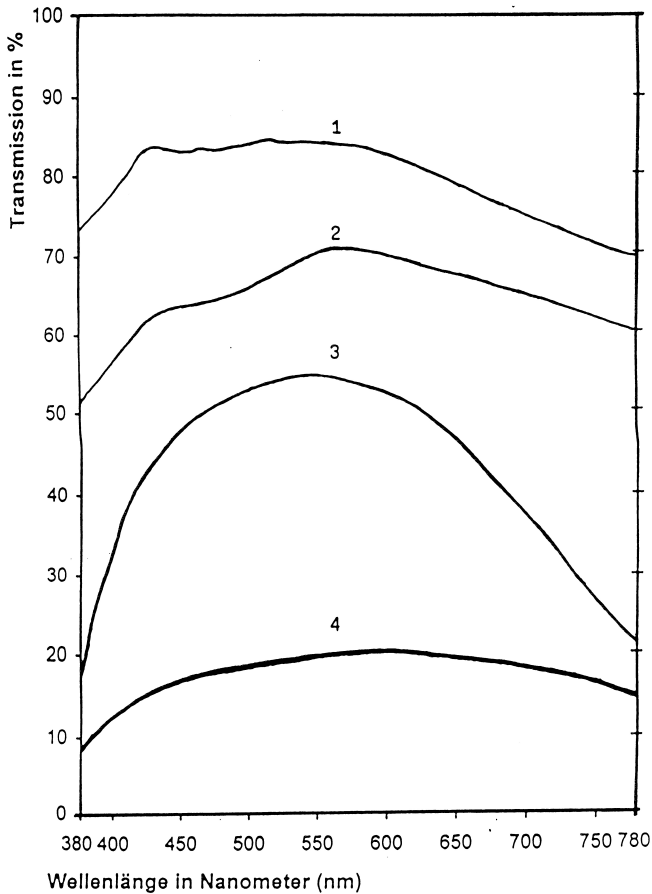
In der Innenraumbegrünung ist nicht die maximale Photosynthese-Leistung wichtig, sondern ein optimaler Pflanzen-Habitus (Photomorphogenese, Phototropismus). Hierzu sind die Wellenlängenbereiche im hellroten Bereich sowie im blauen und ultravioletten Spektrum äußerst wichtig. Werden an einem sonnenreichen Tag vor dem Glas 70.000 Lux gemessen, so sind es 2 m hinter dem stark beschichteten Sonderglas noch ca. 38.000 Lux; gemessen mit einem digitalen Luxmeter. Im Winter bei Freiland-Helligkeitswerten von weniger als 1.000 Lux bei bedecktem Himmel sind hinter dem Sonderglas in 2 m Abstand noch etwa 400 Lux (die Strahlung ist ärmer an Energie). In der Regel werden die nach Süden ausgerichteten Glasflächen mit Sonnenschutzglas oder kombinierter Wärme- und Sonnenschutzverglasung eingeglast (Wärmeschutzverordnung von 1995, 3. WSchV), die eine recht hohe Reflexion besitzen; Wärmeschutzglas wird in den anderen Flächen verwendet.

Folgende Varianten sind möglich:

1. Wahl eines beschichteten Glases mit höchster Lichttransmission (zur Zeit 78 %)
2. Verzicht auf Sondergläser, wenn dieses auf Basis der 3. WSchV noch möglich; dann eventuell Einbau einer Schattierung (trifft nur zu, wenn Abstand Glas zur Pflanze unter 2 m beträgt) oder schattenspendende Großpflanzen verwenden.
3. Müssen/werden Sondergläser eingesetzt, dann Pflanzen mit entsprechend geringeren Lichtansprüchen wählen (Winter!!).
4. Es besteht die Möglichkeit, künstliches (Zusatz-)Licht zu installieren (wird oft von Innenarchitekten torpediert = aufklärungs- und beratungsbedürftig, keine Energieverschwendung!!).

Vor der Abgabe von Pflanzplänen und Bestimmung der Pflanzenauswahl ist eine eigene Lichtmessung durchzuführen, üblicherweise mit einem geeichten Luxmeter in der Preislage zwischen 500 - 700 DM. Genauer und besser wären PAR-Meßgeräte (messen im Bereich von 400 bis 700 Nanometer photosynthetisch aktive Strahlung), die als Strahlungs-, Photonenstrommeßgeräte und als Solarimeter auf dem Markt sind, aber auf Grund ihres hohen Preises und ihrer empfindlichen Apparatur nur im wissenschaftlichen und Labor-Bereich eingesetzt werden. Mit einem guten Luxmeter kann brauchbar das Helligkeitsverhältnis Außen zu Innen festgehalten werden, ein solches Meßgerät ist ein Muß für jeden Innenraumbegrüner!, da oftmals die verwendete Glasart dem Innenraumbegrüner noch unbekannt ist und Angaben Dritter oft fehlerhaft sind (Expertisen anfordern). Die Möglichkeiten der Zusatzbelichtung oder des künstlichen Dauerlichtes wird u.a. im Handbuch „Innenraumbegrünung“ beschrieben (siehe Literatur).

1. Leuchtstofflampen, mit der Lichtfarbe 830 oder 840, Farbwiedergabe Stufe 1, für niedrige Decken (bis 3 m) in tief-tiefbreitstrahlenden Reflektor-Leuchten (Büro-Wohn-Wintergarten- und Hobbyzonen) (siehe Tabelle I).
2. Hochdruck-Quecksilberdampflampen, Comfort- oder Super de Luxe Typen, Lichtfarbe zwischen 830 und 840, Farbwiedergabe Stufe 2 bis 3, für niedrige Aufhängung, in Wand-, Decken- oder Pendelleuchten mit Ausstrahlungswinkel tiefbreit Anwendungsbereich wie 1.



- Kurve 1:** konventionelles Isolierglas ($k_v = 3,0 \text{ W/ m}^2\text{K}$)
Kurve 2: Wärmeschutzglas (beschichtet) ($k_v = 1,3 \text{ W/ m}^2\text{K}$)
Kurve 3: Sonnenschutzglas (beschichtet) ($k_v = 1,2 \text{ W/ m}^2\text{K}$)
Kurve 4: Sonnenschutzglas (stark beschichtet) ($k_v = 1,1 \text{ W/ m}^2\text{K}$)

k_v = Wärmedurchgangskoeffizient k für Verglasung, nach DIN 4108
 Prüfnorm: DIN 52619 Teil 2

Abb.: Transmissionsverhalten von Isoliergläsern im Spektralbereich des sichtbaren Lichtes

Lampenart/Leistung ohne Vorschaltgerät	Lichtfarben (800-er Typen)	Nutzbrenndauer in Stunden	Lichtausbeute (lm/W) ohne Vorschaltgerät
3-Banden-Leuchtstofflampen 18 bis 58 Watt 59 cm bis 150 cm Länge Kompakt-Lampen: 20 bis 55 Watt	Neutralweiß (nw) = Weiß oder Weiß De Luxe; Warmweiß (ww) = Warmton oder Warmton De Luxe	10.000 – 14.000 opt. Umgebungs- temp. 20-25 °C*	3-Banden-Lampen 85 – 95 Kompakt-3-Banden 65 – 90
Quecksilberdampf-Hochdrucklampen 50/80/125/250/400 W z. B. HPL/HSL/HQL, HGL, Schraubsockel E 27 / E 40	Neutralweiß (nw) ellipsoide u. Pilzform, Warmweiß (ww) mit Be- schichtung 50 – 400 W R = Lampen m. Reflektor	6.000 – 16.000 Stunden weitge- hend temperatur- unabhängig	34/45/48/53 mit Beschichtung geringfügig darunter; nur bedingt im Profibereich, je- doch kostengünstige Systeme
Metallhalogenidampf-Hoch- drucklampen 35/70/100/ 150/250/400 Watt, z. B. CDM HSI, HQI, ARC, HCI, MHN-T, HSI-T, KRC, CMI; CDM-HSI-CSI-PAR **	Neutralweiß (nw) und Warmweiß (ww), Röhren Pilz- u. ellipsoide Form, Pilzform mit Reflektor, Kompakt- Lampen, Röhren, Hart- glaskolbenlampen	10.000 – 16.000 Stunden weitgehend temperatur- unabhängig 9.000	50/59/74/71/69/75 – 100 Pilzform mit Reflektor und Beschichtung darunter; PAR-Lampen: wahlweise Flood-/Spot-Ausstrahlungs- winkel; Keramik-Typen farbstabil – keine UV- Strahlung
Natrium-HD-Display-Lampen SDM-T 35-100 W CityLight DS 80 W SON-T Comfort 150/250/400 W	Kompaktlampen (Warmweiß) mit verbesserter Farb- wiedergabe (Röhrenform)	Kompaktlampen: 10.000 – 12.000 E-T-/Typen 10.000 – 16.000	Kompakt-Lampen z. B. SDM-T, 39 – 54 elektron. Lampensystem 47 – 92

Dieter Jansen – Gartenbaubereitungsschwerpunkt – LVG Kassel

Stand: 1999

Tabelle 1: Lampenarten und -typen zur assimilatorischen Pflanzenbelichtung in: Innenraumbegrünung, Galerien, Wintergärten u.a.

Erläuterung zu Tabelle 1

Vorschaltgerät (VG): Konventionelles Vorschaltgerät (KVG); auch teielektronisches, verlustarmes (VVG) oder vollelektronisches Vorschaltgerät (EVG) möglich; durch Hochfrequenz-Betriebssysteme – geringere Leistungsaufnahme und längere Lebensdauer der Lampen (teilweise auch bei Hochdruck-Entladungslampen möglich).

- * Leuchtstofflampen: mit KVG = 8 mal An-Aus Schaltrhythmus/Tag, mit EVG = max. alle 3 Min., wichtig: mindestens 2 Min. Aus-Zeit (Nutzbrenndauer-Verlängerung)
Entladungslampen mit umweltschädlichen Stoffen und elektronischen Betriebsmitteln sind als Sondermüll unzerstört zu entsorgen.
- ** Reflektorlampen für offene Leuchten ohne eigenen Reflektor. Ähnliche Lampen auch von anderen Herstellern.

3. Hochdruck-Metallhalogendampflampen (siehe Tabelle 1) bevorzugt werden wegen der längeren Nutzbrenndauer und verbesserter stabiler Farbwiedergabe die Keramik-Brenner-Typen, meist auch in vorhandenen Leuchten nach- oder umrüstbar. Besonders die PAR-Strahlertypen mit einem in der Lampe integrierten Reflektor (Spot/Flood) ermöglichen technisch einfache Leuchten ohne Reflektor! Farbwiedergabe Stufe 1.
Der Einsatz erfolgt bei höherem Lichtanspruch oder bei größerer Entfernung der Lichtquelle(n) zur Pflanzenoberfläche (das Licht nimmt im Quadrat zur Entfernung ab!). Für die Pflanzenbelichtung ist meist kein UV-Filter notwendig!, nur das Splitterschutzglas; Keramik-Typen geben keine UV-Strahlung ab.
4. Hochdruck-Natriumdampf-Display-Lampen (siehe Tabelle 1) mit der Farbwiedergabe Stufe 1 und einem glühlampenähnlichen Licht (2.500 K = Warmton, Extra warm) eignen sich gut für Pflanzenbelichtung mit Tageslichteinfluss, da der Blauanteil im Spektrum der Lampe gering ist. Anwendung wie unter Punkt 3. Es können offene Leuchten verwendet werden (ohne Sicherheitsglas).

Die von den Lampen abgegebene Wärme sowie die ebenfalls in Wärmestrahlung umgewandelte Lichtstrahlung beträgt etwa 90 % der aufgenommenen elektrischen Leistung in Watt und kann der Raumtemperatur-Bilanz zugerechnet werden, das bedeutet eine etwas geringere Heizleistung durch das (die) Heizungssystem(e). Leuchtstofflampen und Hochdruckentladungslampen besitzen nicht nur eine für das menschliche Auge gute bis sehr gute Farbwiedergabe, sondern bieten den Pflanzen zusätzlich ausreichende Strahlung im blauen und roten Wellenlängenbereich.

Literatur

1. Richtlinie „Innenraumbegrünung“ der FLL e.V. , Bonn, 1997
2. Handbuch „Innenraumbegrünung“, Hrsg. R. Veth, B. Thalacker Verlag, Braunschweig, 1. Auflage 1998
3. Assimilationslicht, Taspo-Praxis Buch Nr. 15, LVG Hannover-Ahlem, B. Thalacker Verlag, 2. Auflage 1993
4. Informationen der Industrie

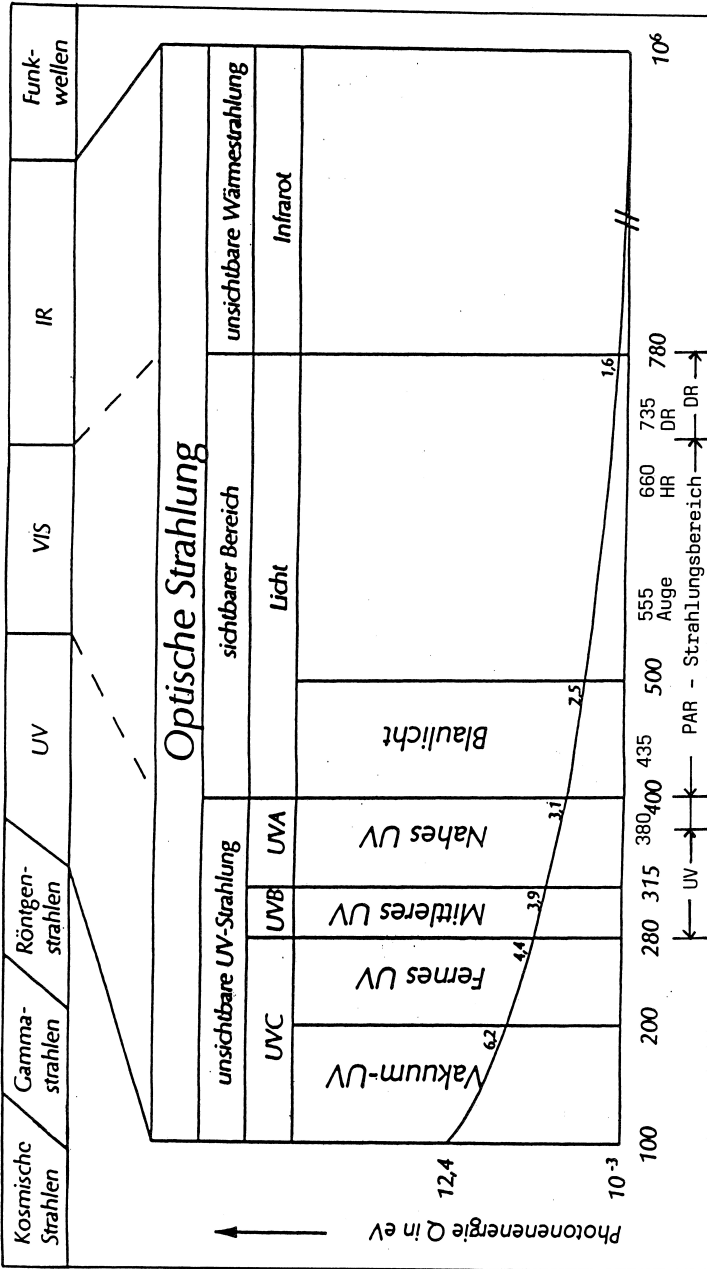


Abb.: Optische Strahlung
 HR = Hellrot, DR = Dunkelrot, 555 nm = Augenempfindlichkeitsmaximum;
 PAR = Photosynthetic active Radiation für die Photosynthese der Pflanzen
 Quelle: Fisch, J., ergänzt durch Jansen, D.

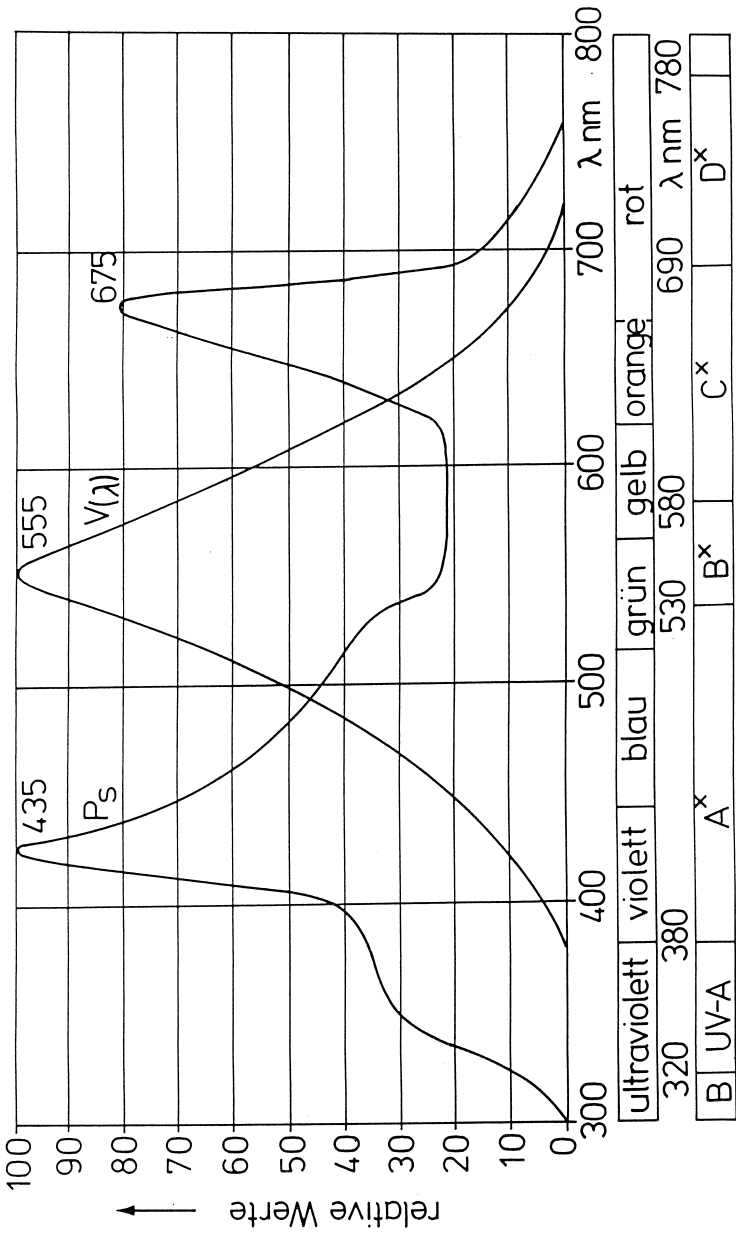


Abb.: Augenempfindlichkeit (V(λ)), Photosynthese P_s

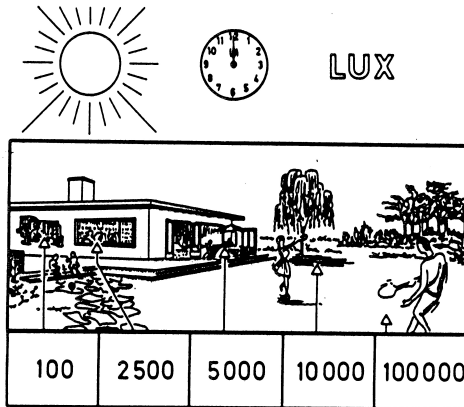


Abb.: Beleuchtungsstärken im Freien

Außenbeleuchtung: diffuses (indirektes Licht oder direktes Sonnen-Licht
 Winter-Sonne: 20.000 Lux, Sommer-Sonne: 100.000 Lux,
 52° nördl. Breitengrad (* 200 W/m² – 1.000 W/m² Strahlung)

Quelle: Fördergemeinschaft Gutes Licht (FGL) e.V.

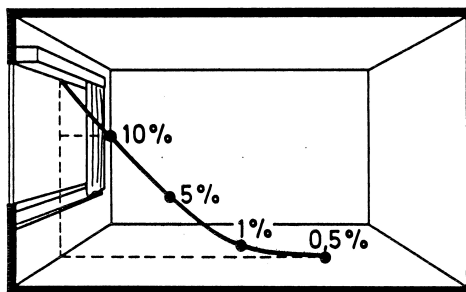


Abb.: Tageslicht in Innenräumen

$$\text{Tageslichtquotient} = \frac{\text{Beleuchtungsstärke innen}}{\text{Beleuchtungsstärke außen}} \cdot 100 \%$$

Tageslicht nach DIN 5034: ausreichende Helligkeit durch Tageslicht und Sichtverbindungen (Fenster) nach außen; Innenraumbegrünung benötigt einen Mindest-Tageslichtquotient von 10 % im Winter!

Die Qualität von Licht in der Beleuchtungsplanung

Uwe Slabke

1. Einleitung:

Der Nutzen und die positive Bewertung von Licht in Räumen hängt maßgeblich von der Güte der Beleuchtung ab. Die nationalen und internationalen Beleuchtungsempfehlungen und -richtlinien geben Güteermkmale der Beleuchtung an. Die Erfahrung vieler Planer hat jedoch gezeigt, daß nur das Einhalten dieser Gütekriterien der Beleuchtungsnorm zum Beispiel für die Planung eines Empfangsbereichs, keine Garantie dafür ist, eine gute Beleuchtungsanlage zu schaffen. Dies hat zu der Erkenntnis geführt, daß noch weitere Merkmale für eine positive Bewertung von Licht in Räumen existieren müssen.

Architekten, Innenarchitekten, Designer und Künstler planen und entwerfen Licht so, daß sich die Menschen in dem beleuchteten Ambiente wohl fühlen sollen. Sie tun dies intuitiv und nach bestimmten Bewertungskriterien. Im Entwurfprozeß ist es jedoch nicht immer ersichtlich, woher bestimmte Kriterien dieser Planergruppe kommen, geschweige denn wie sie allgemeingültig verwendet werden können. Es müssen daher für eine allgemeingültige Verwendung folgende Probleme bei diesen Bewertungskriterien angegangen werden¹:

- Semantische Unterschiede in der Verwendung des Vokabulars
- Identifikation wichtiger Aspekte für die Bewertung
- Geeignete Auswahl von Bewertungskriterien mit Kausalbeziehung zwischen den Größen
- Skalierung der Kriterien
- Beziehung zu photometrischen Meßgrößen
- Geeignete Meßverfahren für die Gültigkeit der Kriterien.

Lichttechniker und Beleuchtungsingenieure planen Beleuchtungsanlagen so, daß der Nutzer der Sehaufrage optimal nachgehen kann und alle störenden Einflüsse beseitigt werden. Aus dieser Betrachtung sind für den Ingenieur Kriterien wie Beleuchtungsstärke, Blendung, Gleichmäßigkeit, Lichtrichtung und Schattigkeit von übergeordneter Bedeutung. Diese wurden auch teilweise auf Basis von psychologischen Meßmethoden validiert. Physikalische Meßgrößen machen dabei Aussagen über die Bedingungen der Beleuchtungsanlage. Zusammenfassend beschäftigt man sich mit folgenden Problemen: Optimale Sehbedingungen schaffen (Sehaufrage); keine störenden Reize zulassen; Sehkomfort, Wohlbefinden und Akzeptanz fördern; Gefahrenvermeidung und Arbeitsmotivation schaffen.

Dipl.-Ing. Uwe Slabke
Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau – Fachgebiet Lichttechnik
Unterer Berggraben 10
Postfach 10 05 65
D-98684 Ilmenau

Aus der Wirkung und Bewertung des Lichts, die relativ einfach durch Befragungen validiert werden können, werden Begriffen wie Stimmung, Gefallen, Natürlichkeit und Aufmerksamkeit in Verbindung zu photometrischen Größen gebracht². Mit dieser Einteilung wird oft recht subtil versucht sich auch die psychologischen Faktoren zu erschließen ohne differenziert in die Bedürfnisse und in die Innenraumgestaltung (Innenarchitektur, Architektur, Psychologie und Soziologie) thematisch einzudringen. Gerade die photometrischen Gütekriterien und Normen geben kaum Informationen zu psychologischen Kriterien. Wichtige menschliche Bedürfnisse wie Zugehörigkeitsgefühl, gut gestaltete Inneneinrichtung, Sicherheit, Gesundheit, Kommunikation, Orientierung und Informations-transfer werden wenig berührt oder in andere Kompetenzbereiche verschoben.

In der Evaluierung von Beleuchtungsanlagen durch photometrische Größen sind folgende Probleme zu betrachten¹:

- Übertragbarkeit von Parametern außerhalb von Sehaufgabe und -leistung
- Definition der konkreten Sehaufgabe, Definition der Bedürfnisse
- Erschließung menschlicher Bedürfnisse in Bezug zu photometrischen Größen (Interdependenz zu Architektur und Innenarchitektur)
- Der deterministische Ansatz bei der Beurteilung von Menschen und Verhalten
- Verschiebung der Schwellenwerte zu Qualitätskriterien nach Parametrierung (Schwellenerhöhungsfaktoren oft willkürlich gewählt, Schwellenerhöhungsfaktoren nicht durch Nutzer bestimmt).

Beide Planungsansätze vereinen sich in der Praxis immer. So muß der Techniker auch für die Installation geeignete Leuchten und Leuchtenpositionen festlegen. Der Lichtgestalter muß ein geeignetes Beleuchtungsniveau realisieren, Blendung vermeiden und eine der Sehaufgabe entsprechende Beleuchtung realisieren.

Grundlage der oben genannten unterschiedlichen Meinungen und Kriterien der Lichtqualität hängen wohl ursächlich mit den unterschiedlichen Wahrnehmungs- und Bedürfnismodellen und der Gewichtung der Kriterien zusammen.

Die wichtigste Berufsgruppe, die über die Zusammenhänge von Lichtqualität Bescheid wissen sollte und die im täglichen Planungsprozeß alle Einflußfaktoren mit berücksichtigen muß, ist die Gruppe der hauptberuflichen Lichtplaner und Architekten. Diese Personen haben einen großen Erfahrungsschatz in Sachen Lichtqualität. Sie verfügen über sehr differenzierte Erkenntnisse bedingt durch ihre Felderfahrung. Diese Personen sollten dazu befragt werden, welche Faktoren maßgeblich Einfluß nehmen und wie stark die Faktoren zu gewichten sind. In Befragungen im Feld sollten diese Kriterien dann validiert werden.

2. Bedürfnispyramide³:

Jeder potentielle Kunde verfolgt hinsichtlich der Verwendung einer Beleuchtungsanlage bestimmte Ziele. Diese Ziele beeinflussen ihn maßgeblich bei der Kaufentscheidung. Für eine kundenorientierte Beleuchtungsanlage ist deshalb eine systematische Erfassung der Kundenanforderungen und Bedürfnissen er-

forderlich (geeigneter Zielkatalog⁴ im Hinblick auf die Bedürfnisse des Nutzers), damit im Planungsprozeß diese Ziele realisiert werden können.

In der aktuellen Forschung zur Kundenzufriedenheit, z.B. in der Flugzeugkabine⁵, werden sogenannte Prädiktoren definiert. Dies sind Kabinendesignkriterien, die die Befindlichkeit in der Flugzeugkabine maßgeblich bestimmen. Als Beispiele können das Klima, der Service, der Nachbar, der Sitz und der Innenraum genannt werden. Diese Prädiktoren wurden in einer Voruntersuchung ermittelt und stellen mit hoher Sicherheit fest, daß keine statistisch bedeutsamen Prädiktoren außer Acht gelassen werden. Aus der Bedürfnispyramide nach Abraham Maslow⁶ (Abb. 1) und dem von dem Psychologen Nicol (Tab. 1) weiterentwickelten Bedürfnismodell wurden in einer differenzierten Untersuchung sogenannte Deskriptoren aufgestellt.



Abb. 1 Bedürfnispyramide nach Maslow

Unter der Voraussetzung des Wahrnehmungsmodells von Gregory⁷ kann man auch spezielle Bedürfnisse in Bezug zum Licht definieren. Diese Tabelle stellt einen Versuch dar, die wichtigsten Bedürfnisse des Menschen in Bezug zum Licht axiomatisch aufzustellen⁸.

3. Bedürfnismerkmale

Grundbedürfnisse^{12, 13, 14, 15, 16}

Durst und Hunger, das Bedürfnis nach angemessenem Klima (Kälte und Hitze) durch behagliche Wohnräume, das Bedürfnis nach Bewegung und Aktivität, die Sexualität, sowie Ruhe und Schlaf und schließlich das Licht bilden die Basis für das menschliche Handeln.

Zu den Grundbedürfnissen gehört das Tageslicht, welches die geeigneten Strahlungsbereiche (Spektrum mit dem UV- und IR-Bereich) und die physiologisch ausreichende Menge an Licht zur Verfügung stellt. Die physiologischen Bedürfnisse, also Bedürfnisse, die durch den Körper des Menschen gesteuert oder von ihm ausgelöst werden, sind essentiell nur durch Tageslicht zu befriedigen. Durch

Bedürfnisebene	Bedürfnismerkmale und Licht (Deskriptoren)	Andere Bedürfnismerkmale	
Selbstverwirklichung (Psychosoziale, geistige Bedürfnisse)	5	Individualität, Gerechtigkeit, Bedürfnis nach Wachstum	Güte, Selbstlosigkeit
		Gute Lebens-, Wohn-, und Arbeitsbedingungen besitzen	
ICH-Bedürfnisse	4	Anerkennung, Geltung, Achtung, Status, Prestige	Selbstachtung
		Ästhetik	
		Informiertheit	
Soziale Bedürfnisse	3	Gruppenzugehörigkeit	Liebe, Freundschaft
		Kommunikation	
		Kontakt mit eigener Gruppe	
		Privatheit	
		Veränderung	
		Orientierung	
Sicherheitsbedürfnisse	2	Lebenssicherheit, Gesundheit	Materielle-, Berufliche Sicherheit
		Informationen wie Sicherheit vermitteln	
		Licht zum Erkennen	
Grundbedürfnisse	1	Licht (geeignete Strahlungsbereiche, Quantität, Qualität)	Wasser, Luft, Nahrung, Schlaf, Unterkunft, Klima, Sex

Tab. 1 Abgeleitete Bedürfnismerkmale^{9, 10, 11}

ausreichende Tageslichtbeleuchtung werden folgende Prozesse im Körper positiv beeinflusst¹⁷:

1. Körpereigener Abwehrmechanismen
2. Körpereigenes Schmerzempfinden
3. Immunmodulierende Wirkung
4. Einfluß auf endokrine Rhythmus
5. Einleitung der Vitamin-D-Synthese
6. Erhöhung der physischen Leistungsfähigkeit
7. Verbesserung der Reaktionszeit und des subjektiven Wohlbefindens
8. Einfluß auf Hormonprozesse
9. Einfluß auf circadiane Rhythmik
10. Positiven Einfluß auf die Haut

Die optische Strahlung dient dabei dem Sehprozeß, vielen Organfunktionen und damit geistiger und körperlicher Leistungsfähigkeit. Insbesondere bildet das Tageslicht die Referenz für Farbe und Helligkeit¹⁸. Man kann eine Quantität und eine Qualität des Tageslichts definieren. Die Quantität wird gebildet durch das oben beschriebene physiologische Mindestmaß.

Der visuelle Kontakt zur Außenwelt ist der erste Faktor bei der Fensterplanung¹⁹, er definiert die Qualität des Tageslichts. Der unverfälschte und uneingeschränkte Faktor Ausblick spielt dabei die dominierende Rolle. Welche positiven Informationen wichtig für den Menschen sein können, soll folgend beschrieben werden²⁰:

1. Himmel/Sonne
 - Informationsquelle für: Tageszeit (Tag oder Nacht), Witterungsbedingungen (Regen oder Sonnenschein, Wolken), Jahreszeit
Ruys (1970), Sommer (1983)
 - Wetter beeinflusst die Stimmung, ist Stimmungsbarometer, ist Abwechslung
 - Sonne transportiert Wärme
2. Natur (Heerwagen & Oriens 1986, Ulrich 1984)
 - Jahreszeit, Leben, Vergehen, Abwechslung, Wachstum, Schönheit
 - Flucht aus der technisierten Welt, Ursprünge, von der Natur zu lernen
 - Entspannend ins Grüne zu sehen und soweit wie möglich schauen zu können (Akkommodationsausgleich)
 - Ruhige Landschaft entspannt
 - Bäume, Sträucher, Vögel
3. Gesellschaft
 - Leben (Veränderung (Collins 1975), Ablenkung, Abwechslung,...)
 - Man braucht „Gesellschaft“, keine Einsamkeit, fühlt sich nicht allein
 - Verkehrsaufkommen, Aktivitäten der Nachbarn, Städtisches Leben

Fernerhin spielt die Ausrichtung der Fenster zur Himmelsrichtung und zum städtischen Bild eine bedeutende Rolle, weil darüber zum Beispiel Einfluß auf das Bedürfnis nach Privatheit genommen wird. Falls alle drei obengenannten Faktoren gleichermaßen erfüllt sind, definiert sich darüber eine gute Tageslichtqualität. Einschränkend muß gesagt werden, daß die Qualität des Tageslichts nicht zwangsläufig existentiell ist, aber sicher zu den wichtigsten Kriterien des Bedürfnis nach Informationen gehört. Man kann in tageslichtlosen Räumen feststellen, daß die Nutzer dieses Ambiente mit folgenden Begriffen urteilen: Depressive Stimmung, Unsicherheit, Unwohlsein, Irritation, Einengung, Beklemmung.

So nehmen in diesen Räumen Kopfschmerzen und Müdigkeit zu und die Nutzer bewerten die Räume schlechter gegenüber Räumen mit Fenstern (Karmel 1965, Hollister, 1968; Collins, B 1975). Im Oktober 1982 veröffentlichte Loef einen detaillierten Artikel, in dem er unter anderem zeigt, daß die sogenannten Depressionsmonate (November bis Januar) auch bei gesunden Menschen nachgewiesen werden können. Sie kennzeichnen sich durch Lustlosigkeit, Müdigkeit und Konzentrationsmangel. Daraus ableitend entsteht also in tageslichtarmen Räumen eine ähnlich depressive Grundstimmung, wie sie in den Wintermonaten beim Menschen erkennbar ist.

Aber auch Tageslicht hat begrenzende Faktoren, so können übermäßige Sonnenbäder in der Natur und in Solarien zu Haut- und Augenschädigungen führen.

In der Planung spielen einschränkend für das Tageslicht folgende Kriterien eine Rolle:

1. Angemessene Helligkeit im Raum in Bezug zur Helligkeit im Außenraum
2. Besonnung versus Blendung, Sonnenschutz, Blendschutz
3. Aufheizung - Kühlung - Lüftung
4. Intimität: privat versus öffentlich
5. Lärm

Sicherheitsbedürfnisse

Lebenssicherheit, Gesundheit
Informationvermitteln
Licht zum Erkennen

Die Sicherheitsbedürfnisse sind Bedürfnisse, die psychisch begründet sind. Dazu zählen Geborgenheit, Sicherung der momentanen und zukünftigen Existenz, Vermeidung von Alleinsein und Einsamkeit, Heimmattreue und Revierbezogenheit. Einige Begriffe klingen im Umgang mit Licht etwas unpassend, sie sind aber für das Verständnis der Nutzer in der beleuchteten Umgebung sehr wichtig und können Einfluß auf die Gestaltung und Bewertung der Installation haben.

Aus dem Kriterium Sicherheit ist das Bedürfnis nach sicherer Bewegung im Raum zu verstehen. Damit muß der Frage nachgegangen werden, wie das Licht dimensioniert werden muß, um sich sicher im Treppenhaus, auf der Straße oder zwischen der Möblierung bewegen zu können. So haben wir in der Straßenbeleuchtung als erstes Ziel die Sicherungspflicht gegenüber den Verkehrsteilnehmern.

Licht kann psychologisch die Information Sicherheit transportieren. So läßt sich feststellen, daß Licht maßgeblich in Wohnblocks oder auch in Parkhäusern insbesondere bei Frauen Gefühle von Sicherheit oder Unsicherheit transportieren kann. Jeder kennt dunkle Straßen im Stadtkern, die man gerne meidet. Natürlich muß die Architektur dieses Gefühl ebenfalls vermitteln. Man kann als Faktoren Geschlossenheit und Übersichtlichkeit in der Architektur nennen, die vorausgesetzt werden müssen, um sich sicher zu fühlen. In diesem Zusammenhang sind Untersuchungen zu Kriminalität und Beleuchtungsniveau auf der Straße aufzuzeigen, wo zu erkennen ist, daß mit der Steigerung des Beleuchtungsniveaus die Kriminalitätsrate signifikant absinken kann.

Zu den Hygienefaktoren des Menschen in Bezug zu sozialen Bedürfnissen sind die Arbeitsbedingungen und die interne Organisation des Raumes zu zählen. Dabei ist der Anspruch an die Arbeitsumgebung für den Nutzer klar definiert. Er will effizient, komfortabel, sicher und ohne Ermüdung arbeiten können. Der Sehaufgabe optimal nachgehen zu können und dafür optimale Bedingungen zu schaffen, ist ein notwendiges Mittel zur Erreichung der Ziele, die eine Firma festgesetzt hat. Man erwartet dies also zwangsläufig von der Beleuchtungsanlage.

Soziale Bedürfnisse

Gruppenzugehörigkeit
Kommunikation
Kontakt mit eigener Gruppe
Privatheit
Veränderung
Orientierung

Soziale Bedürfnisse regeln die Beziehungen zu unseren Mitmenschen. Das Lieben und geliebt werden scheint ein originäres menschliches Bedürfnis zu sein. Fernerhin sind Bedürfnisse nach Kommunikation, sowie der Rückzug in die Privatheit elementar wichtig für das tägliche Leben.

Tiller¹¹ untersuchte zum Beispiel Lärmpegel von Personengruppen in Bezug zum Beleuchtungsniveau. Fernerhin untersuchte Sanders die Wahl eines Sitzplatzes nach dem Betreten eines leeren Raumes in Bezug auf dessen ungleichmäßige Beleuchtung. Man kann diese Kriterien als Orientierung und Führung im Raum bezeichnen. Beispiele sind auch die Orientierung im städtebaulichen Raum und im Foyer einer Eingangshalle in den Abendstunden. Feller untersuchte Einflüsse auf Privatheit und Intimität, die wichtige Kriterien bilden. Butler und Biner konnten im Badezimmer die Verbindung zwischen Fenster und Privatheit darstellen.

Diese Faktoren sind immer auch abhängig vom Umgebungskontext, in dem sich der Nutzer aufhält. So können die gleichen Beleuchtungsniveaus in unterschiedlichen Räumen unterschiedliche Assoziation und damit unterschiedliches Verhalten hervorrufen (z.B. im Restaurant: romantisch, intim; im städtischen Raum: Angst und Unsicherheit). Die Erkennbarkeit von Details bezüglich Haltung, Gestik und Mimik, die durch die Lichtrichtung beeinflusst werden, sind in diesem Kontext ebenfalls zu nennen²³.

ICH-Bedürfnisse

Anerkennung, Geltung, Achtung, Status, Prestige
Ästhetik
Informiertheit

Momentan ist es eine eintönige Nachahmung und langweilige Konformität gerade in der Bürobeleuchtung festzustellen. Neben der Statuszufriedenheit bringt das Übertreffen anderer und das bewußte Anderssein ebenfalls Prestige für den Nutzer und gehört damit auch in die Kategorie der Befriedigung. Somit sind Beleuchtungsinstallationen, die diesen Aspekt berücksichtigen, als für den Nutzer qualitativ hochwertiger anzusehen. Die Menschen sind, um sich von der Masse abzuheben, sogar bereit, hier mehr Geld zu investieren. Diese Funktion, die eine Beleuchtungsanlage erfüllen kann, wird oft kritisiert oder als irrational bezeichnet. Dies ist jedoch ungeschickt, da das Statusstreben, der Wunsch nach Zugehörigkeit, die Durchsetzung und Festigung der Mitgliedschaft in einer Gruppe, tief eingefleischte und sehr natürliche Triebe sind. Die Statuszufriedenheit ist durch die grundlegendste aller Triebe, den der Selbsterhaltung, motiviert.

Daraus lassen sich nun Kriterien, wie zum Beispiel die Originalität der Beleuchtungsanlage²⁴ ableiten. Die Funktion, daß man gerade auch individuelle Bedürfnisse des Nutzers integrieren sollte, ist in der professionellen Lichtplanung Bestandteil des Entwurfs. Der Überraschungseffekt und die Originalität einer neuen Beleuchtungsanlage, gerade in Bereichen wie der Diskothekenbeleuchtung, spielt eine große Rolle. Das Gefühl der Zugehörigkeit zu einer Gruppe ist aus-

geprägt durch das Imitationsverhalten. Es hat die Funktion die Mitgliedschaft in der jeweiligen Gemeinschaft zu erhalten, zu sichern und sich bewußt von anderen Gemeinschaften abzugrenzen. Dies ist das sogenannte Statusdenken. Verschiedene Formen des Statusstrebens kann man finden und einige sind der Gemeinschaft förderlich, andere eher nicht. Das Statusstreben und die Statuserfüllung ist nicht pauschal abzulehnen, da es auch zum Anspruch und den Erwartungen der Menschen im Zusammenleben gehört. Es ist für einen Lichtplaner sicherlich ratsam im Foyer einer Bank anders zu planen, als im Foyer des Sozialamtes. Der Faktor Status kann dabei die Wahl des Materials der Leuchte, sowie die Form, als auch die Art der Lampe bestimmen. Man muß feststellen, daß bestimmte Lampen und das erzeugte Licht mit der Architektur auch immer eine Bedeutung bekommt. Die Ästhetik, das heißt, der Ausdruck und die Wertigkeit eines Raumes, wird auch durch Licht maßgeblich beeinflusst. Licht hat immer eine Stimmung, Atmosphäre, Aussage und Botschaft. Die Nutzer können sehr gut einschätzen, ob ein Raum festlich, sachlich, modern, wohnlich oder kalt ist. In der Lichtplanung hat die Auseinandersetzung mit der Wirkung eine große Bedeutung^{25, 26},

Selbstverwirklichung

Individualität, Gerechtigkeit, Bedürfnis nach Wachstum
Gute Lebens-, Wohn-, und Arbeitsbedingungen besitzen

Jeder Mensch hat andere Vorstellungen von gutem Wohn- und Arbeitsstil. Diese individuellen Vorstellungen, die je nach Persönlichkeit, Ausbildung, kultureller Tradition, vergangener Erfahrung etc. stark variieren, beeinflussen zusammen mit dem persönlichen Geschmack die Bewertung von Beleuchtungsinstallationen.

Es erscheint oftmals sicherer, langweilig zu sein als zu Widersprüchen anzuregen und in das Kreuzfeuer der Kritik zu geraten. Natürlich erfordert es besondere Fähigkeiten und Phantasie sowie ein großes Repertoire an Informationen, Neuigkeiten und kulturellen Trends, um den Anspruch und die Erwartungen der Menschen in Bezug auf die richtige Beleuchtungsanlage zu treffen. Diese Faktoren werden im Vorfeld von guten Planern ausgearbeitet, berücksichtigt und nicht durch Zufall bestimmt. Die Beleuchtung der Chefetage hat zum Beispiel auch die Funktion, die Firma zu repräsentieren. Der repräsentative Charakter muß als Information neben der Innenarchitektur auch durch Licht transportiert werden.

Zu den angenehmen Empfindungen gehören die vielen kleinen Annehmlichkeiten unseres täglichen Lebens, an die man sich in unserer Gesellschaft sehr schnell gewöhnt hat und die man bald als notwendige Bedingung für ein zivilisiertes Leben betrachtet. Die meisten Menschen nehmen sie als Selbstverständlichkeit hin und bemerken sie nur, wenn sie plötzlich ohne sie auskommen

müssen und dies als Mangel empfinden. Beispiele dafür findet man in der Verwendung von Bewegungsmeldern und Infrarotsensoren. Das Licht im Handschuhfach, welches automatisch angeht, zählt auch zu diesen Errungenschaften. In der genauen Analyse des Anspruchs und der Erwartungen des Nutzers für den Planungsraum sind hier abschließend folgende Faktoren zu nennen: Bedienbarkeit (intuitive)²⁷, Verfügbarkeit, Benutzbarkeit, Variabilität²⁸, Individualität.²⁹

Schlußbemerkung:

Leider fehlt bis heute ein einheitliches Model zur Qualität einer Beleuchtungsanlage. Die meisten gegenwärtigen Modelle lassen oft wichtige Kriterien außer Acht. Dieser Bericht soll einen kleinen Überblick über geeignete Faktoren zur Qualitätsbeurteilung geben und ein Hinweis auf deren Existenz und Wichtigkeit sein.

Literatur

- ¹ Gall, Dietrich, Evaluierung von Beleuchtungsanlagen, Symposium Physiologische und psychologische Grundlagen der Innenbeleuchtung, TU Karlsruhe, 1999
- ² Völker, S.; Eignung von Methoden zur Ermittlung eines notwendigen Beleuchtungs-niveaus, Diss. TU Ilmenau, 1998
- ³ <http://www.praxilogie.de/beduerfnisse>
<http://snycorva.cortland.edu/.../maslow/suggest.html>
- ⁴ Timpe, K.; Die Quality Function Deployment-Technik in der Systemtechnik, Diplomarbeit, Institut für Arbeitswissenschaften, TU Berlin, o.J.
- ⁵ Urmeyer, A.; Wohlbefinden von Passagieren an Bord von Verkehrsflugzeugen, Institut für Psychologie, TU Berlin, 1999
- ⁶ Maslow, A.H.; Motivation und Persönlichkeit; Reinbek, 1981
- ⁷ Krüger, H; Schierz, Ch. Wahrnehmung und Bewertung künstlich beleuchteter Räume, ETH Zürich, 1995
Schierz, Ch., Sehen im Lichte der Wahrnehmung, architese, 6/98
Gregory, R.L.; Seeing in the Light of experience, Trotter-Paterson Memorial Lecture, LR+T V3 N4, 1971
- ⁸ Proceedings of the first CIE Symposium on Lighting Quality, Ottawa, 1998
- ⁹ Hondrich, K.; Vollmer, R.; Bedürfnisse, Westdeutscher Verlag, Opladen 1983
Rotz, R. von; Arbeit; Europäischer Verlag der Wissenschaften, Bern 1994
- ¹⁰ Kramer, H. Die 8 Gebote guter Lichtgestaltung, 1999
- ¹¹ Veith, J.; Determinants of Lighting Quality I, J. of Illum. Eng. Soc.;1998
- ¹² Fisch, J.; Licht und Gesundheit, Literaturrecherche Fachausschuß Eisen und Metall 3 Bfg., TU Ilmenau, 3/2000
- ¹³ Prof. Krüger, ETH Zürich, Vortrag „Licht und Mensch“, DIAL-Symposium, 1999
- ¹⁴ Müller, D.; Henkel, St.; Fisch, J.; Zur Therapie depressiver Symptome mit Hypericum und Licht; Jatro Neuro 3 (1997), S.383
- ¹⁵ Begemann, S.H.A.; Beld, G.J.; Tenner, A.D.; Daylight an artificial Light and people; International journal of industrial ergonomics, 1996
- ¹⁶ Rosenthal, N.; Towards understanding the mechanism of action of light in seasonal affective disorder, 25(1) 1992
- ¹⁷ Barth, J.; Positive Effekte der UV-Strahlung auf den menschlichen Körper
- ¹⁸ Gregory, Eye and Brain, The psychology of Seeing, Oxford University Press, 1998
- ¹⁹ 1st international Symposium on Glare, Oktober 1991, Orlando, Florida, Symposium Proceedings
- ²⁰ Fr. E. van Bergem – Jansen, Aspekte des Fensters., Lichttechnik, 30 Nr. 11/1978
Bell, P; Greene, T; Fisher, J; Baum, A.; Environmental Psychology, Harcourt Brace College Publishers, 1996

- Butti,K; Perlin,J; Agolden Thread: 2500 years of solar architecture and technology, New York, Nostrand Reinhold, 1980
- Griffith, J; Daylight Glare and Productivity Int. Symp. On Glare, 1991, Florida
- Markus, T.A.; The significance of sunshine and view for office workers, CIE Conference, Newcastle, 1965
- Bitter, C., Appreciation of sunlight inthe home, Proseedings of the CIE, 27-37, Rotterdam, 1967
- Keighley, E; Visual requirements and reduced fenestration in offices, Building science 8, 1973
- Küller,R.; Lindstein,C.; Health and Behavior of children in Classrooms with and without windows, Journal of Environmental Psychology,12, 1992
- Stone, N.; Direct or Indirect Window Access; J. of Environmental Psychologie, 1993
- Bitter, C., Appreciation of Sunlight in the home, Proceeding of the CIE, Rotterdam, 1967
- Loef, C.;Weiß, B.; – Beleuchtung – Arbeitsstätten-Richtlinien – Arbeitssicherheit; Sicherheitsingenieur 2/81; S.20 ff.
- ²¹ Prof. Krüger, ETH Zürich, Vortrag „Licht und Mensch“, DIAL-Symposium, 1999
- ²² Bell,P; Greene,T; Fisher,J; Baum,A.; Environmental Psychology, Harcourt Brace College Publishers, 1996
- ²³ Tiller, D.K., Toward a deeper understanding of psychological aspects of lighting, Journal Illum. Eng. Soc, V10, (1990), P59-65
- Sanders, M., Gustanski, J., Effect of ambient illumination on noise level of groups, J Appl. Psych., V59 (1974), P527-528
- Feller 1968, Gergen, Gergen und Barton 1973, Gifford 1988; Butler and Biner 1987; Kramer, H.; Light and Architecture, The Lighting Journal, Juni/Juli 1994
- Veith, J.; Newsham, G.; Determinants of Lighting quality 1, Jour. Of Illum. Soc., Winter 1998
- Schneider, L.; Die Einwirkung des Lichts auf die Stimmung des Menschen, Lichttechnik 5/1959 1.Teil; 6/1959 2.Teil
- ²⁴ Bedürfnisbücher
- ²⁵ Du Monts Handbuch der Bühnenbeleuchtung, Du Monts Buchverlag, 1991
- ²⁶ Die Würde historischer Plätze erhalten, H.T. Malotki, Licht 5/82
- ²⁷ Slater, A; Bordass, W; Haesmann,T; People and lighting controls, BRE, Information paper, 6/96, Juli 1996
- ²⁸ Willey, H.;Variety and the characteristics of Quality; CIE 24th session, Warschau, 1999
- ²⁹ Baumann-Müller, Edith, Licht, Jg.31, 9/1979
- Sörensen, S; Brunnström, G; Quality of light and quality of life: an intervention study among older people, LR+T 27(2) 113-118 (1995)

Lichtplanung als integraler Bestandteil der Stadtplanung

Uwe Knappschneider

1. Einführung – Wiederentdeckung des Öffentlichen Raumes

In den letzten beiden Jahrzehnten gewann der öffentliche Raum in Mitteleuropa in hohem Maße wieder an Bedeutung. Aufgrund des veränderten Freizeitverhaltens und mediterraner Einflüsse auf den Lebensstil geriet der öffentliche Raum und damit die Anforderungen an ihn immer mehr in den Mittelpunkt des öffentlichen Interesses – auch in der dunklen Tageszeit.

Städte müssen ihre Attraktivität stärken, um in der Konkurrenz als Wohn- und Freizeitstandort untereinander bestehen zu können. Aber vor allem um die Stadtfucht, die ein beschauliches Wohnen im Grünen suggeriert, zu mindern. Daraus wird unter anderem die Forderung abgeleitet, nachts Sicherheit und Ambiente zu schaffen, sowohl an Orten städtischen Lebens als auch in Rückzugsbereichen (wie Parks) innerhalb der Stadt.

Die Aufgabe der Planer muß es dabei sein, eine Atmosphäre zu schaffen, die Vertrautheit, Verständlichkeit und Schönheit vermittelt. Damit kann eine Eigenschaft gebildet werden, die eine wesentliche Zielvorstellung in der Konstruktion der städtischen Vielfalt und Komplexität sein sollte: Die Identität

Die Stadt Lyon begann vor etwa 10 Jahren als erste Stadt Europas ein gesamtstädtisches Lichtkonzept entwickeln zu lassen. Seither wurde die Beleuchtung sukzessive nach der vorliegenden Planung erneuert bzw. umgestaltet. Lyon bekam dadurch als „Die Lichtstadt“ große Bedeutung und einen erheblichen Zuzug an Stadttourismus.

Inzwischen erkannten verschiedene Städte die positiven Effekte einer solchen Vorgehensweise und versuchten mit unterschiedlichen Ansätzen das Thema Licht in die Stadtgestalt einzubinden.

2. Vernetzung entsteht aus Vermittlung und Übersetzung

Merkmale und Ziele eines Lichtkonzeptes müssen eine räumliche Vermittlung durch eine funktionale und gestalterische Ergänzung des nächtlichen Stadtgefüges als auch eine Übersetzung von Architektur und Nutzung durch eine entsprechende Beleuchtungssituation bilden.

Ein wesentliches Gestaltungsmerkmal dieses Ziel zu erreichen ist, das Licht bereits in der konzeptionellen Phase der Stadtentwicklungsplanung zu integrieren.

Dipl.-Ing. Uwe Knappschneider
Dinnebier-Licht GmbH
Schloss Lüntenbeck
D-42327 Wuppertal

Es wird die Forderung begründet, diese neue Disziplin als künftigen Bestandteil von Stadtplanung und Stadtgestalt zu sehen.

Wesentliche Inhalte eines städtischen Lichtkonzeptes sind die Berücksichtigung von Aspekten wie

- Sicherheit
- Orientierung
- Raumbildung
- Werbung
- Identität
- Ambiente
- Spektakulum

Daraus abgeleitet werden die Themenpaare

- Licht und Raum
- Licht und Kunst
- Licht und Architektur
- Licht und Landschaftsarchitektur
- Licht und Energie

3. Ansprüche an ein Lichtkonzept

Als ein Leitbild einer Stadt darf Licht allerdings nicht solitär betrachtet werden. In diesem Sinne soll das Lichtkonzept ein verstärkender Faktor für verschiedene Themen und Maßnahmen sein und kann insbesondere als ein verbindendes Element zwischen den Strukturen innerhalb der Stadt wirken.

Aus diesen Forderungen entstehen eine Vielzahl von Ansprüchen privater und öffentlicher Träger, die häufig in einem Konkurrenzverhältnis stehen:

- Werbung – Geschäftswelt
- Hauseigentümer
- Betreiber der Beleuchtungsanlagen
- Nutzer des öffentlichen Raumes
- Stadtgestaltung

Die Ansprüche der verschiedenen Interessengruppen müssen untereinander und gegeneinander abgewogen werden, sowohl unter den Aspekten der Güte als auch der Wirtschaftlichkeit (siehe Abb. 1).

Hierbei gilt es insbesondere von der eindimensionalen rein monetären Betrachtungsweise Abstand zu gewinnen und ein Bewertungsverfahren zu finden, das sowohl die harten als auch die weichen Faktoren einer Lichtgestaltung im öffentlichen Raum berücksichtigt.

4. Voraussetzungen und Arbeitsgrundlagen

Voraussetzung für ein Gelingen ist ein gemeinsames Vorgehen aller Beteiligten, um eine hohe Transparenz, einen ständigen Informationsfluß und eine konstruktive Diskussion im Planungsprozeß aufrecht zu erhalten.

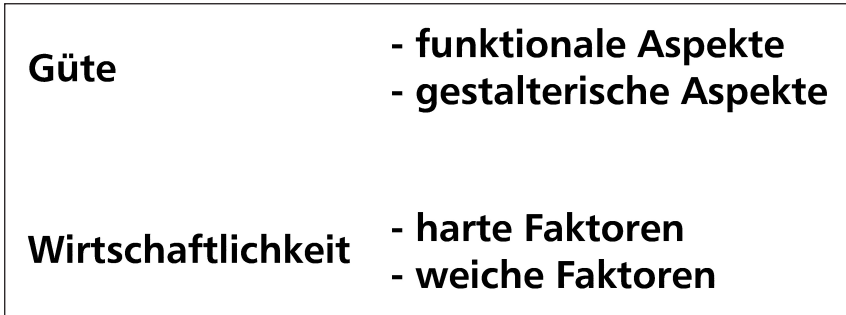


Abbildung 1: Aufgaben und Ansprüche an eine Lichtgestaltung

Wichtige Attribute und Handlungsaspekte sind dabei:

- Interdisziplinarität
- regelmäßige Treffen
- Werkstattverfahren
- Bürgerintegration
- Integration der Geschäftswelt
- Begleitende Maßnahmen, Events

Im Folgenden soll nun ein Ansatz erläutert werden, der die Lichtplanung für eine Stadt aus einer übergeordneten Betrachtungsweise beginnt.

5. Struktureller Aufbau eines Lichtkonzeptes

Wichtig erscheint eine Planungshierarchie vorzugeben, die allerdings in Sinne eines Gegenstromprinzips eine hohe Flexibilität aufweisen muß.

Analyse

Die Arbeit im Bestand wird wesentlich beeinflusst von einer umfassenden Bestandsaufnahme und der Bewertung der Lichtsituation in ihrer Wahrnehmung für Sicherheit, Ambiente, Identität und Orientierung.

Die Einbeziehung von Aspekten wie „Soziologie der Stadt und des Lichtes“, „Licht-Milieu-Studien“ und „Wahrnehmungspsychologie“ stellen einen wichtigen Bestandteil dieses Planungsabschnittes dar.

Untersuchungen von Nutzungs-, städtebaulichen und architektonischen Strukturen bilden eine unverzichtbare Grundlage, den Charakter eines Gebietes durch ein Lichtkonzept zu stärken.

Masterplan

Aufgabe des Masterplans ist es die Stadt in ihrer Gesamtheit zu betrachten. Er bildet die Grundlage für den anstehenden Entwicklungsprozess. Untersuchungen der stadtstrukturellen Elemente auf die Möglichkeit der Betonung durch Licht unter den in der Analyse erarbeiteten Grundlagen werden zu Szenarien und übergeordneten Leitthemen weiter entwickelt.

Rahmenplan

Hierbei werden, abgeleitet aus dem Masterplan, stadtteilbezogen städtebauliche Strukturen und Objekte herausgearbeitet.

Beispielsweise wird die Hierarchisierung der Räume und Wege durch Licht durch die Festlegung von Lichtfarbe, Leuchtenart der Funktionalbeleuchtung, erforderliche Beleuchtungsstärke und Orte individueller Akzentbeleuchtung erarbeitet.

Eine Kostenschätzung für die erforderlichen Maßnahmen wird in diesem Planungsstadium ebenfalls erstellt.

Entwurfsplanung

Die Entwurfsplanung konkretisiert die in den vorangegangenen Planungsstufen erarbeiteten Inhalte:

- Beleuchtung und Inszenierung von Objekten (Architektur, Kunst, Grün)
- Lichtwirkung im Sinne von Farbigkeit, Beleuchtungsniveau, Gleichmäßigkeit, Modelling, Blendungsbegrenzung und Möglichkeiten und Notwendigkeiten von Schalt- und Steuereinrichtungen
- Darstellung der Lichtwirkung für detaillierte Bereiche
- Visualisierungen
- Abstimmung mit städtischen Gestaltungsanforderungen und Hinweis auf Konflikte
- Wirkung von Lichtkunstobjekten
- Jahreszeitliche Veränderung von Lichtszenen im öffentlichen Raum
- Leuchtenstandorte und Leuchtorschläge der Grund- und Akzentbeleuchtung
- Lichtberechnungen
- Kostenberechnung der Anschaffungs- und Betriebskosten

An einigen Beispielen soll die Praxisfähigkeit dieses theoretischen Gerüsts gezeigt werden.

Beispiel 1: Lichtkonzept Bergisches Städtedreieck Regionale 2006

Beispiel 2: Lichtkonzept Stadt Leipzig

Ökologisch orientierte Außenbeleuchtung; Harmonie zwischen Artenschutz, Ökonomie und lichttechnischer Gestaltung

Bernhard Steck

1. Relevante Aussagen der Normen, Richtlinien und LiTG-Stellungnahmen
Die in den verschiedenen Normen, Richtlinien und LiTG-Stellungnahmen betreffend der Außenbeleuchtung gemachten Aussagen zum obigen Thema sollen im folgenden zusammengefasst werden:

1.1 DIN 5044

Die DIN 5044 „Ortsfeste Außenbeleuchtung“ [1] macht im Abschnitt 5.5 „Blendungsbegrenzung“ Aussagen über die Auswirkungen der Blendung und gibt Richtwerte zur Begrenzung der Blendung von Kraftfahrern in Straßenbeleuchtungsanlagen.

Blendung ist bekanntlich abhängig von:

- den Lichtstärken der Leuchten im Ausstrahlungsbereich $70 \leq \gamma \leq 90^\circ$ in den Ebenen C_0 bis C_{15} und C_{165} bis C_{180}
- der Adaptationsleuchtdichte
- der Lage der Leuchten im Gesichtsfeld und
- der Größe der leuchtenden Fläche der Leuchten

Als wichtigste Maßnahme zur Einschränkung der Blendung wird eine Begrenzung der Lichtstärken der Leuchten in bestimmten Winkelbereichen und bestimmten C-Ebenen gefordert.

		Klasse der Blendungsbegrenzung	
		1	2
Maximale Lichtstärke	für $\gamma = 90^\circ$	10 cd/1000 lm höchstens 500 cd	50 cd/1000 lm höchstens 1000 cd
	für $\gamma = 80$	30 cd/1000 lm höchstens 1000 cd	100 cd/1000 lm höchstens 2000 cd

Tabelle 1: Blendungsbegrenzung in der Straßenbeleuchtung

Für besondere Fälle empfiehlt DIN 5044 zusätzliche Blendungsberechnungen durchzuführen und die in der CIE-Publikation Nr. 12.2 empfohlenen Grenzwerte einzuhalten.

Dr.- Ing. Bernhard Steck
Hölderlinweg 36
D-30880 Laatzen

1.2 Richtlinien für die Beleuchtung in Anlagen für Fußgängerverkehr

Die Richtlinien für die Beleuchtung in Anlagen für Fußgängerverkehr [2] geben außer den bekannten Güteigenschaften wie Beleuchtungsstärke und deren Gleichmäßigkeit ebenfalls Werte von zulässigen Lichtstärken I_{zul} von Leuchten, um deren Blendwirkung zu begrenzen.

Hierbei wird für die zulässige Lichtstärke nach der Lichtpunkthöhe unterschieden, wobei die Grenze bei $L_{ph} = 1,5$ m liegt, um auch sogen. Pollerleuchten gerecht werden zu können. Gegenüber der DIN 5044 wurden auch Grenzwerte bei Ausstrahlungswinkeln von $\gamma = 100^\circ$ und $\gamma = 60^\circ$ aufgenommen.

γ	I_{zul}	
	$L_{ph} \leq 1,5$ m	$L_{ph} > 1,5$ m
100°	10 cd/klm	–
90°	30 cd/klm	70 cd/klm
80°	–	150 cd/klm
60°	–	3000 cd/klm

Tabelle 2: Blendungsbegrenzung in Fußgängerbereichen (Begrenzung der Lichtstärken von Leuchten)

Außerdem geben die Richtlinien Empfehlungen über die Auswahl geeigneter Lampen bzw. deren Farbwiedergabeeigenschaften sowie über zu bevorzugende Lichtstärkeverteilungen, was wiederum Auswirkungen auf Beleuchtungswirkungsgrad und Gleichmäßigkeit der Beleuchtung hat.

1.3. LiTG-Stellungnahme: „Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen“

Die LiTG-Stellungnahme: „Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen“ [3] gibt empfohlene Werte zur Begrenzung der Beleuchtungsstärke an Fenstern von Wohnräumen bzw. an begrenzenden Wänden von Balkonen und Terrassen, die nicht überschritten werden sollen. Hierbei wird unterschieden in Beleuchtungsanlagen, ausgenommen öffentliche Straßenbeleuchtung, und in Anlagen der öffentlichen Beleuchtung.

Die Begrenzung der Beleuchtungsstärke setzt unerwünschten Aufhellungen der Wohnräume Grenzen.

	vorwiegend indirekt, freistrahlend	vorwiegend direkt, freistrahlend	direkt, breitstrahlend	direkt, stark gerichtet strahlend
Lichtstärke- verteilung für 1000 lm				
Leuchtenbeispiel				
Maßgebliche Merkmale	Weißer Kugel	Weißer Kegel	Spiegeleinsatz, klare Abdeckung	Spiegeleinsatz, Metallzylinder
Leuchtenwirkungs- grad	0,75	0,65	0,8	0,7
Anwendungs- hinweise	Bevorzugt für Ausleuch- tung des Raumes über der Verkehrsfläche	Für bevorzugte Aus- leuchtung vertikaler Flächen im Verkehrs- raum	Für wirtschaftliche und gleichmäßige Be- leuchtung der Verkehrs- fläche	Für örtlich begrenzte hohe Beleuchtungs- stärken auf der Verkehrs- fläche

Beleuchtung der Verkehrsebene, Lichtpunkthöhe: 3 m, Lichtstrom: 1000 lm

Beleuchtungs- stärkeverlauf				
Mittlere Beleuch- tungsstärke \bar{E} *)	0,7lx	3lx	6lx	22lx
Beleuchtungs- Wirkungsgrad *)	0,16	0,28	0,70	0,62

*) für kreisförmige Fläche mit Durchmesser für $\frac{E_{max}}{10}$

Tabelle 3: Unterschiedliche Lichtstärkeverteilungen und Beleuchtungsergebnisse auf einer horizontalen Fläche

Immissionsort (Einwirkungsort) (Gebietsart nach § BauNVO) ¹⁾	Beleuchtungsstärke E _F in lx		
	6 h bis 20 h	20 h bis 22 h	22 h bis 6 h
1 Kurgebiete, Krankenhäuser; Pflegeanstalten, reine Wohngebiete (§ 3) ²⁾	1	1	1
2 allgemeine Wohngebiete (§ 4) besondere Wohngebiete (§ 4a) Kleinsiedlungsgebiete (§ 2) Dorfgebiete (§ 5) Erholungsgebiete (§ 10)	3	3	1
3 Mischgebiete (§ 6)	5	3	1
4 Kerngebiete (§ 7) ³⁾ Gewerbegebiete (§ 8) Industriegebiete (§ 9)	15	15	5

Tabelle 4: Empfohlene Werte zur Begrenzung der Beleuchtungsstärke E_F an Fenstern von Wohnungen bzw. an begrenzenden Wänden von Balkonen und Terrassen, hervorgerufen von Beleuchtungsanlagen, ausgenommen öffentliche Straßenbeleuchtung, während der Dunkelstunden

- 1) Maßgebend für die Einordnung ist die tatsächliche Nutzung des Gebietes.
- 2) Wird die Beleuchtungsanlage regelmäßig weniger als eine Stunde pro Tag eingeschaltet, gelten auch für die in Zeile 1 genannten Gebiete die Werte der Zeile 2
- 3) Kerngebiete können in Einzelfällen bei geringer Umgebungsbeleuchtung auch Zeile 3 zugeordnet werden (vor 22 Uhr E_F ≤ 3 lx, nach 22 Uhr E_F ≤ 1 lx).

Nennleuchtdichte L _n in cd/m ² DIN 5044 [1]	Beleuchtungsstärke E _F in der Fensterebene in lx
0,3	3 ¹⁾
0,5	5 ²⁾
1,0	10
1,5	15
2,0	20

Tabelle 5: Empfohlene Werte zur Begrenzung der Beleuchtungsstärke E_F an Fenstern von Aufenthaltsräumen von Wohnungen bzw. an begrenzenden Wänden von Balkonen und Terrassen, die von der Beleuchtung öffentlicher Anlagen nicht überschritten werden sollen.

- 1) Gilt auch für Straßen mit einer Nennbeleuchtungsstärke von 3 lx
- 2) Gilt auch für Straßen mit einer Nennbeleuchtungsstärke von 7 lx

Störende Lichtimmissionen können aber auch durch Lichtquellen hoher Leuchtdichte beim Blick direkt in die Lichtquelle verursacht werden. Demzufolge ist die störende Blendwirkung solcher Lichtquellen zu reduzieren.

Die maximal tolerable mittlere Leuchtdichte einer Blendlichtquelle ist in erster Linie proportional der Wurzel aus dem Quotienten aus Umgebungsleuchtdichte und dem Raumwinkel der Blendlichtquelle vom Immissionsort aus gesehen.

$$L_{\max} = k \sqrt{\frac{L_U}{\Omega_s}} \quad (1)$$

Für den Proportionalitätsfaktor k werden abgestufte Grenzwerte empfohlen.

In beiden Fällen – Begrenzung der Beleuchtungsstärke und maximal tolerable mittlere Leuchtdichte der Blendlichtquelle – wird sowohl nach dem Immissionsort (Einwirkungsort) als auch nach der Uhrzeit differenziert. Für die sogen. Kernzeit (22 h bis 6 h) werden strengere Maßstäbe angelegt.

1.4. LiTG-Stellungnahme: „Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten“

Die LiTG-Stellungnahme: „Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten“ [4] behandelt in erster Linie den Einfluss der spektralen Strahlungsverteilung der Lichtquellen auf die Anlockwirkung von nachtaktiven Insekten.

Durch Versuche und entsprechende Beobachtungen ist festgestellt worden, dass langwelliges Licht nachtaktive Insekten weniger anlockt als Lichtquellen mit relativ hohen kurzwelligem Strahlungsanteilen (Violett, Blau).

Außerdem spielt die Lichtstärkeverteilung der Leuchten sowie deren Lichtpunkt-höhe eine Rolle. Leuchten mit tiefbreitstrahlender LVK locken weniger Insekten an als Leuchten, die viel Licht in den oberen Halbraum abgeben, oder Leuchten mit ausgeprägter seitlicher Lichtabstrahlung (leuchtende Seitenteile).

Immissionsort (Einwirkungsort) (Gebietsart nach § BauNVO) ¹⁾	Proportionalitätsfaktor k		
	6 bis 20 h	20 h bis 22 h	22 h bis 6 h
1 Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten, reine Wohngebiete (§ 3) ²⁾	32	32	32
2 allgemeine Wohngebiete (§ 4) besondere Wohngebiete (§ 4a) Kleinsiedlungsgebiete (§ 2) Dorfgebiete (§ 5) Erholungsgebiete (§ 10)	96	64	32
3 Mischgebiete (§ 6)	160	96	32
4 Kerngebiete (§ 7) ³⁾ Industriegebiete (§ 9) Gewerbegebiete (§ 8)	–	–	160

Tabelle 6: Proportionalitätsfaktor k zur Festlegung der maximal zulässigen mittleren Leuchtdichte L_{max} technischer Lichtquellen während der Dunkelstunden

- ¹⁾ Maßgebend für die Einordnung ist die tatsächliche Nutzung des Gebietes.
- ²⁾ Wird die Beleuchtungsanlage regelmäßig weniger als eine Stunde pro Tag eingeschaltet, gelten auch die für Zeile 1 genannten Gebiete die Werte der Zeile 2
- ³⁾ Kerngebiete können in Einzelfällen bei geringer Umgebungsbeleuchtung ($L_{u,meß} \leq 0,1 \text{ cd} / \text{m}^2$) auch Zeile 3 zugeordnet werden.

Je höher die Lichtpunkthöhe, desto mehr Insekten werden angelockt.

2. Anforderungen an die Lichttechnik der Außenbeleuchtung

2.1 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit einer Beleuchtungsanlage darf keineswegs unter dem einseitigen Gesichtspunkt möglichst geringer Ausgaben für die Beleuchtung gesehen werden. Ob eine Beleuchtungsanlage vergleichsweise wirtschaftlicher ist oder nicht, ergibt sich aufgrund einer jeweiligen Gegenüberstellung von Aufwand und Erfolg.

Da eine Abschätzung des Erfolges unter dem Einfluss verschiedenartiger Beleuchtungsanlagen im voraus außerordentlich schwierig ist, muss man zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Beleuchtungsanlagen von etwa gleichem Erfolg ausgehen. Dies kann als gegeben angesehen werden, wenn alle Gütermerkmale gleichermaßen erfüllt sind. In diesem Fall kann ein Kostenvergleich Aussagen über die Wirtschaftlichkeit von Beleuchtungsanlagen machen.

Analysiert man die jährlichen Kosten einer Beleuchtungsanlage und bezieht diese auf deren Nutzlichtmenge, so ergibt sich, dass die Lichtausbeute und die Lebensdauer der Lampen einen ausschlaggebenden Einfluss ausüben. Man kann dies mit Hilfe der spezifischen Lampenkosten K_{spez} ausdrücken:

$$K_{\text{spez}} = \frac{K_{\text{Lpe}} + S P L}{\phi_0 L} \quad (2)$$

$$K_{\text{spez}} = \frac{K_{\text{Lpe}}}{\phi_0} + \frac{S}{\eta} \quad (3)$$

- K_{Lpe} Kosten einer Lampe
- S Kosten einer Kilowattstunde
- P Leistungsaufnahme einer Lampe einschließlich VG-Leistungsverlust
- L wirtschaftliche Lebensdauer einer Lampe
- ϕ_0 Nennlichtstrom einer Lampe
- η Lichtausbeute einschl. VG-Verluste

2.2 Konstruktive Merkmale von Leuchten

Die Lichtstärkeverteilung einer Leuchte hat unmittelbaren Einfluss auf den Beleuchtungswirkungsgrad einer Beleuchtungsanlage. In den Richtlinien für die Beleuchtung in Anlagen für Fußgängerverkehr sind hierzu eindrucksvolle Beispiele gegeben, wie die Lichtstärkeverteilung einer Leuchte den Beleuchtungsstärkeverlauf, die mittlere Beleuchtungsstärke und den Beleuchtungswirkungsgrad beeinflusst (s. Tabelle 3).

Auch aus Gründen der Blendungsbegrenzung ist der Lichtstärkeverteilung erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken, d. h. abgeschirmte Leuchten erfüllen die Bedingungen zur Begrenzung der Blendung besser als freistrahkende Leuchten.

Dass Leuchten weniger verschmutzen, wenn sie gegen Wasser-, Fremdkörper- und Staubeintritt abgedichtet sind, ist eigentlich eine Binsenweisheit und gehört zum Stand der Technik. Geschlossene und abgedichtete Leuchten verschmutzen im Laufe einer Wartungsperiode wesentlich geringer als weniger gut abgedichtete Leuchten. Daher kann man einer höheren Schutzart, wie sie sich durch die IP-Klassifikation ausdrückt, eine höhere Wirtschaftlichkeit infolge längerer Reinigungsintervallen, und eine höhere ökologische Wertigkeit infolge größerer Dichtigkeit gegen Eindringen von Insekten zuschreiben.

Die Wartungsfreundlichkeit von Außenleuchten hat einen wesentlichen Einfluss auf die benötigte Zeit für das Auswechseln von Lampen und anderen elektrischem Zubehör, da diese unmittelbar in die Kostenrechnung eingehen. Schnellverschlüsse für Glasabdeckungen und herausnehmbare Einbaublocks haben sich daher in der Praxis durchgesetzt und bewährt.

2.3 Auslegung und Gestaltung von Beleuchtungsanlagen

Zur Aufrechterhaltung und Sicherung des Verkehrs sind die bekannten Güte-merkmale der Außenbeleuchtung wie

- Beleuchtungsniveau (Leuchtdichte L_m , und Beleuchtungsstärke E_m)
 - Gleichmäßigkeit der Beleuchtung (U_0 , U_L , g_1 , g_2)
 - Beleuchtungswirkungsgrad (η_B , LVK, geometrische Anordnung der Leuchten)
 - Blendungsbegrenzung (LVK, KB-Wert, geometrische Anordnung)
- zu beachten bzw. einzuhalten.

DIN 5044 gibt dem Planer und Betreiber genügend Möglichkeiten, das Beleuchtungsniveau und den Energieverbrauch den Erfordernissen des nächtlichen Verkehrs anzupassen.

Die Forderungen nach persönlicher Sicherheit und Schutz vor kriminellen Eingriffen in die persönliche Sphäre sowie das Freisein von persönlichen Belästigungen und Störungen durch Lichtimmissionen hängen eng miteinander zusammen.

Es ist erwiesen, dass gut beleuchtete Hausfassaden, Fenster, Eingänge, Terrassen, Vorgärten usw. weniger zu kriminellen Delikten verleiten als schlecht beleuchtete oder gar dunkle Häuser. Ähnliches gilt für am Straßenrand geparkte Autos.

Andererseits möchten die Hausbewohner nicht durch in ihre Wohnräume eindringendes Licht oder durch Aufhellungen von Balkonen und Terrassen gestört werden.

Die in der LiTG-Stellungnahme [3] genannten Grenzwerte sind also zu beachten. Gleichzeitig aber ist es günstig, wenn, wie oben dargelegt, ein gewisses Beleuchtungsniveau an Häusern, Vorgärten, Geh- und Radwegen sowie auf Parkstreifen vorgehalten wird [5].

Dies stellt den Planer und Betreiber einer Außenbeleuchtungsanlage vor verantwortungsvolle Aufgaben, was im Wesentlichen einer sorgfältigen Planung und Projektierung bedarf, da er einerseits die Grenzwerte zur Vermeidung unzulässiger

ger Lichtimmissionen einhalten muss, andererseits eine gewisse Aufhellung der Hausfassaden usw. sehr erwünscht ist.

3. Forderungen des Naturschutzes

Da Lichtquellen in Außenbeleuchtungsanlagen nachtaktive Insekten anlocken und die Gefahr besteht, dass dadurch das ökologische Gleichgewicht gestört wird, weil die Insekten z. T. umkommen, in ihrer Nahrungsaufnahme und in ihrer Fortpflanzung gestört werden und evtl. von Vögeln und Fledermäusen gejagt werden, darf die nächtliche Außenbeleuchtung nicht ohne Berücksichtigung der bekannten Zusammenhänge geplant und realisiert werden. Hierzu gehört in erster Linie die bekannte Tatsache, dass nachtaktive Insekten mehr durch kurzwelliges Licht (Violett, Blau) angelockt werden als durch langwelliges Licht (Gelb, Rot). Daher sollten bevorzugt Natriumdampf-Hochdrucklampen und Natriumdampf-Niederdrucklampen eingesetzt werden.

Von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, die die stärkste Anlockwirkung aufweisen, ist daher aus ökologischen Gründen abzusehen. Ebenso sind Leuchten mit hohem Lichtstromanteil in den oberen Halbraum sowie Leuchten mit starker seitlicher Lichtausstrahlung (bei $\gamma = 90^\circ$) möglichst zu vermeiden.

Die Montagehöhe der Leuchten sollte so niedrig wie irgend vertretbar sein, da es bei der Anlockwirkung von nachtaktiven Insekten auch auf den von den Leuchten durchstrahlten Raumwinkelkegel ankommt. Je größer dieser ist, umso mehr Insekten werden angelockt. An offenen Leuchten mit heißen Teilen wie Lampe und Vorschaltgerät können sich anfliegende Insekten verbrennen. In undichte Leuchten können Insekten eindringen und sich nicht mehr befreien.

Daher ist es selbstverständlich, wenn auch der Naturschutz ausschließlich geschlossene, insektendichte Leuchten fordert.

Die Einschaltdauer von Außenbeleuchtungsanlagen soll nach Ansicht der Naturschützer begrenzt werden, um nachtaktive Insekten möglichst wenig in ihrem Lebensrhythmus zu stören.

4. Konsequenzen für die Praxis

Die analytische Durchsicht der Anforderungen der Lichttechnik, wie sie in Normen, Richtlinien und Stellungnahmen gestellt werden, und der Vergleich mit den Forderungen des Naturschutzes ergibt viele Gemeinsamkeiten.

Lichttechnische Forderungen nach Wirtschaftlichkeit wie
hohe Lichtausbeute, lange Lebensdauer der Lichtquellen
hoher Beleuchtungswirkungsgrad

Forderungen nach persönlichem Komfort wie
Vermeidung von Blendung
Begrenzung von Lichtimmissionen
Eindämmung der Kriminalität

Forderungen des Naturschutzes wie
Lichtquellen mit vorwiegend langwelliger Lichtemission,
energiesparende Lichtquellen
insektendichte Leuchten,
Leuchten mit geringer Ausstrahlung in den oberen Halbraum und geringer
seitlicher Ausstrahlung
harmonisieren weitgehend miteinander.

Lichttechniker und Naturschützer geben auf viele Fragen die gleiche Antwort.

Lediglich in drei Punkten sind Kompromisse erforderlich:

Natriumdampf-Niederdrucklampen können infolge ihres monochromatischen Spektrums und ihrer schlechten Farbwiedergabeeigenschaften nicht in Beleuchtungsanlagen mit Fußgängerverkehr eingesetzt werden. Hier ist Natriumdampf-Hochdrucklampen oder Kompaktleuchtstofflampen warmer Lichtfarbe der Vorzug zu geben.

Das Abschalten jeder zweiten Leuchte einer Straßenbeleuchtungsanlage muss aus Gründen der Verkehrs- und der persönlichen Sicherheit abgelehnt werden. Hier bringen Maßnahmen wie Leistungsreduzierung in verkehrsschwachen Zeiten bessere Lösungen ohne die Sicherheit zu gefährden.

Anstrahlungen von historisch wertvollen Baudenkmalern und Lichtreklameanlagen sollten dahingehend geprüft werden, ob sie die ganze Nacht eingeschaltet sein müssen.

Literatur

- [1] DIN 5044 „Ortsfeste Verkehrsbeleuchtung“
- [2] Richtlinien für die Beleuchtung in Anlagen für Fußgängerverkehr ;
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- [3] LiTG-Publikation Nr. 12.2: 1996 „Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen“ ISBN 3-927787-14-0
- [4] LiTG-Publikation Nr. 15: 1997 „Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten“ ISBN 3-927787-15-9
- [5] LiTG-Publikation Nr. 17: 1998 „Straßenbeleuchtung und Sicherheit“
ISBN 3-927787-16-7

Untersuchungen zum spektralen Reflexionsgrad von Gesteinen und Asphaltproben

Ulrich Carraro, Martin Eckert

1. Aufgabenstellung

Straßendeckschichten besitzen spezifische lichttechnische, strahlungsphysikalische und wärmetechnische Eigenschaften, die sich auf die Nutzung der Straßen in unterschiedlicher Weise auswirken. Das betrifft einerseits in lichttechnischer Hinsicht die Beleuchtung der Straßen durch das Tageslicht und durch die künstliche Beleuchtung (stationäre Straßenbeleuchtung, Kfz-Scheinwerferbeleuchtung) und andererseits in strahlungsphysikalischer und wärmetechnischer Hinsicht die Einstrahlung durch die Sonne und das Himmelslicht (Globalstrahlung) sowie die damit verbundene Erwärmung der Deckschicht.

Die künstliche Beleuchtung der Straßen wirkt sich auf die Verkehrssicherheit und auf die öffentliche Sicherheit in den Dunkelstunden aus. Die Globalstrahlung an Sommertagen führt vor allem zur Erwärmung der Straßendeckschicht, was ein Erweichen und plastische Verformungen der Asphaltdeckschichten zur Folge haben kann und damit sowohl die Verkehrssicherheit (Spurrinnenbildung) als auch die Standfestigkeit der Straßenbefestigung beeinflusst.

Die Erfassung dieser Einflüsse erfordert spezifische Meßmethoden. Die grundlegenden lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Meßmethoden sind bekannt und es existieren entsprechende Meßgeräte.

Es wurden die spektralen Reflexionseigenschaften von Gesteinen und Asphaltproben und ihr Einfluß auf den Wärmehaushalt untersucht, wobei die gesamte Globalstrahlung im Wellenlängenbereich 360 ... 2500 nm berücksichtigt wurde. Dabei sollten auch korrelative Zusammenhänge zwischen Bestrahlungsstärke und Beleuchtungsstärke in die Betrachtung einbezogen werden, was nur über empirische Daten und Näherungsverfahren zu erreichen ist. Ein derartiger Zusammenhang ermöglicht es, annähernde Aussagen über den Wärmehaushalt der Straßendeckschichten über einfache lichttechnische Messungen zu erhalten.

2. Versuchsanordnung und Probenvorbereitung

2.1 Vorbereitung der Gesteine für die lichttechnischen Messungen

Für die Messung des globalen Reflexionsgrades an Gesteinen muß der Einfluß der Streueigenschaften des Materials ausgeschaltet werden. Das erreicht man dadurch, daß mittels Ulbricht-Kugel diffus bestrahlt oder diffus gemessen wird.

Bei der Messung von Leuchtdichtekoeffizienten, die im gerichteten Licht erfolgt, und zwar unter 1° gegen die Horizontale, sind Streueinflüsse bei der Messung nicht auszuschließen. Deshalb kommt der Probenvorbereitung für diese Messungen eine ganz besondere Bedeutung zu. Die Gesteine wurden vor der Messung unter fließendem Wasser gewaschen und anschließend getrocknet. Dadurch wurde anhaftender Brechstaub entfernt. Danach wurden die Gesteine in eine Schale gefüllt, die Oberfläche abgestrichen und geglättet. Es entstand eine weitgehend ebene Oberfläche, womit eine hohe Reproduzierbarkeit der Messungen gewährleistet war. Bei der Messung der Leuchtdichtekoeffizienten sind Streueinflüsse bzw. retroreflektierende Komponenten trotzdem nicht ganz auszuschließen, so daß die Meßergebnisse ausschließlich für die hier praktizierte Probengestaltung gelten.

2.2 Versuchsaufbau zur Messung der strahlungsphysikalischen Eigenschaften
 Das Prinzip des Meßaufbaus zur Bestimmung des spektralen Reflexionsgrades $\rho_{8/d}(\lambda)$ ist in Abb. 1 dargestellt. Der Meßaufbau entspricht DIN 5036, T. 3. Bei der Messung des Reflexionsgrades $\rho_{8/d}(\lambda)$ bzw. des spektralen Reflexionsgrades $\rho_{8/d}(\lambda)$ wird die Probe unter 8° bezogen auf die Probennormale mit paralleler Strahlung bestrahlt und die gesamte diffus reflektierte Strahlung mit einer Ulbricht-Kugel (U-Kugel) erfaßt und gemessen. Die Meßapparatur wird mit einem Reflexionsnormal, dessen spektraler Reflexionsgrad im interessierenden Spektralbereich bekannt ist, kalibriert.

Der bestrahlte Teil der Probe hatte einen Durchmesser von 4 cm. Die Messungen erfolgten im Spektralbereich 360 ... 2500 nm in 10 nm-Schritten. Unterhalb von 360 nm ist der Energieanteil der Sonnenstrahlung verglichen mit dem Energieanteil im Bereich bis 2500 nm gering und deshalb für die Wärmebilanz der Proben ohne wesentlichen Einfluß.

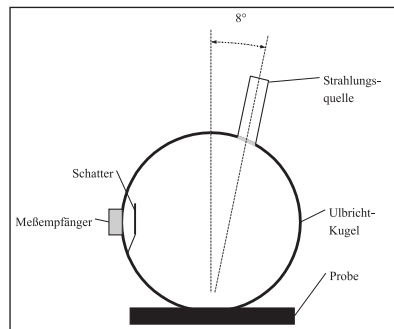


Abb. 1: Meßanordnung zur Bestimmung des spektralen Reflexionsgrades $\rho_{8/d}$ mit der Ulbricht-Kugel (Prinzip)

Als Meßempfänger diente der Monochromator Oriol MultiSpec 257 für die Spektralmessungen und ein $V(\lambda)$ -angepaßter Beleuchtungsstärkemesser für die lichttechnischen Messungen.

3. Meßergebnisse

3.1 Spektraler Reflexionsgrad und Strahlungsreflexionsgrad von Gesteinen

Die Quarzite und Quarzkiese (Abb. 2) zeigen qualitativ einen sehr ähnlichen Kurvenverlauf mit $\rho_{8/d}(\lambda)$ -Minima bei 1460 nm und 1960 nm. Die Reflexionsgrade erhöhen sich von 21 ... 35 % auf 48 ... 68 % bei 1600 nm. Bis zum Bereichsende fallen die Werte auf 42 ... 65 % ab. Der spektrale Reflexionsgrad $\rho_{8/d}(\lambda)$ wurde für die in aufgeführten Gesteine im Wellenlängenbereich 360 ... 2500 nm gemessen. Die Diagramme sind in fünf Gesteinsgruppen eingeteilt, die jeweils in ihrem Mineralbestand vergleichbare Gesteine zusammenfassen (außer der Gruppe mit den dunklen Naturgesteinen).

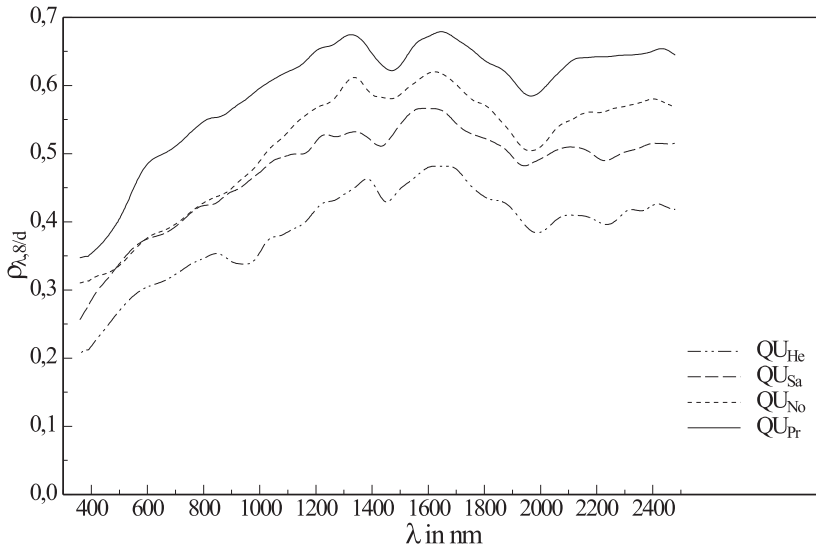


Abb. 2: Spektraler Reflexionsgrad $\rho_{8/d}(\lambda)$ für Quarzit (QU_{He}), Quarzit (QU_{Sa}), Quarzkiesplitt (QU_{No}) und Quarzkiessplitt (QU_{Pr})

Der Luxovit zeigt für $\rho_{8/d}(\lambda)$ hohe Werte zwischen 56 und 68 %. Ein auffälliges Minimum bei 950 nm und 61 % wurde bei den anderen Gesteinen nicht beobachtet.

Die Granite, Granodiorit und Quarzporphyr enthalten alle Quarz als Hauptgemengteil. Sie zeigen wie die Quarzite und Quarzkiese Minima für $\rho_{8/d}(\lambda)$ bei 1460 nm und 1960 nm, die möglicherweise mineralspezifisch sind. Die Werte für $\rho_{8/d}(\lambda)$ erhöhen sich von 16 ... 26 % auf 30 ... 55 % bei $\lambda = 1650$ nm. Bis zum Bereichsende fallen die Werte auf 26 ... 44 % ab.

Der Granulit, im Mineralbestand bis auf die fehlenden Glimmer ähnlich den Graniten aber mit dunklen Nebengemengteilen Pyroxen und Granat, zeigt die wahrscheinlich für Quarz typischen Minima bei 1460 nm und 1960 nm und das Maximum bei 1650 nm ($\rho_{8/d}(\lambda) = 39$ %). Der spektrale Reflexionsgrad verhält sich ähnlich wie der von Granodiorit/Pließkowitz.

Die Moränen (Abb. 3) und der Flußkies weisen, auf Grund ihres sehr ähnlichen aber weit gefächerten Mineralbestandes mit Quarzgehalten, eng beieinander liegende spektrale Reflexionsgrade auf. Die Minima bei 1460 nm und 1960 nm, möglicherweise vom Quarzgehalt herrührend, sind erkennbar. Ein Maximum bei 1650 nm mit 35 ... 41 % ist ebenfalls auffällig. Die spektralen Reflexionsgrade erreichen am Ende Werte von 29 ... 33 %.

Die dunklen Gesteine Grauwacke, Diabas und Basalt liegen in ihren spektralen Reflexionsgraden dicht beieinander, obwohl sich besonders die Grauwacke er-

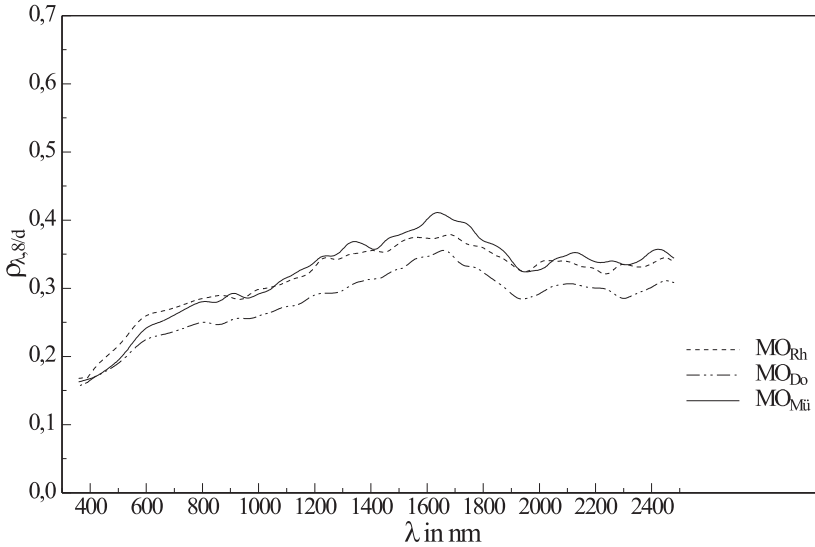


Abb. 3: Spektraler Reflexionsgrad $\rho_{\lambda,8/d}(\lambda)$ für Moräne (MO_{Rh}), Moräne (MO_{Do}), Moräne ($MO_{Mü}$)

hebt sich von den beiden anderen Gesteinen unterscheidet. Auf Grund ihres Quarzgehaltes werden die Minima bei 1460 nm und 1960 nm und das Maximum bei 1650 nm ebenfalls beobachtet. Im Gesamtbereich 8 ... 16 % erreichen diese Gesteine aber nur Maxima des spektralen Reflexionsgrades von 18 % bei 1650 nm.

In Tabelle 1 sind der Lichtreflexionsgrad $\rho_{8/d}$ und der Strahlungsreflexionsgrad $\rho_{e,8/d}$ gegenübergestellt. Der Lichtreflexionsgrad $\rho_{8/d}$ wurde berechnet nach (1) für Normlichtart D65 und der Strahlungsreflexionsgrad $\rho_{e,8/d}$ nach (2) für Globalstrahlung. Diese Reflexionsgrade geben das unterschiedliche Gesamtreflexionsverhalten für die $V(\lambda)$ -bewertete Normlichtart D65, also wie hell die Probe gesehen wird, und für die Globalstrahlung, also wie groß der reflektierte Strahlungsenergieanteil ist, wieder.

$$\rho = \frac{\int_{\lambda=380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} S_{\lambda} \cdot \rho(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda=380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} S_{\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (1)$$

$$\rho_e = \frac{\int_{\lambda=0\text{ nm}}^{\infty} S_{\lambda} \cdot \rho(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda=0\text{ nm}}^{\infty} S_{\lambda} \cdot d\lambda} \quad (2)$$

Anhand von Tabelle 1 ist ersichtlich, daß für die visuelle Helligkeit eines Materials die spektralen Reflexionseigenschaften im Bereich um 500 ... 600 nm entscheidend sind, da hier die Strahlungsfunktion für D65 und die $V(\lambda)$ -Kurve ihre Maxima haben. Damit ein Material wenig Strahlungsenergie aufnimmt, muß es oberhalb von 800 nm einen großen spektralen Reflexionsgrad aufweisen. Visuelle hell erscheinende Proben müssen nicht unbedingt die geringste Strahlungsaufnahme haben, „visuell hell“ ist nicht unbedingt „wärmetechnisch hell“.

Mineral	Lichtreflexionsgrad $\rho_{8/d}$ in %	Strahlungsreflexionsgrad $\rho_{e, 8/d}$ in %	$\rho_{e, 8/d}/\rho_{8/d}$ in %
Quarzporphyr/Lö	20	29	145
Moräne/Mü	22	31	141
Quarzkies/No	36	50	139
Quarzit/He	29	38	131
Quarzit/Sa	36	47	131
Quarzkies/Pr	45	59	131
Granit/He	32	42	131
Kiessplitt/Eu	23	30	130
Moräne/Rh	24	31	129
Moräne/Do	21	27	129
Granulit/Se	25	32	128
Basalt/Me	11	14	127
Diabas/Se	13	15	115
Granit/Ne	21	24	114
Grauwacke/We	14	16	114
Granodiorit/Pl	25	27	108
Luxovit	63	65	103

Tabelle 1: Lichtreflexionsgrad und Strahlungsreflexionsgrad der Gesteine geordnet nach dem Verhältnis $\rho_{e, 8/d}/\rho_{8/d}$

Abb. 4 zeigt die Extreme für den Licht- und Strahlungsreflexionsgrad. Bei Luxovit (LU) beträgt der Unterschied zwischen den beiden Reflexionsgraden nur 3 %, das andere Extrem ist Quarzporphyr (QP), bei dem der Unterschied 45 % beträgt. Beide Proben zeigen oberhalb von 1000 nm einen ausgeglichenen Verlauf, unterhalb von 1000 nm fällt der spektrale Reflexionsgrad für Quarzporphyr (QP) viel stärker ab als bei Luxovit. Es ergeben sich deshalb starke Unterschiede zwischen Licht- und Strahlungsreflexionsgrad.

Eine Einteilung nach Gesteinsgruppen mit ähnlichem Mineralbestand ist sinnvoll. Ein Vorschlag wird in Tabelle 2 wiedergeben:

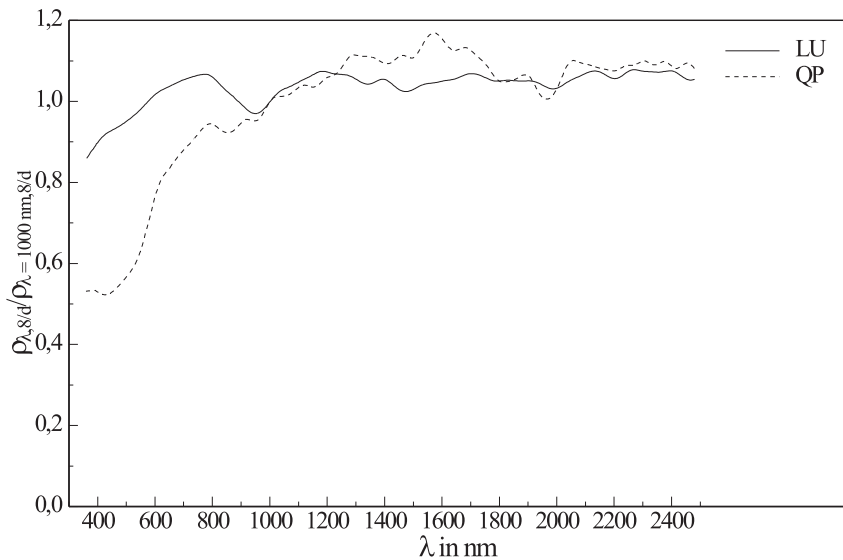


Abb. 4: Relativer spektraler Reflexionsgrad zum Zusammenhang zwischen Licht- und Strahlungsreflexionsgrad

Nach dem Reflexionsgrad ρ_{λ} ergibt sich für eine Verminderung der Asphaltwärmerung die folgende Reihung:

- Gruppe I: sehr gut; hohe Werte im gesamten Bereich
- Gruppe II und III: gut; mittlere im sichtbaren, hohe Werte im IR-Bereich
- Gruppe IV: mäßig; niedrige Werte im sichtbaren, mittlere im IR-Bereich
- Gruppe V: wenig; niedrigste Werte im sichtbaren, etwas höhere im IR-Bereich.

Lichttechnische Kennziffern von Gesteinen

Die lichttechnischen Messungen betreffen folgende zwei Kennziffern:

- Globaler Reflexionsgrad $\rho_{d/8}$ und $\rho_{8/d}$
- Leuchtdichtekoeffizient $q_{-63,5^\circ}$

Gesteinsgruppe		Reflexionsgrad in % bei		
		360 nm	1650 nm	2500 nm
I	Luxovit (gebrannter Flint)	56	68	67
II	Quarzite, Quarzkiese	21-35	47-68	48-65
III	Granite, Quarzporphyre, Granodiorite, weißer Granulit	16-26	48-68	26-44
IV	Moränen, Flußkiese	16-16,5	35-41	29-33
V	dunkle Gesteine, Grauwacke, Diabas, Basalt	8-12	17-18	15-16

Tabelle 2 Einteilung der Gesteinsbaustoffe nach Strahlungsreflexionsgrad im Spektralbereich der Sonnenstrahlung ($\lambda = 360 \dots 2500 \text{ nm}$)

Die Messung des Reflexionsgrades ρ erfolgte bei Normlichtart A und der Meßgeometrie $d/8^\circ$, d.h. bei diffuser Beleuchtung mittels Ulbricht-Kugel und Messung unter 8° .

Die Ergebnisse zeigt Tabelle 3, wobei eine Rangfolge nach der Höhe des Reflexionsgrades bzw. des Leuchtdichtekoeffizienten vorgenommen wurde.

Mineral	$\rho_{d/8}$ in %	Rangzahl nach $\rho_{d/8}$	$q_{-63,5^\circ}$ in (cd/m ²)/l x	Rang- zahl nach q	$\rho_{8/d}$ in %	Rang- zahl nach $\rho_{8/d}$
Luxovit/Dänemark	61,7	1	0,500	1	63	1
Quarzkies/Pr	36,9	2	0,296	2	45	2
Quarzkies/No	30,9	3	0,288	3	36	3,5
Quarzit/Sa	29,4	4	0,260	4	36	3,5
Granit/He	27,2	5	0,193	8	32	5
Quarzit/He	26,4	6	0,212	6	29	6
Granodiorit/Pl	23,4	7	0,217	5	25	7,5
Granit/Ne	21,3	8	0,078	15	21	13
Moräne/Rh	19,7	9	0,181	9	24	9
Moräne/Mü	19,6	10	0,155	14	22	11
Moräne/Do	19,4	11	0,172	10	21	12
Quarzporphyr/Lö	19,2	12	0,155	13	20	14
Granulit/Se	18,8	13	0,208	7	25	7,5
Kiessplitt/Eu	18,7	14	0,170	11	23	10
Diabas/Se	13,2	15	0,162	12	13	16
Grauwacke/We	11,4	16	0,060	16	14	15
Basalt/Me	8,7	17	0,048	17	11	17

Tabelle 3: Reflexionsgrade $\rho_{d/8}$, $\rho_{8/d}$ und Leuchtdichtekoeffizient $q_{-63,5^\circ}$ von Gesteinen

Mittels Goniophotometer wurde der Leuchtdichtekoeffizient $q_{-63,5^\circ}$ bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 aufgenommen und in einer Rangfolge nach dem Leuchtdichtekoeffizienten geordnet. Vergleicht man beide Rangfolgen untereinander und mit dem visuellen Helligkeitseindruck, so läßt sich folgendes feststellen: Der Reflexionsgrad entspricht nahezu exakt dem visuellen Helligkeitsgrad mehrerer Beobachter. Nur zwischen den Positionen 9 ... 13 ($\rho=19,7\%$ bis $18,8\%$) ergaben sich leichte Verschiebungen. Dagegen zeigt sich bei den Werten für $q_{-63,5^\circ}$ eine wesentlich größere Abweichung vom visuellen Helligkeitsein-

druck. Hier hat unkontrolliertes reflektiertes Streulicht, das durch eine mögliche unterschiedliche Struktur der Oberfläche der Meßproben und die Messung unter $\alpha = 1^\circ$ nicht ganz auszuschließen ist, einen merklichen Einfluß.

Im Abb. 5 sind die Reflexionsgrade und Leuchtdichtekoeffizienten nach Tabelle 3 dargestellt. Abb. 5 a zeigt den Zusammenhang zwischen den Reflexionsgraden $\rho_{8/d}$ und $\rho_{d/8}$ für alle untersuchten Gesteine. Die Abb. 5 a zeigt eine enge Korrelation zwischen beiden Reflexionsgraden. Wegen des weitgehend diffusen Re-

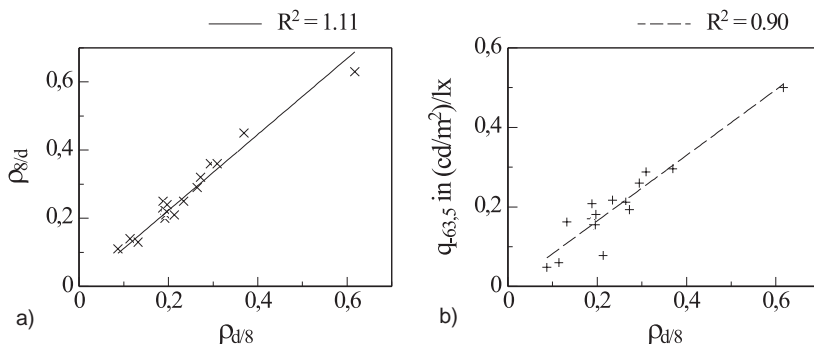


Abb. 5: Zusammenhang zwischen den Reflexionsgraden $\rho_{8/d}$, $\rho_{d/8}$ und $q_{-63,5}$ für Gesteine

flexionsverhaltens der Gesteine der Körnung 2/5 spielt die Meßgeometrie und die Art der Gesteinschüttung offensichtlich nur eine untergeordnete Rolle. In guter Näherung gilt:

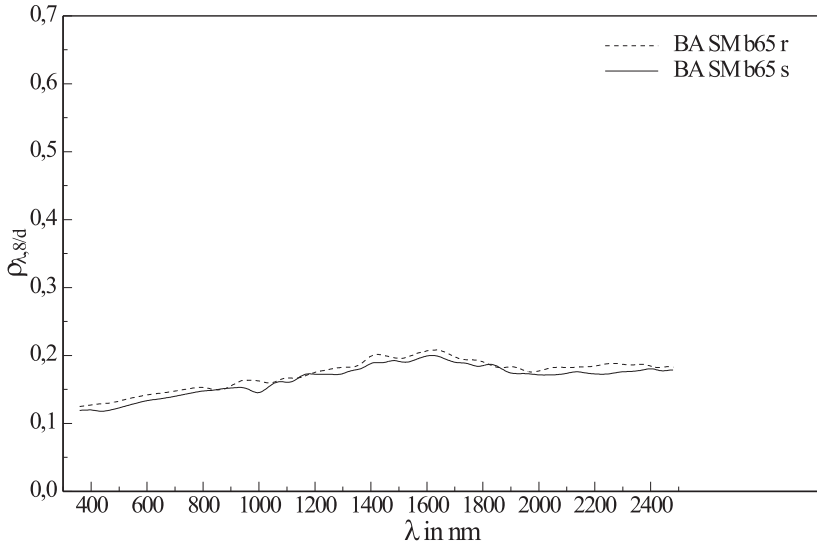
$$\rho_{8/d} = 1,12 \cdot \rho_{d/8} \quad \text{mit } R_2 = 1,11$$

Für die Abhängigkeit des Leuchtdichtekoeffizienten $q_{-63,5}$ von $\rho_{d/8d}$ (Abb. 5 b) ist der lineare Zusammenhang nicht so deutlich, es treten stärkere Abweichungen auf. Offensichtlich ist der Leuchtdichtekoeffizienten $q_{-63,5}$ zur Kennzeichnung des Gesamt-Reflexionsverhaltens wenig geeignet. Bei dem Leuchtdichtekoeffizienten $q_{-63,5}$ geht das Spiegelverhalten der Probe mit ein. Zur Kennzeichnung des Reflexionsverhaltens von Gesteinen ist demnach der Reflexionsgrad sehr gut geeignet.

3.3 Spektrale Strahlungsmessung an Asphaltproben

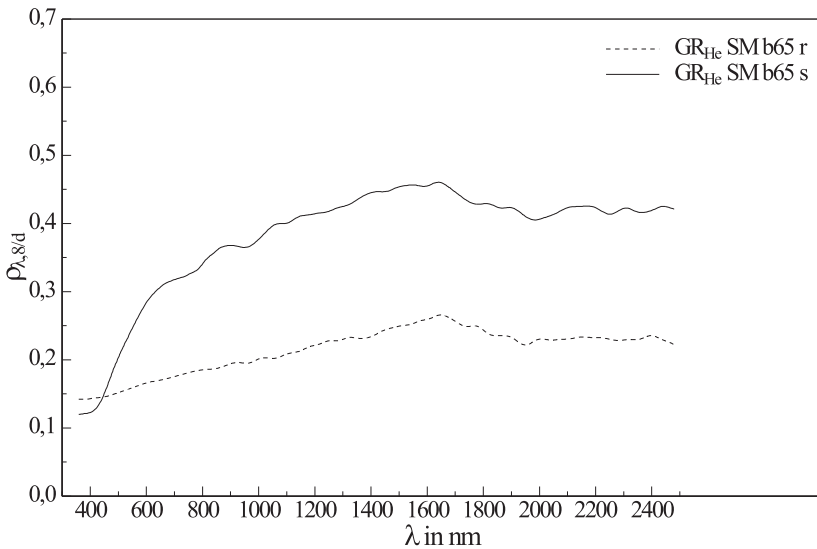
Die Messungen erfolgten zuerst an den gesägten Oberflächen der Asphaltproben, die in dieser Form von den natürlichen Oberflächen auf der Straße etwas abweichen. Deshalb wurde für einige Asphaltproben der Einfluß der Oberflächenstruktur auf die Reflexionseigenschaften untersucht. Der Einfluß der Oberflächenstruktur auf den Verlauf des spektralen Reflexionsgrades von Asphaltproben zeigen die Diagramme Abb. 6 und Abb. 7

Wegen der ungleichen Abtragung der Bestandteile der sandgestrahlten Oberflächen wurde außer der Bindemittel-Oberflächenhaut auch Bindemittel aus den



Probe BA SM 65, Index r: gesägte Probe, Index s: sandgestrahlte Probe

Abb. 6: Vergleich der Reflexionsgrade für gesägte und gestrahlte Probenoberfläche



Index r: gesägte Probe, Index s: sandgestrahlte Probe

Abb. 7: Vergleich der Reflexionsgrade für gesägte und gestrahlte Probenoberfläche
Probe GR_{He} SMb65

Zwischenräumen entfernt, so daß gegenüber dem Ausgangszustand die Oberfläche ein höheres Relief mit herausstehenden Gesteinskörnern erhielt. Im Trennschliff ist im Vergleich zu den sandgestrahlten Proben der Anteil der Gesteinkornflächen höher als der Bindemittelflächenanteil.

Die Unterschiede der Reflexionsgrade der beiden Oberflächenqualitäten sind nicht konstant. Bei den Quarziten, dem Quarzporphyr und dem Granit wurden Unterschiede von 10 % bis 20 %, bei Granulit, Diabas/Luxovit und Basalt von nur 1 % bis 4 % beobachtet. Die trenngeschliffenen Oberflächen mit ihrem höheren Gesteins-Flächenanteilen ergaben dabei immer die höheren Werte.

Asphaltmischung	Gestein	Lichtreflexionsgrad $\rho_{\%d}$		Strahlungsreflexionsgrad	
		in %		$\rho_{e,\%d}$ in %	
		gesägt s	gestrahlt r	gesägt s	gestrahlt r
LU AB b65	Luxovit	31		37	
QU _{He} AB b65	Quarzit	24		27	
GD AB b65	Granodiorit	25		30	
GW AB b65	Grauwacke	15		18	
DI AB b65	Diabas	15		18	
GD AB me45	Granodiorit	34		39	
GW AB me45	Grauwacke	19		20	
BA SM b65	Basalt	13	14	16	17
QU _{sa} SM b65	Quarzit	24	13	28	17
MO _{M6} SM b65	Moräne	24		28	
GL SM b65	Granulit	23	18	26	22
QP SM b65	Quarzporphyr	25	17	34	23
DILU ₂₅ SM b65	Diabas 75 % Luxovit 25 %	18	16	23	21
GDLU ₂₅ SM b65	Granodiorit 75 % Luxovit 25 %	23		31	
GR _{Ne} SM b65	Granit	24		26	
GR _{He} SM b65	Granit	25	16	37	21
QU _{No} SM b65	Quarzkies	23	15	27	18
KI _{Eu} SM b65	Kiessplitt	25		30	
MO _{Rh} SM b65	Moräne	23		28	

Tabelle 4: Vergleich des Licht- und Strahlungsreflexionsgrades für gesägte und gestrahlte Oberflächen der Asphaltproben

Wegen der nicht konstanten, vom Oberflächenrelief abhängigen Ergebnisse wurde zur Beurteilung der Gesteine in den Asphalten auf trenngeschliffene Oberflächen zurückgegriffen und der Einfluß des Oberflächenreliefs dadurch minimiert.

Die Extrema sind die Probe BA SM b65 (Basalt, Splittmastix, Bindemittel B65) und die Probe GR_{He} SM b65 (Granit, Splittmastix, Bindemittel B65). Der in Abb. 6 dargestellte Verlauf für BA SM b65 zeigt für gesägte und gestrahlte Oberfläche praktisch gleiche Werte. Basalt als sehr dunkles Mineral (Tabelle 4) besitzt einen Reflexionsgrad vergleichbar mit dem verwendeten Bindemittel der Probe. Der prozentuale Anteil von Gestein und Bindemittel an der Probenoberfläche ist zwar unterschiedlich, wegen der ähnlichen Reflexionsgrade der Einzelkomponenten

Asphalt- mischung	Gestein	κ_p in %	R-KL. nach DIN 5044	q_0 in cd/m ²	Q_m^0 in cd/m ²
LU AB b65	Luxovit	0,308	R2	0,141	0,09
QU _{He} AB b65	Quarzit	0,356	R3	0,121	0,08
GD AB b65	Granodiorit	0,464	R4	0,125	0,10
GW AB b65	Grauwacke	0,708	R4	0,117	0,09
DI AB b65	Diabas	0,558	(R4)	0,103	0,09
GD AB me45	Granodiorit	0,339	R3	0,150	0,11
GW AB me45	Grauwacke	0,539	R4	0,125	0,10
BA SM b65	Basalt	0,566	R4	0,109	0,06
QU _{sa} SM b65	Quarzit	0,357	R4	0,150	0,10
MO _{Ma} SM b65	Moräne	0,379	R4	0,160	0,11
GL SM b65	Granulit	0,379	R4	0,128	0,09
QP SM b65	Quarzporphyr	0,383	R3	0,123	0,08
DILU ₂₅ SM b65	Diabas 75 % Luxovit 25 %	0,448	R4	0,118	0,09
GDLU ₂₅ SM b65	Granodiorit 75 % Luxovit 25 %	0,372	R3	0,128	0,09
GR _{Ne} SM b65	Granit	0,308	R2	0,132	0,09
GR _{He} SM b65	Granit	0,376	R3	0,129	0,10
QU _{Ne} SM b65	Quarzkies	0,303	R2	0,124	0,10
KI _{En} SM b65	Kiessplitt	0,371	R3	0,123	0,08
MO _{Rh} SM b65	Moräne	0,524	R4	0,124	0,11

Tabelle 5: Ergebnisse der lichttechnischen Messungen an Asphalt-Laborproben (Probenoberfläche gesägt)

ist der Reflexionsgrad der Asphaltprobe aber ähnlich. Der Reflexionsgrad von GR_{He} (Granit) (Tabelle 4) ist wesentlich größer als der des verwendeten Bindemittels. Es ergeben sich deshalb deutliche Unterschiede zwischen gesägter und gestrahlter Probenoberfläche (Abb. 7).

3.4 Lichttechnische Messungen an Asphaltproben

An den Asphalt-Laborproben wurden folgende lichttechnische Messungen ausgeführt:

- Messung des mittleren Leuchtdichtekoeffizienten q_0 nach Range /1/ mittels Goniophotometer
- Berechnung des Grades der Spiegelung K_p aufgrund der Meßwerte nach Range
- Messung des mittleren Leuchtdichtekoeffizienten q_m^0 nach Eckert mittels Straßenreflektometer.
- Reflexionsgrad $\rho_{8/d}$

Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt.

Wie aus den Werten hervorgeht, werden sowohl für den Spiegelfaktor κ_p als auch für den mittleren Leuchtdichtekoeffizienten q_0 nach Range sehr hohe Werte gemessen, was auf eine sehr glatte Oberfläche schließen läßt. Das zeigt auch die Einordnung in die R-Klassen. Der hohe Spiegelgrad wirkt sich auch auf den mittleren Leuchtdichtekoeffizienten q_0 aus.

Realistischere Werte zeigt der mittlere Leuchtdichtekoeffizient q_m^0 mittels Reflektometer nach Eckert. Hier liegen die Werte des mittleren Leuchtdichtekoeffizienten bei 0,06 bis 0,11.

4 Globalstrahlung der Sonne und die vereinfachte Messung der Bestrahlungsstärke

Für die Erwärmung eines Materials ist der Energieeintrag in das Material eine wichtige Größe. Das gilt auch für die Messungen im Labor. Die Energie, die auf die Fahrbahnoberfläche auftrifft kann mit aselectiven Meßempfängern, z. B. Bolometern, gemessen werden. Derartige Empfänger sind jedoch nur in Ausnahmefällen verfügbar. Es wurde deshalb ein näherungsweise Meßverfahren zur Bestimmung der Bestrahlungsstärke für Globalstrahlung entwickelt.

In /2/ sind Strahlungsspektren für unterschiedliche Parameter wie
 mittlere Erde-Sonne-Distanz
 relative Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre
 relative Luftmasse
 Ozongehalt

enthalten.

Mit den bekannten Beziehungen für die Beleuchtungsstärke E und der Bestrahlungsstärke E_e

$$E = \frac{d\Phi}{dA_{Probe}} = \frac{d(K_m \int_{\lambda=380}^{780nm} \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda)}{dA_{Probe}} \quad (3)$$

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA_{\text{Probe}}} = \frac{d\left(\int_{\lambda=0\text{nm}}^{\infty} \Phi_{e\lambda} d\lambda\right)}{dA_{\text{Probe}}} \quad (4)$$

erhält man

$$E_e = E \cdot \frac{1}{K_m} \frac{\int_{\lambda=0\text{nm}}^{\infty} \Phi_{e\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda=380}^{\infty} \Phi_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda} \quad (5)$$

Die relative Strahlungsleistung $\Phi_{e\lambda}$ kann aus der Strahlungsfunktion $S(\lambda)$ berechnet werden:

$$\Phi_{e\lambda} = S(\lambda) \Phi_{e\lambda,0} \quad (6)$$

Die Strahlungsfunktion liegt tabelliert vor, $\Phi_{e\lambda,0}$ ist ein Normierungsfaktor, der im vorliegenden Fall, wie (5) zeigt, beliebig wählbar ist.

Für alle in /1/ enthaltenen Spektren wurde der Quotient

$$F = \frac{\int_{\lambda=0\text{nm}}^{\infty} \Phi_{e\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda=380}^{\infty} \Phi_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda} \quad (7)$$

berechnet.

Unter Außerachtlassung der Extremwerte für F ergibt sich als arithmetischer Mittelwert

$F = 0,162$.

Stark abweichende Werte für bei extremer Sonnenhöhen bzw. Wolkendichten sind für den praktischen Anwendungsfall nicht relevant. Solche Extremsituationen sind: Luftmasse $m = 5,6$ Sonnenhöhe von 10° , also sehr tiefstehende Sonne und Wolkendichte 100.

Damit ergibt sich für die Umrechnung der Beleuchtungsstärke in Bestrahlungsstärke bei Sonneneinstrahlung:

$$E_e = E \frac{1}{K_m \cdot F_m} = 0,009 \cdot E \quad E_e \text{ in W/m}^2, \text{ Ein Lx.} \quad (2)$$

Literatur

/1/ Anleitung zur Prüfung lichttechnischer Eigenschaften von Fahrbahnoberflächen und Mineralstoffen mit dem Straßenreflektometer. Hrsg. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1986

/2/ CIE-Publikation Nr. 85/1989 Solar Spektral Irradiance

Infrastruktur Projekt 2000 – Umfassende Untersuchung von Masten

Oliver Roch, Matthias Giesener

Der Strukturwandel auf dem Energiesektor und den damit verbundenen Bereichen wird in den nächsten Jahren zwangsläufig zu einer gravierenden Marktberreinigung führen. Weltweit befinden sich bei den Kommunen, Städten und Energieversorgungsunternehmen mehr als 250 Mio. stehend verankerte Systeme, größtenteils Straßenbeleuchtungsmasten im Bestand.

Der hohe Stellenwert der Straßenbeleuchtung erfordert zu deren Erweiterung, aber auch zur Aufrechterhaltung des bereits vorhandenen Bestandes, konzeptionelle Studien und praxisorientierte Untersuchungen und Auswertungen der Erfahrungswerte.

In dem als „Projekt 2000“ genannten umfangreichen Aktionen sollen in einer weltweit erstmaligen und einmaligen Studie Standsicherheitsprüfungen einer aussagefähigen Anzahl von Masten – etwa 50.000 – innerhalb eines definierten Gebietes (Bezirk, Stadt) unter definierten Bedingungen, in Kombination mit der Aufnahme von Masttypen, deren Lampen und der Standortgegebenheiten, durchgeführt werden.

Aufgrund der Ergebnisse werden die Trägersysteme im Hinblick auf

- Standsicherheit d.h.Tragsicherheit und Lagesicherheit
- chemische Zusammensetzung
- mechanische Kennwerte
- metallographische Werte sowie
- Beschichtungsarten

untersucht. Bei der Verankerung werden die Fundamente und die Bodenverhältnisse analysiert.

Die Untersuchungsergebnisse werden danach zusammenfassend bewertet und eine Projektstudie erstellt, die Mitte 2000 abgeschlossen sein wird.

Der Sinn der Untersuchungen ist es, eine Bewertungsgrundlage in wirtschaftlicher und technischer Hinsicht von dem gesamten Beleuchtungsnetz eines Betreibers zu ermöglichen.

Finanzprobleme, als auch der zunehmende Strukturwandel mit dem dazugehörigen Wettbewerbsdruck, veranlassen die Betreiber und Eigentümer, eine Neubewertung der Infrastruktur durchzuführen, zu der in großem Maße die Straßenbeleuchtungsnetze und -anlagen gehören.

Oliver Roch, Dipl.-Ing. Matthias Giesener
Roch Prüfdienste AG
Seelandstraße 9
D-23569 Lübeck

Gerade in Hinblick auf den Zusammenschluß der Energieversorgungsunternehmen, der angespannten wirtschaftlichen Problemen der Kommunen und den anhaltenden Diskussionen über den Strompreis ist dies ein zunehmend aktueller werdendes Thema.

Das Ergebnis des Infrastruktur-Projekts-2000 bietet die notwendige Basis um für den jeweiligen Betreiber Aufschluß über den Zustand des Straßenbeleuchtungsnetze und -anlagen zu erhalten.

Darstellung einiger Ergebnisse aus dem Infrastruktur-Projekt-2000

1. Prüfkurven aus der Standsicherheitsprüfung:

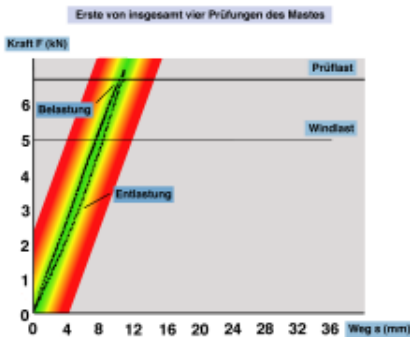


Bild: Original Be- und Entlastungskurve einer Druck-Prüfung, ohne aufstehenden Fehler
 Befund: Ohne Befund o.B.

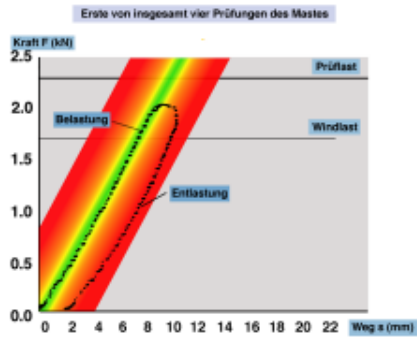


Bild: Original Be- und Entlastungskurve einer Druck-Prüfung, mit dem aufstehenden Fehler des Prüfstrahms
 Befund: Nachrechnen der Prüflast aufgrund von Materialeigenschaften: nicht!

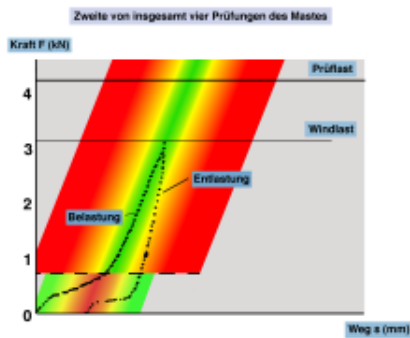


Bild: Original Be- und Entlastungskurve einer Zug-Prüfung, mit dem aufstehenden Fehler einer Bodenbewegung
 Befund: Windlast erreicht aber im Boden bewegte Weibell

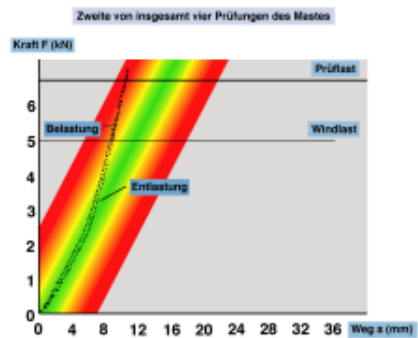


Bild: Original Be- und Entlastungskurve einer Zug-Prüfung, mit dem aufstehenden Fehler eines Risses

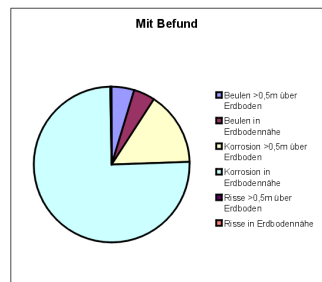
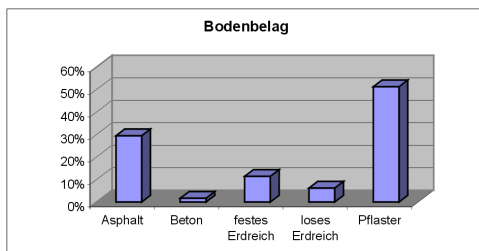
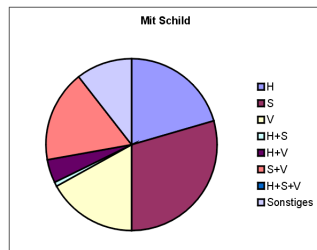
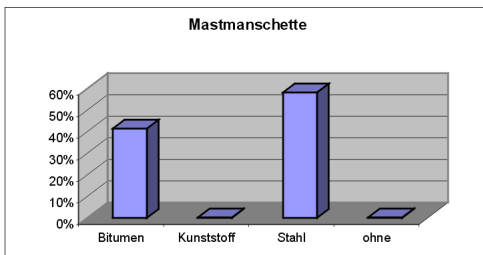
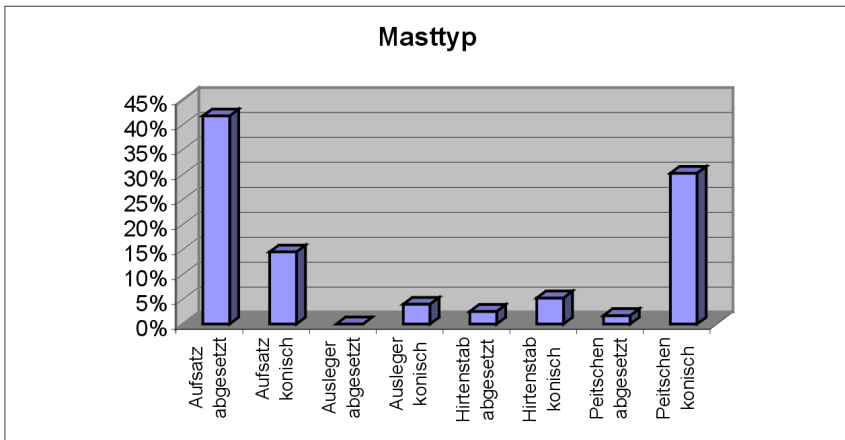
Die computergestützte Überwachung und Auswertung des Prüfvorganges der Standsicherheitsprüfung mit der dazugehörigen kontinuierlichen Funktionsüberwachung und Funktionsanalyse. Es wird zeitgleich die eingeleitete Kraft und die durch das Biegemoment erzeugte Auslenkung des Mastes durch Sensoren gemessen, ausgewertet und graphisch dargestellt. Hierdurch ist eine ständige

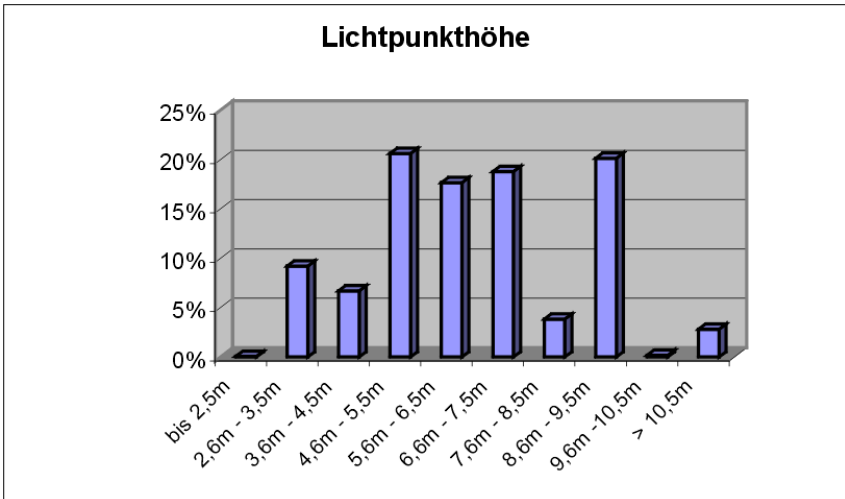
Überwachung und Auswertung des Prüfungsvorgangs gewährleistet und bietet dadurch ein Höchstmaß an Aussagefähigkeit, Sicherheit und Reproduzierbarkeit.

Reproduzierbare Prüfkurven, die die eingeleitete Kraft im Verhältnis zur Auslenkung aufzeichnen in einem Kraft-Weg-Diagramm, so daß das Verhalten des Mastes unter Druck und Zugbelastung während des gesamten Prüfungsvorganges nachvollzogen werden kann.

Darstellung einiger Ergebnisse aus dem Infrastruktur-Projekt-2000

2. Auszug einiger repräsentativen bei einem Betreiber aufgenommenen Daten:





Darstellung einiger Ergebnisse aus dem Infrastruktur-Projekt-2000

3. metallographisches Beispiel:

Mastenumbrüche ohne äußerliche Schäden, wie beispielsweise Korrosion, können ihre Ursache in der Materialermüdung bzw. Versprödung haben.

Einen wichtigen Faktor für die Standsicherheit von Beleuchtungsmasten stellt demzufolge die Qualität des Mastmaterials und der Verankerung dar.

Um die Stabilität zu überprüfen, ist deshalb die Kontrolle der Materialkennwerte eine grundlegende Voraussetzung, um der Verkehrssicherungspflicht zu genügen.

Beispiel:

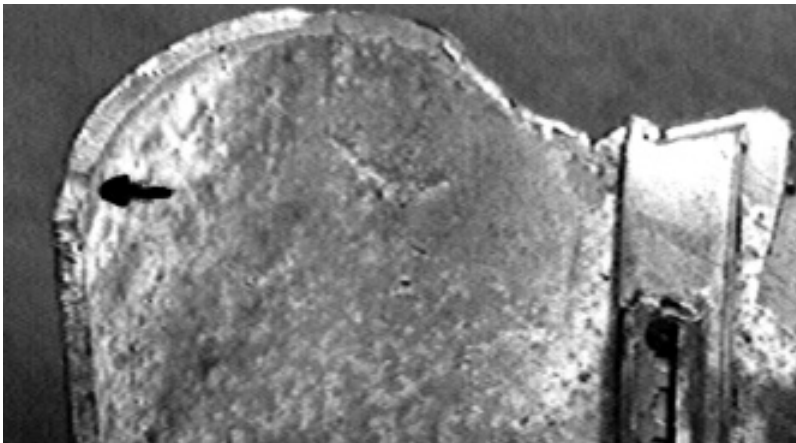


Bild 1

Bei dem hier abgebildeten Mast (Bild 1) handelt es sich um einen vollwandigen (100 % Wandstärke), verzinkten Mast, der aufgrund metallurgischer Probleme versagte.

Genauere Untersuchungen zeigten neben einem hohen Kohlenstoffgehalt eine einsetzende Versprödung, wie sie immer wieder bei Masten anzutreffen ist (Bild 2).

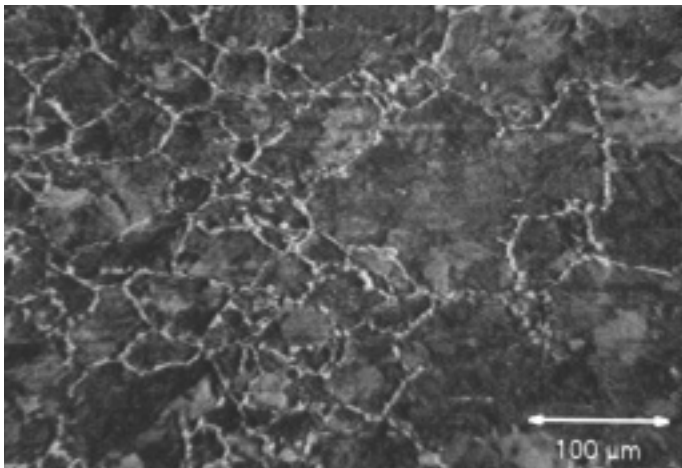


Bild 2

Bei der Standsicherheitsprüfung wird solch ein Mast rechtzeitig als Sicherheitsrisiko erkannt und entfernt.

Pilotprojekt Dynamische Straßenbeleuchtung (DYNO) beendet

Engbert Folles

1. Einleitung

Eine Straßenbeleuchtung lässt sich intelligenter schalten als nur mit einem Ein-Aus-Schalter. Bei der dynamischen Straßenbeleuchtung in den Niederlanden wird die Leuchtdichte den Witterungs- und Verkehrsverhältnissen angepasst. Auf der Autobahn A12 in der Nähe von Gouda sind die Auswirkungen drei Jahre lang untersucht worden. Dabei sind ebenfalls die möglichen Stromkosteneinsparungen untersucht worden.

2. Zielsetzungen und Bedingungen

Bei diesem Pilotprojekt ging es in erster Linie darum, einen Einblick in die Auswirkungen des Schaltens der Straßenbeleuchtung auf das Verkehrsverhalten zu bekommen.

Die Bedingungen für die Anwendung der dynamischen Straßenbeleuchtung waren:

- Anwendung in großem Maßstab, wirtschaftliche Nutzung von Energie,
- Verbesserung des Betriebs und der Unterhaltung; Schonung der Umwelt.

Das Pilotprojekt sollte die technische und wirtschaftliche Durchführbarkeit ergründen, um beurteilen zu können, ob der kommerzielle Einsatz der Technik möglich sein würde.

Im Auftrag des Beratungsdienstes Verkehr und Transport von ‚Rijkswaterstaat‘ (der obersten Straßen- und Wasserbaubehörde der Niederlande) ist ein Feldversuch über die Auswirkung der Dynamischen Straßenbeleuchtung auf das Verkehrsverhalten durchgeführt worden.

3. Versuchsstrecke

Die Versuchsstrecke (14 km lang), auf der die DYNO anfangs eingerichtet worden war, liegt auf dem südlichen und nördlichen Teil der Autobahn A12 in der Nähe von Gouda. Später ist die Anlage in östlicher Richtung bis zur Ausfahrt ‚Woerden‘ erweitert worden. Dieser Teil der Autobahn ist davor noch unbeleuchtet gewesen. Auf der gesamten Strecke gilt eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 120 km/h. Die Autobahn bestand aus zwei Fahrbahnen mit einem sehr breiten Mittelstreifen. Jede Fahrbahn hat drei Fahrstreifen und einen Standstreifen. Der größte Teil der südlichen Fahrbahn hat einen Belag aus dichtem Asphaltbeton (DAB). Die Verkehrsdichte auf der Versuchsstrecke betrug etwa 210 000 Fahrzeuge in 24 Stunden.

Engbert Folles
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Adviesdienst Verkeer en Vervoer
Postbus 1031
NL-3000 BA Rotterdam

4. Ergebnisse

In erster Linie ist auf der Grundlage einer Straßenbildanalyse ein (vorläufiges) Schaltschema festgelegt worden, das aus einer normalen (100%), einer verringerten (20%) und einer erhöhten (200%) Leuchtdichte bestand.

Vorläufige Schaltvorschrift				
Witterungs- bedingungen	Tageslicht	Dunkelheit		
		nicht viel Verkehr	viel Verkehr, Stau, WIU	Unfall
.....
gut	nein	niedrig	normal	hoch
Niederschlag	nein	normal	hoch	hoch
Glätte	nein	hoch	hoch	hoch
Nebel	hoch	hoch	hoch	hoch

Tabelle 1: Übersicht des vorläufigen Schaltschemas

Für jede Kombination von Wetterbedingungen, Verkehrsaufkommen und Leuchtdichte wird angegeben, ob die Beleuchtung eingeschaltet wird und welche Leuchtdichte dann eventuell während des Versuchs eingestellt wird.



Figur 1: dynamisches Schalten von Autobahnbeleuchtung. Leuchtdichteniveau von links bis rechts 200 %, 100 % (1cd/m²) und 20 %.

Dieses vorläufige Schaltschema ist bei dem Feldversuch angewendet worden und seine Auswirkungen auf das Fahrverhalten sind untersucht worden. Die Ergebnisse zeigen, dass das normale Beleuchtungsniveau zu geringen Verhaltensanpassungen führt: die durchschnittliche Geschwindigkeit nahm etwas zu (ca. 0,7 km/h) und die Zahl der kritischen Situationen (kurze Abstände, kurze TT-Cs) stieg um maximal 1%. Auch auf Grund des aus der Literatur bekannten positiven Effekts einer herkömmlichen Straßenbeleuchtung auf die Verkehrssicherheit wird von diesen Verhaltensanpassungen keine negative Auswirkung auf die Verkehrssicherheit erwartet.

Unterschiede zwischen 100% und 200% wurden im Fahrverhalten bei der Kombination von hoher Verkehrsdichte und Niederschlag nicht gefunden. Sonstige Situationen, in denen das vorläufige Schaltschema 200% vorschrieb, sind relativ selten und der Mehrwert einer höheren Leuchtdichte in diesen Situationen wird als begrenzt eingeschätzt.

Die Untersuchung des individuellen Erfahrens der dynamischen Straßenbeleuchtung hat gezeigt, dass diese von den Autofahrern als positiv empfunden wird. Es wurden keinerlei Anzeichen gefunden, dass die niedrige Leuchtdichte unter günstigen Umständen als zu niedrig empfunden wurde.

In einer Analyse der Kosten und Vorteile ist untersucht worden, wie sich die Anlagekosten des DYNO-System (20%-100%-200%) auf der Versuchsstrecke zu den Energie- und Umweltschutzkosten (CO₂-Emission im Kraftwerk) verhalten. Hierbei ist festgestellt worden, dass sowohl die Anlagekosten als auch die gesamten Energie- und Umweltschutzkosten höher sind als bei einer herkömmlichen Beleuchtungsanlage. Aus diesem Grunde rentiert sich dieses System nicht im Hinblick auf die Energie- und Umweltschutzkosten.

Auch wenn das DYNO-System nur mit niedriger und normaler Leuchtdichte ausgerüstet wird, sind die Anlagekosten höher, aber die Energie- und Umweltschutzkosten niedriger als bei einer herkömmlichen Anlage. Daher rentiert sich dieses System hinsichtlich der Energie- und Umweltschutzkosten. Damit würde die Regierungspolitik mit Bezug auf die Reduzierung der CO₂-Emission unterstützt werden. Der Rentabilitätszeitraum hängt stark von der örtlichen Situation und von der Tarifstruktur ab, in der das System angewendet wird.

5. Technik

Um eine Straßenbeleuchtung dynamisch schalten zu können, werden gegenüber einer herkömmlichen Anlage eine Reihe neuer Elemente benötigt. Während eine herkömmliche Anlage relativ einfach im Aufbau ist, haben die zusätzlichen Elemente einer DYNO-Anlage eher einen IT-Charakter.

6. Maßnahmen

Daher wird empfohlen, bei zukünftigen Neuanlagen oder Erneuerungen von Straßenbeleuchtungen auf Autobahnen die Anwendung einer DYNO-System (20%-100%)-Anlage anstelle einer herkömmlichen Beleuchtungsanlage in Erwägung zu ziehen.

Die niedrige Leuchtdichte muss hierbei 0.2 cd/m^2 und die normale Leuchtdichte 0.7 bis 1.0 cd/m^2 betragen, (gemäß dem Wert, der für den jeweiligen Straßenabschnitt für eine herkömmliche Straßenbeleuchtung gewählt werden würde). Einzelheiten hierüber sind im Maßnahmenkatalog Straßenbeleuchtung auf Autobahnen/Fernstraßen in den Niederlanden, der in Kürze veröffentlicht wird, enthalten.

Leuchtstofflampen für die Beleuchtung von Straßentunnel

Werner Riemenschneider

Am Anfang der Beleuchtung von Straßentunnel, ausgangs der 50er Jahre, war die Leuchtstofflampe (FL) 40 W die einzige Entladungslampe auf dem Markt und man versuchte mit Erfolg, sie für die Beleuchtung von Straßentunnel einzusetzen. Besondere Schwierigkeiten traten auf durch ihre starke Abhängigkeit von der Temperatur der Umgebung. Zudem war es schwierig, mit ihrer niedrigen Leistung in den Einsichtstrecken das notwendige Beleuchtungsniveau zu erreichen. So wurden oft an den beiden Wänden der Tunnels mehrere Leuchten mit je 3 FL Lampen übereinander angewendet, so daß bis zu 2mal 10 FL à 40 W im Querschnitt einer Einfahrt zum Einsatz kamen. Mit diesen 110 W/m² und 60 lm/W Systemleistung wurden bis zu 2'500 Lx resp. 85 cd/m² erreicht.

In den frühen 60er Jahren bekam die Leuchtstofflampe von 2 Seiten Konkurrenz. Zunächst durch die Quecksilberdampf-Hochdrucklampe (HgL), sowie die Natriumdampf-Niederdruck-Lampe (NA) und in den späten 60er Jahren durch die Natriumdampf-Hochdrucklampen (NaH). Diese Lampen brachten höhere Leistungen je Lampe – bis zu 400 W – und erlaubten bessere Anlagenwirkungsgrade. Dies dank ihrer kleinen Entladungsstrecken.

Parallel dazu entwickelte sich die Anwendung der Leuchtdichte-Technik für die Bewertung von Straßen und Straßentunnel, so daß die Beleuchtungsgeometrie ein kritischer Bestandteil der Beleuchtungstechnik wurde. Hierdurch wurde die Anwendung von Hochdruck-Entladungslampen gefördert. Mit der Verfügbarkeit auch kleinerer Lampenleistungen, bis herunter zu 70 W, wird die NaH-Lampe auch immer mehr für die Durchfahrtsbeleuchtung eingesetzt. Erstellungs- und Betriebskosten einer NaH-Beleuchtung waren viel günstiger als einer FL-Beleuchtung.

Mit der Entwicklung der Dimm-Techniken, die das Ein-Aus-Schalten von Lampen stark reduziert und damit ihre Standzeiten vervielfacht, waren neue Möglichkeiten gegeben, um das Lichtniveau der Beleuchtungsanlagen besser dem momentanen Bedarf anzupassen. Dieser wird beeinflusst durch die Variationen des Tageslichtes vor dem Tunnel als auch durch die Verkehrssituationen in der Einfahrt und der Durchfahrt der Tunnel. Dies wird vor allem durch die Dichte des Verkehrs, von seiner Art und der gefahrenen Geschwindigkeit gegeben.

Diese Entwicklungen haben dazu geführt, daß fast ausschließlich NaH-Lampen zum Einsatz kommen, nicht nur in den Einfahrtstrecken, wo hohe Beleuchtungsniveaus notwendig sind und man auf NaH-Lampen nicht verzichten kann, sondern auch in den Innenstrecken, in denen niedrige Niveaus genügen können.

Die Bewertung der Beleuchtungsanlagen erfolgt heute vor allem durch die Kriterien:

Beleuchtungsniveau	L_{in}	cd/m ²
Gesamtgleichmäßigkeit	U_o	%
Längsgleichmäßigkeit	U_L	%
Blendungsfreiheit	TI	%

Man stelle sich nun vor, 2 Innenstrecken, eine beleuchtet mit NaH-Lampen und eine andere beleuchtet mit FL-Lampen. Für die genannten Gütekriterien werden die gleichen Werte erreicht. Die subjektive Bewertung ergibt aber nicht die gleiche Güte, da die Leuchtdichte der beiden Lampenarten sehr unterschiedlich ist und deshalb auch die räumliche Lichtverteilung der jeweiligen Leuchten unterschiedlich sein muß. Hierbei wird die Beleuchtungsanlage mit FL-Lampen deutlich als besser bewertet. Die Urteile sind eindeutig und übereinstimmend.

Gescheut werden die höheren Kosten in Anschaffung und Betrieb von Anlagen mit FL-Lampen.

Schöpft man die heute gegebenen Möglichkeiten des Betriebes von FL-Lampen aus, vor allem hinsichtlich Dimmbarkeit, sind an dieser Meinung berechtigte Zweifel angebracht, es stellt sich heraus, daß diese Meinung ein unberechtigtes Vorurteil ist.

In der Tabelle 1 sind die Lichtkosten (CHF/klmh) relevanter Lampentypen aufgeführt ohne und unter Berücksichtigung der Lampenwechselkosten mit einer Lebensdauer nach Werkangabe.

Grundlagen			Kosten der Arbeitsstunde		80.00		Kosten der kWh			0.15		GE Spectrum 1999-2000		
Lampe			NaH	NaH	FL	FL	TC							
Sockel			E 40	E 40	G 10	G 10	2G11							
Preis	PF	Fr	42.00	39.00	3.16	4.54	16.40							
Durchmesser		mm	40	40	T 8 - 26	T 8 - 26	T 5 - 17							
Leistung	PL	W	400	100	36	58	55							
Verlust	PV	W	38	18	4	8	4							
System	PS	W	438	118	40	66	59							
Lebensdauer	LD	h	28'500	28'500	15'000	15'000	10'000							
Lichtstrom	Phi	lm	56'500	10'000	3'350	5'200	4'850							
Effizienz	Eta	lm/W	129	85	84	79	82							
Kosten_1 per Mlmh		Fr	1.19	1.91	1.85	1.96	2.16							
Arbeitszeit (3 Mann)		min	5	5	3	4	2							
Kosten_2 per Mlmh		Fr	1.20	1.98	2.09	2.17	2.33							
Kosten_2 %		%	61	100	106	110	118							

Tabelle 1 – Kosten der Lichtarbeit (Mlmh) – mit Lebensdauer nach Hersteller

Grundlagen	Kosten der Arbeitsstunde		80.00				
	Kosten der kWh		0.15				
Lampe			NaH	NaH	FL	FL	TC
Sockel			E 40	E 40	G 10	G 10	2G11
Preis	PF	Fr	42.00	39.00	3.16	4.54	16.40
Durchmesser		mm	40	40	T 8 - 26	T 8 - 26	T 5 - 17
Leistung	PL	W	400	100	36	58	55
Verlust	PV	W	38	18	4	8	4
System	PS	W	438	118	40	66	59
Lebensdauer	LD	h	30'000	30'000	35'000	30'000	30'000
Lichtstrom	Phi	lm	56'500	10'000	3'350	5'200	4'850
Effizienz	Eta	lm/W	129	85	84	79	82
Kosten_1 per Mlmh		Fr	1.19	1.90	1.82	1.93	1.94
Arbeitszeit (3 Mann)		min	5	5	3	4	2
Kosten_2 per Mlmh		Fr	1.20	1.97	1.92	2.04	1.99
Kosten_2 %		%	61	100	98	104	101

Tabelle 2 – Kosten der Lichtarbeit (Mlmh) – mit Lebensdauer nach Erfahrung

In Tabelle 2 werden die Lichtkosten mit den tatsächlichen Standzeiten der Lampen im Tunnel berechnet. Hier zeigt sich, daß die kompakte Leuchtstofflampe nicht teurer ist als die NaH-100 W-Lampe.

In Tabelle 3 werden die berechneten Gütemerkmale der gleichen Anlage beleuchtet mit NaH 100 W und FL TC 2x 55 W Lampen

Lampe	NaH HO 100 W		FL TC 55 W		Einheiten
Lichtverteilung der Leuchte	LIV903		LIV002		cd/klm
Lichtpunktabstand	12	14	12	14	m
Wand links	1.52	1.30	2.24	1.92	cd/m ²
Wand rechts	1.54	1.32	2.36	2.02	cd/m ²
Fahrbahn	2.48	2.12	2.34	2.01	cd/m ²
Gesamtgleichmäßigkeit	0.54	0.51	0.51	0.45	%
Längsgleichmäßigkeit	0.76	0.64	0.66	0.55	%
Blendungsfreiheit TI	5.3	6.0	5.2	5.5	%

Tabelle 3 – Vergleich lichttechnischer Gütemerkmale NaH 100 W mit FI-TC 55 W

Mit einer Lichtpunkthöhe von 4.75 m und einem Leuchtenabstand von 12 bzw. 14 m sind alle Gleichmäßigkeiten besser als in der Norm verlangt. Besonders beachtenswert ist:

mit TC 55 W sind die Wände 50% heller als mit NaH 100 W

mit TC 55 W sind die Wände gleich hell wie die Fahrbahn (100 % der Norm)

Lampe		NaH HO 100 W		FL TC 55 W		Einheiten
Leuchtdichten an der Wand						
Höhe	2.92	0.54	0.52	2.44	2.38	cd/m ²
über der	1.75	1.81	1.77	3.90	3.78	cd/m ²
Fahrbahn	0.58	2.05	1.89	3.70	3.12	cd/m ²

Tabelle 4 – Wandleuchtdichte in verschiedenen Höhen

Zusammenfassung der Vorteile der TC 55 W Lampe für die Beleuchtung von Tunnel-Durchfahrten (Innenstrecken)

- hohe Wandleuchtdichten auch im oberen Bereich der Wand
- bessere Gleichmäßigkeit auf der Wand als mit NaH-Beleuchtung
- nackte Lampe ($30'000 \text{ cd/m}^2$) sichtbar \Rightarrow gute optische Führung
- kleine Blendung
- gute Gleichmäßigkeiten der Leuchtdichten
- 2 Lampen je Leuchte – separat geschaltet, erlaubt größere Abstände
- sehr gute Farbwiedergabe \Rightarrow weißes Licht
- Lichtfarbe 3000 K oder 4000 K
- Lampe ist sicher dimmbar zwischen 10 ... 100 % Lichtstrom \Rightarrow damit geringster Energiebedarf
- Sofortstart nach Netzausfall \Rightarrow hohe Betriebssicherheit
- gleiche Lichtleistung am Anfang und Ende einer Einspeisung \Rightarrow
- gleiche Lichtkosten wie NaH 100 W.

Es ist empfehlenswert, bei der Planung einer Beleuchtung eine Variante mit Leuchtstofflampen zu prüfen.

Moderne Tunnelbeleuchtungsregelungen

Jochen Riepe

1. Historie

1.1. Beleuchtungsstärke vs. Leuchtdichtemessung

Noch vor wenigen Jahrzehnten war es durchaus üblich, Tunnelbeleuchtungsanlagen nach der Beleuchtungsstärke zu steuern. Man ging hierbei davon aus, dass es reiche, die einzelnen Beleuchtungsstufen einer Tunnelbeleuchtungsanlage in Abhängigkeit der horizontalen Beleuchtungsstärke zu schalten.

Erst in den achziger Jahren setzte sich allmählich das Verfahren der Leuchtdichtemessung durch. Hierbei werden je Fahrtrichtung in Haltesichtweite vor dem Tunnelportal Leuchtdichtesensoren, die dem Blendungsverhalten des menschlichen Auges angepasst sind, plazierte. Bei einer geregelten Anlage werden weitere Leuchtdichtesensoren in der Einsichtsstrecke installiert, die dort den Istwert der Regelung erfassen.

Derartige geregelte Anlagen sind in der Lage, die Verschmutzung der Fahrbahn, der Tunnelwände und der Leuchten einerseits und die Alterung der verwendeten Lampen andererseits auszuregeln.

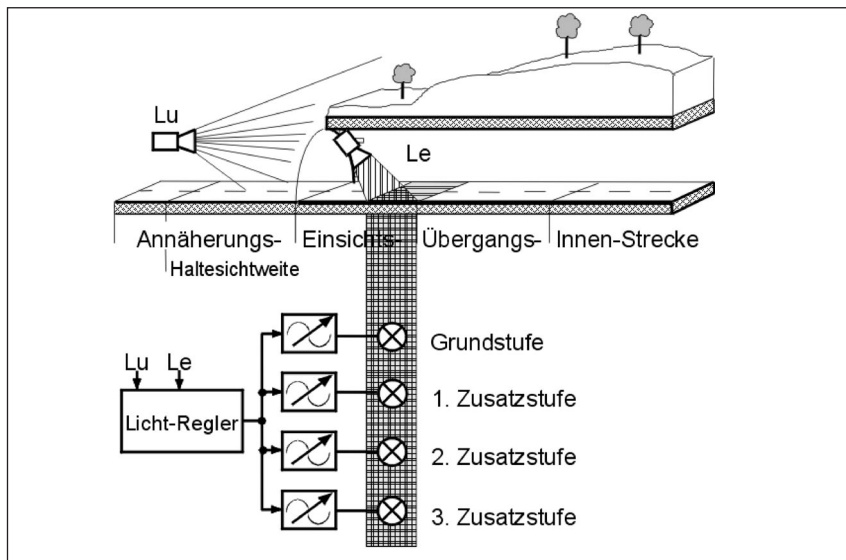


Abb. 1: kontinuierliche Regelung

Dipl.-Ing. Jochen Riepe
ELECTRIC-SPECIAL Photonicsysteme GmbH
Unterm Berg 15
D-26123 Oldenburg

1.2. Stufenregelung vs. kontinuierliche Regelung

Das Dimmen von Hochdruckentladungslampen, in der Tunneltechnik hauptsächlich das der Natriumdampfhochdrucklampe, war lange Jahre ein zwiespältig betrachtetes Thema in der Beleuchtungsindustrie. Das Herabsetzen der Versorgungsspannung weit unter 200 V wurde zunächst einmal kategorisch seitens der Lampenindustrie abgelehnt. Zwischenzeitlich jedoch ist diese Technik akzeptiert und vielfach realisiert.

Durch den Einsatz moderner Dimmsysteme kann nachweislich eine hohe Energieeinsparung und eine Verlängerung der Lampenlebensdauer erreicht werden.

Im Bereich der Tunnelbeleuchtung haben sich grundsätzlich zwei Arten der Dimmung etabliert: Phasenanschnitttechnik mit Thyristorleistungsstellern und diverse Trafolösungen zum Herabsetzen der Sinushalbwelle.

1.2.1. Phasenanschnitt

Hierbei wird, je nach gewünschtem Lichtstrom, ein Stück aus der Sinushalbwelle der Leuchtenversorgungsspannung herausgeschnitten. So kann der Lichtstrom bis auf 15 % reduziert werden, ohne dass die empfindlichen Natriumdampfhochdrucklampen flackern oder gar erlöschen.

1.2.2. Trafo

Bei den diversen Trafolösungen wird die Leuchtenversorgungsspannung entweder stufig oder kontinuierlich heruntertransformiert. Laut Aussage der Lampenindustrie darf mit dieser Technologie lediglich auf 50 % Lichtstrom reduziert werden, da unter 50 % Lichtstrom ein Wiederezündeln je Sinushalbwelle bei der Nennspannung von 230 V gefordert wird.

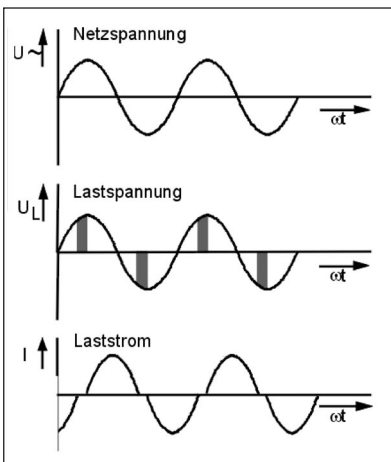


Abb. 2: Phasenanschnitt

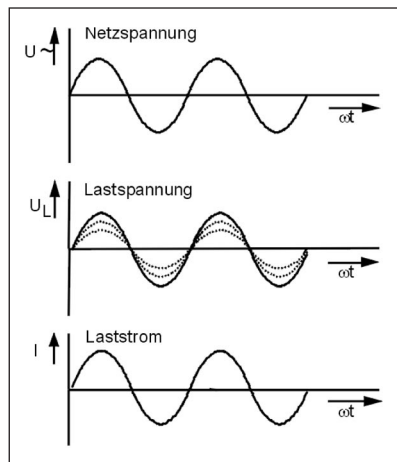


Abb. 3: Stelltrafo

2. Gegenwart

Moderne Großprojekte wie der Rheinfurter Tunnel in Düsseldorf, Donau-City in Wien, Bonn Bad Godesberg oder besonders der soeben fertiggestellte Tunnel Britz in Berlin sind selbstverständlich nach der Leuchtdichte geregelt und mit einer aufwendigen Phasenanschnittsdimmung versehen worden. Das wirklich neuartige jedoch an diesen Projekten war der Einsatz von modernen Bustechnologien, die es ermöglichten redundante dezentrale Peripherien aufzubauen. Es war nun möglich, Unterstationen aufzubauen, die die zentrale Regeleinheit entlasten, indem Basisroutinen vor Ort selbständig abgearbeitet wurden und lediglich die Ergebnisse dieser Aktionen untereinander ausgetauscht werden mussten.

Durch die zuvor genannten Verfahren sind wahre Meilensteine in der Tunnelregelung gesetzt worden, die enorme Energie- und Kosteneinsparungen mit sich brachten. Lange Jahre war man der Meinung, somit nun alles getan zu haben, um optimale Beleuchtungsregelungen zu realisieren. Doch man bedachte hierbei nicht, welche Ausmaße der Verkehr in den Ballungsräumen und selbst in ländlicheren Regionen annehmen würde.

Das Szenario, das sich dem heutigen Ingenieur bei der Planung und Realisierung einer Tunnelregelungsanlage darstellt, ist geprägt von Staus, zähflüssigem Berufsverkehr aber auch Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen im möglichst reibungsfreien Verkehrsfluss.

Was können wir unter Berücksichtigung der Verkehrsproblematik, des steigenden Kostendrucks bei Verkehrssicherungsmaßnahmen, Lampenwechsel und -entsorgung tun, um dieser Situation entgegenzuwirken, ohne dabei nennenswerte Erhöhungen der Investitionssummen in Kauf zu nehmen?

Exemplarisch seien hierfür die beiden Maßnahmen Rotation / Wälzung und Steller-Rotation genannt:

2.1. Rotation / Wälzung

2.1.1. Stufen-Rotation

Eine interessante Maßnahme, um die Wartungskosten einer Tunnelbeleuchtungsanlage zu optimieren, muß schon in der Planungsphase eines derartigen Projektes berücksichtigt werden:

Hierbei ist es notwendig, sämtliche Beleuchtungsstufen lichttechnisch gleichwertig auszugestalten, so dass sie zyklisch getauscht werden können. D.h. die erste Zusatzstufe könnte morgen die zweite und übermorgen die dritte sein.

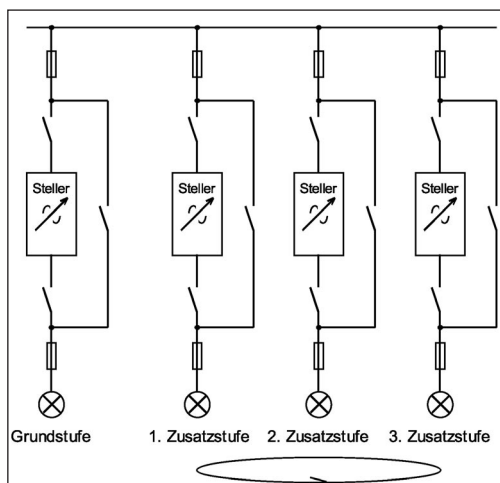


Abb. 4: Stufen-Rotation

Wie aus Abb. 5 ersichtlich, erreichen bei einer herkömmlichen Stufensteuerung die zuerst am Tage eingeschalteten Stufen im Laufe eines Jahres wesentlich höhere Brennstunden als die folgenden. Hieraus resultieren demzufolge sehr unterschiedliche Wechsel- und Wartungsintervalle der einzelnen Stufen. Werden nun die Beleuchtungsstufen zyklisch vertauscht, ergeben sich für alle Zusatzstufen gleiche Intervalle, wie in Abb. 6 dargestellt.

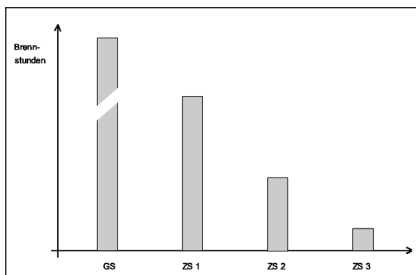


Abb. 5: Brennstunden herkömmlich

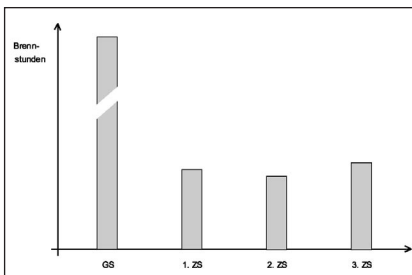


Abb. 6: Brennstunden mit Rotation

2.1.2. Steller-Rotation

Eine Maßnahme zur Reduzierung der Investitionskosten bei einer gedimmten Anlage stellt die Steller-Rotation dar. Bei einer herkömmlichen Schaltung wird je Beleuchtungsstufe eine separate Lichtstromstellergruppe verwendet. Bei Erreichen des Maximums, also 100 % Lichtstrom, wird diese in den sogenannten Bypass geschaltet. D.h. die Steller werden überbrückt, die nächst höhere Gruppe wird nun zugeschaltet und übernimmt nach Zünden der Hochdrucklampen den Regelbetrieb.

Bei der Steller-Rotation wird nun im Bypass-Betrieb die jeweilige Stellergruppe elektrisch abgekoppelt und für die nächste Stufe verwendet.

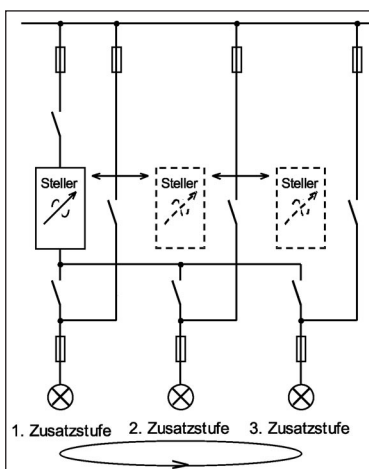


Abb. 7: Steller-Rotation

Ergebnis: Bei einer dreistufig gedimmten Anlage können zwei Drittel der Lichtstromsteller und Schaltschränke eingespart werden!

2.2. Verkehrsabhängige Regelung

Wie bereits erwähnt, ist heutzutage fast allerorts mehrmals täglich mit Stau oder zähflüssigem Verkehr zu rechnen. Es liegt also nahe, dass diese Zustände auch bei der Auslegung und dem Betrieb einer Tunnelanlage zu berücksichtigen sind.

Dieses trifft insbesondere bei dem Beleuchtungsniveau zu, das sich in einer Wechselbeziehung mit den Einflüssen der Umge-

bungshelligkeit und der Verkehrsdichte befindet. Die Fahrzeugdichte und die durchschnittliche Geschwindigkeit können auf verschiedene Art und Weise erfasst werden. Entweder werden hierzu Induktionsschleifen in die Fahrbahndecke eingebracht oder es werden geeignete Infrarot-Sensoren, die heutzutage sogar mit der Höhenkontrolle und der Leuchtdichteerfassung kombiniert werden können, installiert.

Regelungstechnisch läßt sich dieser Themenkreis auf zwei Arten, nämlich statisch oder dynamisch bewältigen.

2.2.1. Statische verkehrsabhängige Regelung

Bei einer statischen verkehrsabhängigen Regelung wird, ausgehend von der durchschnittlichen Fahrzeuggeschwindigkeit, das Leuchtdichteniveau der verschiedenen Strecken angehoben bzw. abgesenkt. Hierbei wird jedoch relativ grob beispielsweise den Geschwindigkeiten 0, 30, 50 und 80 km/h entsprechend gestufte Leuchtdichteniveaus zugeordnet.

2.2.2. Dynamische verkehrsabhängige Regelung

Wird bei der regelungstechnischen Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit eine Verlängerung bzw. Verkürzung der Einsichtsstrecke erwirkt, spricht man von einer dynamischen verkehrsabhängigen Regelung.

Hierbei geht man von der relativen Leuchtdichteverlaufskurve der CIE 88 aus, wonach die Leuchtdichte als Funktion der Länge der Einsichts- und Übergangsstrecke und der durchschnittlichen Fahrzeuggeschwindigkeit dargestellt ist.

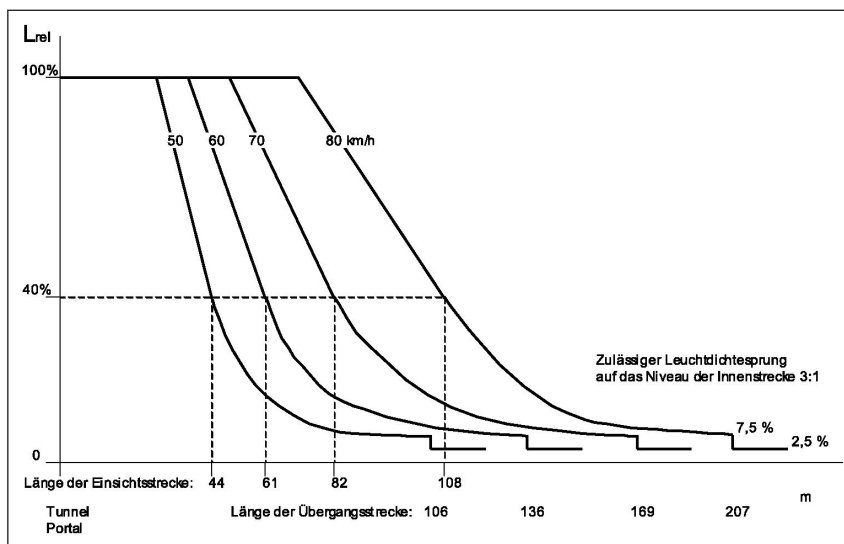


Abb. 8: Relative Leuchtdichteverlaufskurve nach CIE 88

Dieses bedeutet im Umkehrschluss, dass bei geringeren Durchschnittsgeschwindigkeiten die zu beleuchtenden Strecken verkürzt werden können. Dieses ist nur durch eine sehr flexible und dezentrale Regelungstechnik erreichbar. Neue elektronische Module und Bustechnologien, die sogar via Powerline stör-sicher die Informationen über aktuellen Dimmgrad, Lichtstrom, Lampen- und Leuchtzustände übermitteln, sind in Kürze auf dem Markt verfügbar. Diese modernen dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräte, die in die Tunnelleuchte integriert werden, sind sogar in der Lage, für jede einzelne Lampe Trendvorhersagen über ihre Restlebensdauer zur zentralen Regeleinheit weiterzuleiten.

3. Was bringt die Zukunft ?

Keiner vermag schlussendlich zu sagen, was das neue Jahrtausend an Neuerungen in der Hard- und Software-Entwicklung hervorbringen wird. Welche neuen Leuchtmittel finden ihren Einsatz in der Tunnelbeleuchtung, was bringen Tageslichtlenksysteme, welche Buskonzepte werden sich durchsetzen und was bringen Biosensorik und Biotronic in der Nachbildung von Mess- und Regelvorgängen des menschlichen Körpers dieser Branche?

Darum sollten wir uns zunächst um naheliegende Konzeptionen kümmern, die schon mit heute verfügbarer Technik und Software realisierbar wären. Ein bisher sträflich vernachlässigter Punkt ist die Integration der klassischen Gewerke einer Tunnelanlage zu einem Gesamtkonzept:

3.1. Integration

Zur Zeit koexistieren in einem Tunnel u.a. folgende Gewerke

- Lichttechnik
Einsichts/Innenstrecken-, Vorfeld-, Notbeleuchtung, usw.
- Lüftungstechnik
CO-Gehalt, NO-Gehalt, Temperatur, Sichttrübe, Windgeschwindigkeit, usw.
- Verkehrstechnik
Verkehrsdatenerfassung (Verkehrsaufkommen, Geschwindigkeit, usw.)
Wechselverkehrszeichenanlage, Ampelsteuerung, usw.
- Sicherheitstechnik
Brandmeldeanlage, Einbruch/Sabotage-Meldeanlage, Notrufstationen, Lautsprecheranlage, usw.

mit unterschiedlichsten Steuerungssystemen, die untereinander „von ihrer Existenz nicht einmal etwas ahnen“.

Leider existieren bis zum heutigen Tage kaum Wechselbeziehungen zwischen diesen Systemen. Lediglich eine übergeordnete Visualisierung ist in größeren Tunnelprojekten anzutreffen, die jedoch nur Daten anzeigt, aufarbeitet und abspeichert, jedoch keine Kommunikation oder Reaktion untereinander zulässt.

Es sollte hierbei noch einmal betont werden, dass alle Steuerungen autark bleiben sollen und alle sicherheitsrelevanten Beziehungen „fest verdrahtet“ unter Umgehung einer übergeordneten Rechneinheit ablaufen müssen, um Unsicherheitsfaktoren und Reaktionszeiten zu minimieren.

Dass beispielsweise im Falle eines Brandalarms die Beleuchtung voll eingeschaltet werden muss, ist in jedem Falle sicherzustellen. Jedoch könnte aber bei einer leicht erhöhten CO-Konzentration nicht nur die Lüfterleistung erhöht werden, sondern auch sukzessive die Geschwindigkeit über Wechselverkehrszeichen herabgesetzt und umgekehrt stufenlos das Beleuchtungsniveau heraufgesetzt werden.

Einige Beziehungen, wie die verkehrsabhängige Beleuchtungsregelung oder die Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bei Überschreitung einer maximal ausgelegten Umfelleuchtdichte (z.B. an einem sonnigen Wintertag mit hohen Reflexionen durch Schnee) sind bereits eingesetzt worden. Der Weg zur Optimierung der gesamten Tunneltechnik kann jedoch nur über eine zentrale Recheneinheit laufen, die mit sämtlichen Steuerungen kommuniziert und die notwendigen Algorithmen aller gewerkübergreifenden Abläufe verwaltet und entsprechend reagiert.

3.2. Auswertung

Das rechnergestützte Sammeln und Abspeichern von lichttechnisch relevanten Größen in der Tunnelbeleuchtungstechnik wird zwar schon heute an vielen Tunneln neueren Datums praktiziert, jedoch ist kaum jemand in der Lage, die Zahlenkolonnen und Grafiken richtig zu interpretieren. Dass gar ein Projekt anhand dieser Auswertungen richtig optimiert wird, ist bis dato kaum vorstellbar.

In den Neunzigern wurde bei derartigen Problemen schnell der Ruf nach einem Expertensystem laut. Ein System also, das in der Lage ist, mittels einer Wissensbasis, einen Problemkomplex zu lösen und die erarbeiteten Lösungsansätze wiederum in die Wissensbasis einzuarbeiten.

Im vorliegenden Falle nun gleich nach einem derartigen universellen Expertensystem zu verlangen, ist sicher nicht zwingend notwendig, jedoch sollte eine Standardsoftware geschaffen werden, die in der Lage ist, lichttechnische Daten zu sammeln, zu visualisieren und abzuspeichern, aber auch Optimierungsansätze im Dialog mit dem Anwender und der Beleuchtungsregelung zu erarbeiten.

Weiterhin ist es an der Zeit, Gütemerkmale für Neu- und Sanierungsprojekte zu schaffen. Hiermit sind wohlgerne Gütemerkmale in Hinsicht auf Energie- und Kosteneinsparung gemeint. Man muss wissen, dass anders als bei sonstigen öffentlichen oder privatwirtschaftlichen Energieoptimierungsprojekten, bei der Planung und Realisierung eines Tunnelprojektes keine erfolgsabhängige Vergütung in Hinblick auf das spätere Kosteneinsparpotential erfolgt.

Es ist also notwendig, Tunnels mittels eines Kennzahlensystems zu kategorisieren, um Bauwerke unterschiedlicher Länge, Bebauung, geografischer Ausrichtung, Verkehrslage, usw. vergleichbar zu machen.

Integriert in ein zu schaffendes Softwareprogramm, würde dieser Maßnahmenkatalog eine übergeordnete Optimierung aller Gewerke bewirken, die mittels einer stetig wachsenden Wissensbasis und der erwähnten Kennzahlen eine

Vereinheitlichung und Vergleichbarkeit sämtlicher Tunnels schafft. Nur so ist anschließend ein Ranking möglich, um zukünftig den Nutzen eines Tunnelprojektes hinsichtlich der Energie- und Kostenoptimierung offenzulegen.

Planung und Bewertung sowie Rekonstruktion von Tunnelbeleuchtungsanlagen mit Hilfe der Bildauflösenden Leuchtdichtemeßtechnik

Andreas Forkert

1. Die Sehbedingungen bei Tunneldurchfahrt

Beim Durchfahren eines Straßentunnels am Tag kommt es durch den starken Wechsel der Leuchtdichten zu komplizierten Sehbedingungen. Physiologische und psychologische Einwirkungen der Leuchtdichte und insbesondere der Leuchtdichteveränderung sind Ursachen dafür.



Abb. 1: Mit dem Meßverfahren erhaltenes Leuchtdichtebild

Tunnelbeleuchtungsanlagen müssen für das Erkennen von Gefahrensituationen und damit für die Sicherheit beim Durchfahren des Tunnels sorgen. Die Bewertung der Einhaltung der lichttechnischen Kenngrößen bestehender Beleuchtungsanlagen ist eine wichtige Aufgabe im Verlauf von Wartung und Rekonstruktion eines Tunnels. Für diesen Zweck eignet sich in besonderer Weise das im Artikel vorgestellte Verfahren der Bildauflösenden Leuchtdichtemeßtechnik.

Dipl.-Ing. Andreas Forkert
LICHT Design Management
Krankenhausstraße 1
D-04668 Klinga bei Leipzig

Der Fahrer eines Fahrzeuges erlebt bei der Durchfahrt eines Tunnels nacheinander folgende Erlebnisse: Fahrt bei Tageslicht und mit hohen Leuchtdichten – Erreichen der dunklen Tunnelleinfahrt (niedrige Leuchtdichten) – Tunneldurchfahrt bei niedrigen Leuchtdichten – Tunnelausfahrt (hohe Leuchtdichten). Vor und während der Einfahrt und damit im Übergang von hohen zu niedrigen Leuchtdichten wirken zum einen die in diesem Moment vorherrschenden Streuleuchtdichten kontrastmindernd für das Erkennen von Einzelheiten im Tunnel, zum anderen findet eine Dunkeladaptation des Auges statt. Bestimmte Mindestleuchtdichten und Leuchtdichteverläufe in den einzelnen Tunnelbereichen sollen Gefahren trotz dieser Effekte erkennbar machen (Tabelle 1).

nach Vorschrift	Beleuchtungsart	Leuchtdichtenniveau in der		
		Einstrecke	Übergangsstrecke (Leuchtdichte-Zeit-Kurve)	Innenstrecke
DIN 67 524 1987		100...250 cd/m ²	$L_U(t) = L_e \cdot (1+t)^{-1.3}$	$\geq 6 \text{ cd/m}^2$
SEV 8915.1992	symmetrisch gegenstrahlend	$L_e = (0,03...0,04) \cdot L_{20}$ $L_e = (0,015...0,02) \cdot L_{20}$	$L_U = L_e \cdot (1,9+t)^{-1.4}$	1...3 cd/m ²
CIE 26.2 1989	symmetrisch gegenstrahlend	$L_e = 0,05 \cdot L_{20}$ $L_e = 0,04 \cdot L_{20}$	$L_U = L_e \cdot (1,9+t)^{-1.4}$	1...3 cd/m ²

Tab. 1: Richtwerte für die Beleuchtung von Teilstrecken im Tunnel unter folgenden Bedingungen: Geschwindigkeit = 50 km/h (DIN) bzw. 60 km/h (SECV) bzw. Haltesichtweite = 60 m (CIE);
Verbauung B, normale Bedingungen nach DIN; mit Gegenverkehr.
Weitere Kenngrößen sind Gesamtgleichmäßigkeit und Längsgleichmäßigkeit der Leuchtdichten.

2. Meßverfahren

Das bildauflösende Leuchtdichtemeßgerät besteht aus einer CCD-Kamera und einem PC mit entsprechender Software und Interfacekarte. Die Kamera ist über Filter, Korrekturfaktoren und spezielle Meßabläufe für die Leuchtdichteermittlung modifiziert. Das System ist transportabel ausgeführt, somit können Labormessungen und Messungen vor Ort durchgeführt werden.

Während der Messung werden von verschiedenen Standorten aus Leuchtdichtebilder einer beliebig zu wählenden Szene aufgenommen und abgespeichert. Über die Einstellung verschiedener Integrationszeiten bzw. über die Auswahl programmierter Meßabläufe können Meßbereich und Dynamik der Bilder optimiert werden.

In ein auf diesem Wege erhaltenes Leuchtdichtebild können per Rechentechnik vom Anwender Meßregionen eingefügt werden. Zur jeweiligen Meßregion können die Lage sowie Mittelwert, Minimalwert und Maximalwert der Leuchtdichte ausgegeben werden. Die Daten können abgespeichert und in einem Protokoll ausgedruckt werden.

3. Durchführung einer Tunnelmessung

Am Butterbergtunnel auf der B 241 im Harz wurden jeweils an den Tunnelteilstrecken Meßbilder aufgenommen.

Im Meßbild der Annäherungsstrecke kann die von der CIE vorgeschlagene Annäherungsstrecken-Leuchtdichte L_{20} ermittelt werden. Dazu wird eine kreisförmige Meßregion, die dem 20°-Sehfeld des Fahrers entspricht, definiert. Der Mittelwert der Meßpunkte dieser Region entspricht der gesuchten Leuchtdichte. In einer Messung sind somit Leuchtdichtedaten und Anordnungsdaten zu den jeweiligen Meßpunkten hinterlegt.

Dementsprechend kann nach DIN die äquivalente Schleierleuchtdichte $L_{s\ddot{a}q}$ ermittelt werden, dieser Meßwert ist jedoch ohne Einfluß für die Auslegung der Beleuchtungsanlage (siehe DIN). Im Meßbild der Einsichtstrecke können die Leuchtdichten von Straßenbelag und von Tunnelwänden nach Definition von entsprechenden Meßflächen gewonnen werden. Die Anordnung spezieller Meßpunkte auf dem Straßenbelag läßt die Angabe von Längsgleichmäßigkeit und Gesamtgleichmäßigkeit zu.

In den Meßbildern der Übergangsstrecke kann die örtlich unterschiedliche Verteilung der Leuchtdichte bewertet werden. Dazu müssen während der Messung vor Ort Beginn und Ende des Tunnelabschnittes markiert werden.

	Meßwert [cd/m ²]	Forderung nach DIN [cd/m ²]
L_e	166	100 ... 250
$L_{\ddot{u}}$ bei $t = 2$ s	1,47 bei $x = 28$ m	39,8
$L_{\ddot{u}}$ bei $t = 4$ s	4,8 bei $x = 56$ m	20,5
$L_{\ddot{u}}$ bei $t = 6$ s	2,4 bei $x = 83$ m	13,2
L_i	5,2	≥ 6

Tab. 2: Vergleich Meßwerte mit Forderungen

Die Meßwerte der aufgenommenen Meßbilder der Beispielmessung sind in Tabelle 2 mit den Forderungen der Vorschriften verglichen. Im Ergebnis der Beispielmessung stellten wir fest, daß die erreichten Leuchtdichten zu gering sind.

Wir empfehlen für die Gewährleistung der Sicherheit die Neueinstellung der Steuerung der Anlage (separat für beide Tunnelseiten) und für einen Übergangszeitraum die Verringerung der Geschwindigkeit in der Anfahrstrecke.

Bewertet wurden im beschriebenen Fall mehrere statisch erhaltene Einzelbilder mit jeweils sehr umfangreichem Informationsgehalt. Auf der Grundlage des Meßverfahrens sind derzeit beim Gerätehersteller Untersuchungen über eine Meßmethode in Arbeit, bei der aus dem fahrenden Fahrzeug heraus Meßbilder gewonnen werden können.

4. Bewertung des Meßverfahrens

In bisher üblichen Meßverfahren werden Einzelsensoren eingesetzt. Durch den Einsatz einer CCD-Kamera (und damit einer Matrix von Einzelsensoren) sind in kürzerer Zeit wesentlich mehr Informationen und Zusammenhänge aufnehmbar. Die Vorteile der Bildauflösenden Leuchtdichtemeßtechnik:

1. Der zeitliche Aufwand zur Messung kann wesentlich reduziert werden.
2. Im Meßbild sind Informationen über den geometrischen Zusammenhang der einzelnen zu vermessenden Punkte bereits enthalten. Fehlerquellen bei Meßwertaufnahme werden vermieden.
3. Alle Meßdaten werden zum gleichen Zeitpunkt gewonnen (die Konstanz der Lichtverhältnisse ist für alle Werte eines Bildes gegeben).
4. Die Speicherung von Aufnahmeszenen erlaubt das Reproduzieren der Messung.
5. Die rechentechnische Anbindung der CCD-Kamera gestattet eine einfache Berechnung von Leuchtdichten abgeleiteter Parameter und deren Protokollierung.
6. Bemerkung zur Meßtechnik: Die gespeicherten Daten sind nicht manipulierbar.

Verfahren der bildauflösenden Meßtechnik werden sich in Zukunft in der Lichttechnik auf Grund ihrer immensen Vorteile durchsetzen und etablieren.

Erstellung eines elektronischen Katalogs für Außenleuchten

Olaf Grundmann, Klaus Heiß, Jan Reinhardt

Einleitung:

Der elektronische Katalog der Firma HELLUX basiert auf einer Datenbank, die zwei wesentliche Funktionen hat :

- EULUMDAT-Dateien und Bestell-Nummern für alle Artikel automatisch zu erzeugen und zu verwalten.
- Umfassende Verwaltung von Eigenschaften einer Leuchte, die nicht vom EULUMDAT-File beschrieben werden, z. B. Einsatzgebiet der Leuchte, Maßskizzen, Produkt- und Anlagenphoto der Leuchte, Ausschreibungstexte, etc. Diese Felder dienen u.a. für Suchkriterien, so daß durch Auswahl der gewünschten Eigenschaften, die in Frage kommende Leuchte mit Artikelnummer schnell gefunden werden kann und eine leuchtenspezifische Information sofort zur Verfügung steht.
- Über eine Softwareschnittstelle ist ein Export von Graphiken und Texten in WINDOWS-Anwendungen, z. B. in Ausschreibungstexten und Präsentationen jederzeit möglich.

Es ist damit möglich, eindeutig, reproduzierbar und mit minimalem administrativem Aufwand bei der Erfassung und Pflege der Daten, für jeden Artikel alle notwendigen Informationen zu erfassen, zu strukturieren und zu verwalten: sowohl zum Erzeugen von EULUMDAT-Files als auch als Datenbasis für den elektronischen Katalog. Damit steht ein vollständiger und aktueller Datenbestand jederzeit zur Verfügung.

Durch die Vorteile einer relationalen Datenbank werden nur tatsächlich unterschiedliche Eigenschaften und Informationen einer Leuchte erfaßt (entspricht mathematisch einem System linear unabhängiger Basisvektoren). Eine Redundanz kann damit (bei geeignetem und intelligentem Design der Datenbank) vermieden werden. Informationen müssen somit nicht mehrfach erfaßt werden, was

Dipl.-Ing. Olaf Grundmann
Wittstocker Str. 21
D-10553 Berlin

Dipl.-Ing. Klaus Heiß
Relux Informatik AG
Dornacher Str. 37
CH-4018 Basel

Dr.-Ing. Jan Reinhardt
HELLUX LEUCHTEN GMBH
Mergenthaler Str. 6
D-30880 Laatzen

den administrativen Aufwand und Fehlerquellen minimiert sowie in sich widersprüchliche Aussagen innerhalb der Datenbank verhindert.

Es wurde sowohl bei der Erstellung als auch bei der Pflege der Datenbank eine extrem kostengünstige firmenspezifische Lösung realisiert, die allen modernen Anforderungen einer Software genügt.

Die Datenbank beinhaltet i.w. folgende Funktionalitäten, die jeweils über eigene Formulare in die ACCESS-Datenbank eingetragen werden.

Elemente der Datenbank:

1. Meßprotokolle

Alle aus dem Labor stammenden Meßprotokolle, die Serienleuchten beschreiben, werden erfaßt. Die im Format EULUMDAT vorliegenden Files wurden zuvor mit einem Programm bearbeitet, das die Direktnutzlichtströme, den Leuchtenbetriebswirkungsgrad und den unteren halbräumlichen Lichtstrom in das File schreibt. Aus den Meßprotokollen vom Meßlabor werden neben der Betriebslichtstärkeverteilung die Informationen

- Datum / Sachbearbeiter (Feld Nr. 12)
- Meßprotokollnummer (Feld Nr. 8)
- Meßneigung (Feld Nr. 25)

später in die EULUMDAT-Files übernommen. In den beiden Kommentarfeldern Nr. 8 und Nr. 12 werden auch event. spätere Änderungen, wie ein Symmetrieren der Meßdaten dokumentiert.

Die Datenbank füllt direkt dann alle weiteren Felder der EULUMDAT-Datei.

2. Gehäuse

Für jede Familie werden die zugehörigen Abdeckungen und auch möglichen Leuchtmittel definiert, ebenso die zulässigen Reflektoren mit lichttechnischer Charakteristik als Funktion der Baustufe. Unsinnige Eingaben beim Erzeugen eines Artikels lassen sich so schon im Ansatz vermeiden. Ein String, jeweils für das Gehäuse, die Baustufe und die lichttechnische Charakteristik des Reflektors, sind Teile der hier automatisch erzeugten Artikelnummer.

a) Die Erfassung der Leuchtenabmessungen wie Länge, Breite und Höhe, wobei jede Baustufe der Leuchte andere Abmessungen haben kann, erfolgt als ein Datensatz pro Familie. Dieser wird dann in die Files aller Artikel der zugehörigen Familie geschrieben:

- Länge und Breite (Felder Nr. 13 und 14).
- Höhe (Feld Nr. 15)

Neben der Höhe des Leuchtenkörpers ist noch die Höhe des Glases sowie Montageart und Einbautiefe zu berücksichtigen. Die Gesamthöhe wird dabei als kombinierte Höhe aus Leuchtenkörper und Glas definiert.

b) Über die Anforderungen für das Erzeugen von EULUMDAT-Files hinaus werden erfaßt:

- Einsatzbereich der Leuchte
- Produktgruppe
- Gehäuseform
- Defaulthöhe und -neigung der Leuchte
- Befestigungsmaß
- technische Eigenschaften wie Schutzart und Schutzklasse

Diese werden als Defaulteigenschaften für die gesamte Familie definiert, wobei Abweichungen bei einzelnen Artikeln möglich sind, aber als solche beim Erzeugen des Artikels berücksichtigt werden müssen.

3. Befestigungstypen

Jeder Familie sind die möglichen Befestigungstypen (Mastaufsatz mit Zopfdurchmesser, Rohransatz mit Ansatzmaßen, etc.) zugeordnet. Ein String für den Befestigungstyp ist ein Teil der Artikelnummer, die hier automatisch erzeugt wird.

4. Gläser

Erfassung von Abdeckungen und Gläsern, die in den Serienleuchten zum Einsatz kommen. Ein String für das Glas ist ein Teil der Artikelnummer, die hier automatisch erzeugt wird.

a) Die Abmessungen der Gläser, unter Berücksichtigung der Montageart, bestimmen die leuchtenden Flächen (Felder Nr. 18 bis 21). Gemeinsam mit der Höhe des Leuchtenkörpers ist so die Gesamthöhe der Leuchte bestimmt (Feld Nr. 15).

b) Des weiteren die Form der Abdeckung, das Material, die Oberfläche, etc. Diese Felder dienen der Dokumentation und können auch als Suchkriterium Verwendung finden.

5. Lampen

Es liegt eine umfangreiche Lampentabelle vor, die alle wesentlichen Informationen über das Leuchtmittel enthält. Strings für den Lampentyp und das Leuchtmittel sind jeweils ein Teil der Artikelnummer, die hier automatisch erzeugt wird.

a) Hier werden die Bestückungen (Felder Nr. 26.a) bis 26.f)) erzeugt. Die Werte für Lampentyp, gesamter Nennlichtstrom, Lichtfarbe/Farbtemperatur, Farbwiedergabestufe werden dann in das EULUMDAT-File geschrieben.

Die gesamte Nennleistung ist definiert als Nennleistung der Lampe(n) + Verluste im Vorschaltgerät (vergl. Pkt. 6).

In der Datenbank sind gleichartige Lampen mit unterschiedlichem Lichtstrom und Lichtfarbe zu einer Familie gruppiert.

Bis zu drei Bestückungen werden dann automatisch in die EULUMDAT-Datei geschrieben.

b) Die Datenbank erfaßt weitere, im Rahmen von EULUMDAT nicht benötigte Eigenschaften, der Lampe, wie Sockel, Bezeichnung ZVEI und ILCOS sowie ein String für das Generieren der Artikelnummer.

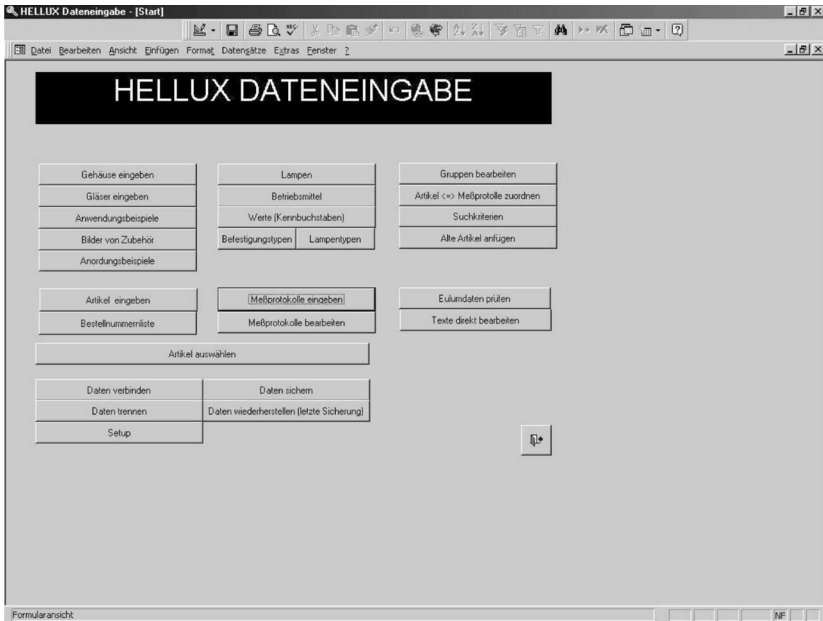


Abbildung 1: Datenbank – Hauptoberfläche

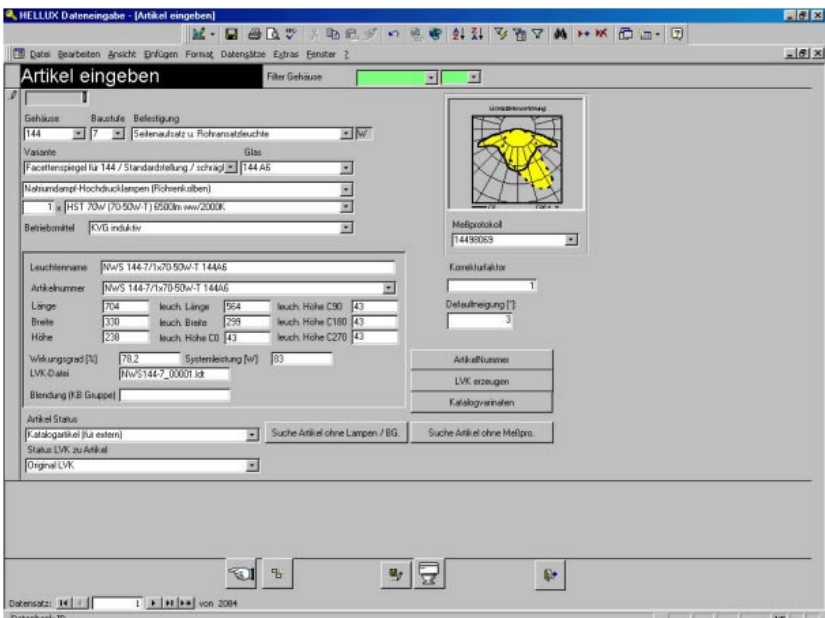


Abbildung 2: Datenbank – Artikel-Eingabe

6. Betriebsmittel

a) Es liegt eine Tabelle vor, die für jedes Leuchtmittel das zugehörige Betriebsmittel (KVG, VVG, EVG, Trafo oder auch ohne Betriebsmittel) und wenn nötig, auch in der Eigenschaft induktiv oder kompensiert), definiert. Aus der Nennleistung des Leuchtmittels und der Verlustleistung im Betriebsmittel (wenn nötig auch in der Eigenschaft induktiv oder kompensiert) wird die effektive Gesamtleistung des Leuchtmittels bestimmt.

b) Die Erfassung des Betriebsmittels ermöglicht es auch, in der Datenbank direkt nach Leuchten mit induktivem oder kompensiertem VG oder EVG zu suchen.

7. Beispiele von Anwendungen, Anordnungen und Bildern von Zubehör werden in eigenen Formularen erfaßt und sind der Leuchtenfamilie mit einer 1:n-Beziehung zugeordnet. Für jedes Bild wird ein beschreibender Text sprachrelevant registriert. Im elektronischen Katalog erfolgt dann die Ausgabe in der vom Benutzer gewählten Sprache.

8. Ausschreibungstexte werden strukturiert und sprachrelevant erfaßt, so daß für alle Leuchten ein spezifischer Text in standardisierter Form erzeugt wird (in der vom Benutzer ausgewählten Sprache).

9. Artikel eingeben

a) Die Kombination von Gehäuse (in Abhängigkeit von der Baustufe) + Reflektor + Leuchtmittel + Abdeckung legt lichttechnisch eindeutig einen Artikel fest. Diesem Artikel wird ein Meßprotokoll zugeordnet, wobei ein Korrekturfaktor, z.B. unterschiedliche Transmissionsgrade der Abdeckung gegenüber dem bei der Messung im Labor verwendeten Material berücksichtigt.

Die Anzahl der vom Labor zu messenden Artikel, wird somit auf das notwendige Maß reduziert. Für diesen lichttechnisch eindeutigen Basisartikel wird eine LVK erzeugt und ein vollständiges EULUMDAT-File generiert.

Die Erzeugung der Basisartikelnummer für die EULUMDAT-Datei ist eindeutig, reproduzierbar und enthält alle notwendigen Informationen. Aus den vorher erfaßten Eigenschaften wird die Artikelnummer automatisch generiert und in die EULUMDAT-Datei geschrieben.

b) Weitere Variationen des Artikels, die nicht mehr die Lichttechnik betreffen (z.B. Schutzart, Schutzklasse, Kompensation oder EVG, Möglichkeit des Einbaus einer Leistungsreduzierung, Farbe, etc.) werden als Varianten definiert. Durch Auswahl dieser Eigenschaften (die entsprechenden Möglichkeiten sind in der Datenbank hinterlegt) erhält der Anwender die vollständige Artikelnummer gemäß seinen Vorgaben generiert und im Datenblatt dokumentiert.

In die EULUMDAT-Datei (Feld Nr. 10) wird die Basisartikelnummer geschrieben.

c) Über das Formular „Gruppen erzeugen“ können die Eigenschaften der Artikel aus der Datenbank aktualisiert werden (Änderungen von irgendwelchen Eigenschaften in der Datenbank werden dann automatisch auf den neuesten Stand gebracht und die entsprechenden Tabellen neu geschrieben). Weiterhin können dann auch alle EULUMDAT-Files einer Familie automatisch neu erzeugt werden.

10. Tools für die Datenverwaltung

Die Datenbank bietet, entsprechend den Möglichkeiten ihrer relationalen Struktur (über das Tool einer Aktualisierungsabfrage), einfach die Fähigkeit, Eigenschaften einer Familie zu aktualisieren (z.B. nach Änderungen für alle ausgewählten Artikel einer Familie einen neuen Einsatzbereich zu definieren, allen Artikel, die auf einem Meßprotokoll basieren, ein neues Meßprotokoll zuzuweisen, etc.). Ferner können leicht Übersichtstabellen mit allen Eigenschaften einer Leuchtenfamilie erstellt werden.

Zusammenfassung :

Die hier vorgestellte Datenbank ist die Basis für eine Katalogoberfläche /Lit. 1/. Zu jedem Artikel wird ein Datenblatt mit Ausschreibungstext, Bild der Leuchte und damit realisierten Objekten, Maßskizzen und Zubehörartikeln sowie sonstigen wichtigen Informationen automatisch generiert. Die lichtechnischen Eigenschaften und die Gütekriterien unter Standardbedingungen werden graphisch oder tabellarisch dargestellt.

Weiterhin ist diese Datenbank die Datenbasis für die Einbindung der Daten in ein Programm zur Planung von Beleuchtungsanlagen /Lit. 2/.

Literaturnachweis:

1. Grundmann, O., Heiß, K., Kugel, E., Reinhardt, J.: Software zur Präsentation der Eigenschaften einer Leuchte im Außenbereich. Tagungsband Licht 2000, Goslar.
2. Kugel, E., Reinhardt, J., Rönitzsch, H.: Neuartige Software zur Planung der Außenbeleuchtung. Tagungsband Licht 2000, Goslar – S. 202.

Software zur Präsentation der Eigenschaften einer Leuchte im Außenbereich

Olaf Grundmann, Klaus Heiß, Jan Reinhardt

Einleitung:

Der elektronische Katalog der Firma HELLUX basiert auf einer Datenbank /Lit. 1./, wobei eine moderne Oberfläche unter WINDOW 9.x deren Informationen anschaulich visualisiert sowie eine umfassende lichttechnische Darstellung und Bewertung der Leuchten ermöglicht. Damit wird es jedem Anwender, Planer und Außendienstmitarbeiter, auch ohne eine umfassende lichttechnische Ausbildung, möglich:

- sofort die von ihm gewünschte Leuchte zu finden
- eine Dokumentation für die Leuchte zu erstellen
- den Nachweis der lichttechnischen Eigenschaften im direkten Zugriff zu haben
- eine lichttechnische Optimierung unter individuellen Randbedingungen auch schon beim Verkaufsgespräch durchführen zu können
- eine lichttechnische Planung unter Standardbedingungen zu erstellen und die Ergebnisse sofort zu dokumentieren
- über eine Softwareschnittstelle ist ein Export von Graphiken und Texten in WINDOWS-Anwendungen, z. B. in Ausschreibungstexten und Präsentationen jederzeit möglich.

Somit ist das firmenspezifische Know-how über Standardartikel nicht mehr personengebunden und steht dem Anwender zur Verfügung. Dieser kann sich konkret informieren und dann wesentlich gezielter und effizienter noch ausstehende Fragen bei der Firma klären. Das bedeutet eine wesentlich bessere Transparenz und gleichzeitige Entlastung des Vertriebs von vielen innerbetrieblichen Routineaufgaben.

Elemente des elektronischen Katalogs:

1. Oberfläche der Startseite

a) Nach Starten der Katalog-Software erscheint eine Oberfläche, die zunächst einmal alle Artikel in einer Combobox darstellt. Wie in einem klassischen Katalog

Dipl.-Ing. Olaf Grundmann
Wittstocker Str. 21
D-10553 Berlin

Dipl.-Ing. Klaus Heiß
Relux Informatik AG
Dornacher Str. 37
CH-4018 Basel

Dr.-Ing. Jan Reinhardt
HELLUX LEUCHTEN GMBH
Mergenthaler Str. 6
D-30880 Laatzen

kann Familie für Familie durchgeblättert werden. Zu jedem Artikel erscheinen folgende Informationen:

- Bestückung mit Anzahl der Lampen und Leuchtmittel sowie Nennleistung, Wirkungsgrad und der Name der zugehörigen Datei EULUMDAT.
- Abmessungen der Leuchte
- Produktbild der Leuchte
- Maßskizze
- LVK
- Ausschreibungstext

Für den in der EULUMDAT beschriebenen, lichttechnisch eindeutigen Artikel erscheinen weitere Varianten, die für diesen Artikel möglich sind:

- Schutzart und Schutzklasse
- Betriebsmittel
- alternative Gläser, die lichttechnisch gleichwertig sind
- Möglichkeit der Leistungsreduzierung

Nach Auswahl dieser Varianten wird aus der lichttechnisch eindeutigen Artikelnummer die vollständige Artikelnummer generiert, die die Leuchte (bis auf die Farbe), also elektrisch, lichttechnisch und bauartmäßig eindeutig beschreibt.

b) Es ist auf der Startseite ein Button „Suchen“ implementiert. Die Darstellung, welche einem klassischen gedruckten Katalog entspricht, wird somit eine technische Darstellung, und geht über auf ein EDV-spezifisches Suchen über Datenbankkriterien.

Es können bis zu 5 Suchkriterien gleichzeitig ausgewählt werden, verknüpfbar über eine logische „UND“ bzw. „ODER“ Beziehung. Aus einer Vielzahl von Kriterien können bis zu 5 ausgesucht werden, entsprechend den Anforderungen und Wünschen des Anwenders.

Suchkriterien sind z.B. Anwendungsgebiet, Lampentyp oder -leistung, etc. Für jedes dieser Suchkriterien ist eine Combobox mit Eigenschaften hinterlegt, nach denen dann gesucht werden kann.

Das Ergebnis der Suche wird in einer Combobox angezeigt. Dort erscheinen die Artikel, die dem Anforderungsprofil entsprechen. Aus dieser Liste wird dann ein Artikel ausgewählt.

c) Auf der Startseite sind verschiedene Buttons implementiert, die weitergehende Informationen zum gewählten Artikel liefern. Die in Punkt 2 beschriebenen Themen können wie folgt ausgewählt werden.

2. Gliederung und Darstellung der weiteren Informationen

2.1 Kapitel „Info-Katalog“

Hier wird eine allgemeine Information über die Produkte, den Aufbau des Nummernsystems, etc. gegeben.

2.2 Kapitel „Lichttechnik“

Hier werden alle lichttechnischen Eigenschaften der Leuchte dargestellt. Das Layout, kann benutzerspezifisch modifiziert werden, ebenso alle Parameter für die lichttechnischen Ausgaben und Berechnungen. Auf jeder Seite erfolgt eine Dokumentation über die Bestückung mit Lampe und Gesamtlichtstrom, Betriebswirkungsgrad, Meßneigung, Blendungsbewertung und Dateiname. Der Inhalt nachfolgender Registerkarten kann auf den Drucker oder elektronisch im Format WINDOWS Meta-File (WMF) abgespeichert werden.

2.2.1 Registerkarte „Polardiagramm“

Die LVK wird als Polardiagramm dargestellt. Die Winkelteilung, die auszugehenden C-Ebenen sowie die Darstellung über farbige oder gestrichelte Linien kann ebenfalls vom Benutzer ausgewählt werden.

2.2.2 Registerkarte „Isoluxdiagramm“

Hier wird die Isoluxkurve der Leuchte dargestellt, wobei der Anwender Lichtpunkthöhe und die Winkel von Neigung, Schwenkung und Orientierung sowie den Maßstab beim Ausdruck vorgeben kann. Diese Informationen werden auf der Ausgabe dokumentiert.

2.2.3 Registerkarte „LVK-Tabelle“

Hier wird die Lichtstärkeverteilung tabellarisch ausgegeben.

2.2.4 Registerkarte „Bodenbeleuchtungskurve“

Hier werden die Bodenbeleuchtungskurven für bis zu 3 frei wählbare Lichtpunkthöhen dargestellt. Die Lichtpunkthöhen kann der Anwender ebenso vorgeben wie die Länge des Bereiches. Es kann eine lineare oder logarithmische Darstellung gewählt werden. Bei den folgenden Ausgaben werden die Lichtpunkthöhen, erstmalig nach dem Aufruf der Registerkarten, auf leuchtenspezifische Standardwerte aus der Datenbank gesetzt.

2.2.5 Registerkarte „Planungshilfe Beleuchtungsstärkeverteilung“

Für eine frei wählbare Lichtpunkthöhe werden, für drei einstellbare Straßenbreiten die nach DIN 5044 berechneten Ergebnisse E_{mittel} , g_1 und g_2 , als Funktion des Lichtpunktabstands dargestellt. Alternativ können auch eine frei wählbare Straßenbreite und 3 Lichtpunkthöhen graphisch dargestellt werden.

In einer Tabelle werden diese Ergebnisse für je 3 frei wählbare Straßenbreiten und 3 Lichtpunkthöhen gezeigt.

Sowohl die Lichtpunkthöhen, die Straßenbreiten, der Lichtpunktüberhang als auch die Art der Aufstellung (einseitig, gegenüber oder versetzt) können vom Anwender ausgewählt werden. Die Aufstellung der Leuchte wird in der Ausgabe vollständig dokumentiert.

2.2.6 Registerkarte „Planungshilfe Leuchtdichtevertelung“

Analog zur Planungshilfe Beleuchtungsstärkeverteilung können hier die Ergebnisse der Leuchtdichteberechnung nach DIN 5044 bestimmt werden. Die Aus-

gabe der mittleren Leuchtdichte, der Längs- und der Gesamtgleichmäßigkeit erfolgt analog. Diese Berechnung kann für die Beobachter 1 und 2 durchgeführt werden. Zusätzlich wird der gewählte Werte für q_0 dokumentiert.

2.2.7 Registerkarte „Kegeldiagramm“

Ist es lichttechnisch sinnvoll, ermöglicht das Programm, die LVK als Kegeldiagramm darzustellen. Die Werte der Beleuchtungsstärke (über die Kreisfläche gemittelt, am Rande und unter Null) werden für verschiedene Abstände berechnet und ausgegeben.

2.2.8 Registerkarte „kartesisches Diagramm“

Die LVK kann als kartesisches Diagramm dargestellt werden. Dabei gibt der Anwender die C-Ebenen und den darzustellenden Bereich an.

2.2.9 Registerkarte „Beleuchtungsstärkeverteilung“

Für regelmäßige Anordnung der Leuchte mit wählbarer Anordnung und Lichtpunktüberhang werden in einem Bewertungsfeld nach DIN 5044 für eine vorgegebene Breite und Lichtpunktstand die Ergebnisse der Beleuchtung (E_{mittel} , g_1 und g_2) tabellarisch und als Isoluxlinie dargestellt.

2.2.10 Registerkarte „Leuchtdichteverteilung“

Für regelmäßige Anordnung der Leuchte mit wählbarer Anordnung und Lichtpunktüberhang werden in einem Bewertungsfeld nach DIN 5044 für eine vorgegebene Breite und Lichtpunktstand die Ergebnisse der Beleuchtung (mittlere Leuchtdichte, Längs- und der Gesamtgleichmäßigkeit) tabellarisch und als Isoluxlinie dargestellt (für Beobachter 1 und 2). Zusätzlich wird der gewählte Werte für q_0 dokumentiert.

2.2.11 Registerkarte „Übersicht“

Die lichttechnische Übersicht stellt auf einem Blatt gemeinsam graphisch dar: die Planungshilfen für Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte, die LVK sowie das Isoluxdiagramm. Defaulthöhe und -neigung werden durch Werte aus der Datenbank vorgegeben.

2.3 Kapitel „Datenblatt“

Auf dem Datenblatt wird eine Druckvorschau des Datenblatts der Leuchte gezeigt. Das Datenblatt enthält die Elemente: Photo, Maßskizze, Ausschreibungstext (kann auf Bildschirm gezoomt werden) und LVK. Hiermit wird für jeden Artikel ein spezifisches Datenblatt generiert. Dort werden die Bestückung, der Lichtstrom, der Leuchtenbetriebswirkungsgrad und der Dateiname dokumentiert, wobei die Zugehörigkeit zur Familie im Ausdruck betont wird.

2.4 Kapitel „Zubehör“

Hier werden eine oder mehrere Darstellungen von Zubehör für die Leuchte gezeigt und mit einem Text beschrieben. Je nach gewählter Sprache erscheint dieser Text dann Deutsch oder Englisch.

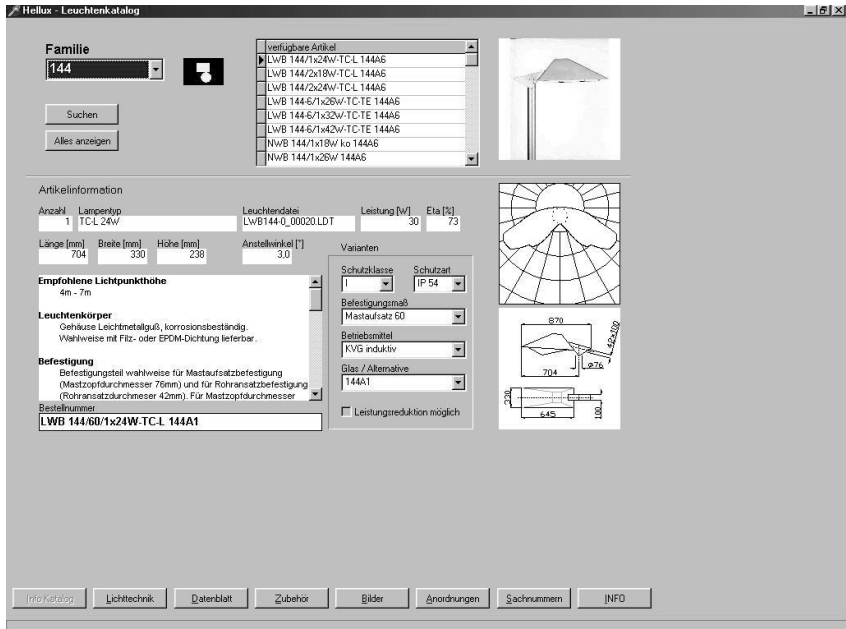


Abbildung 1: Oberfläche elektronischer Katalog

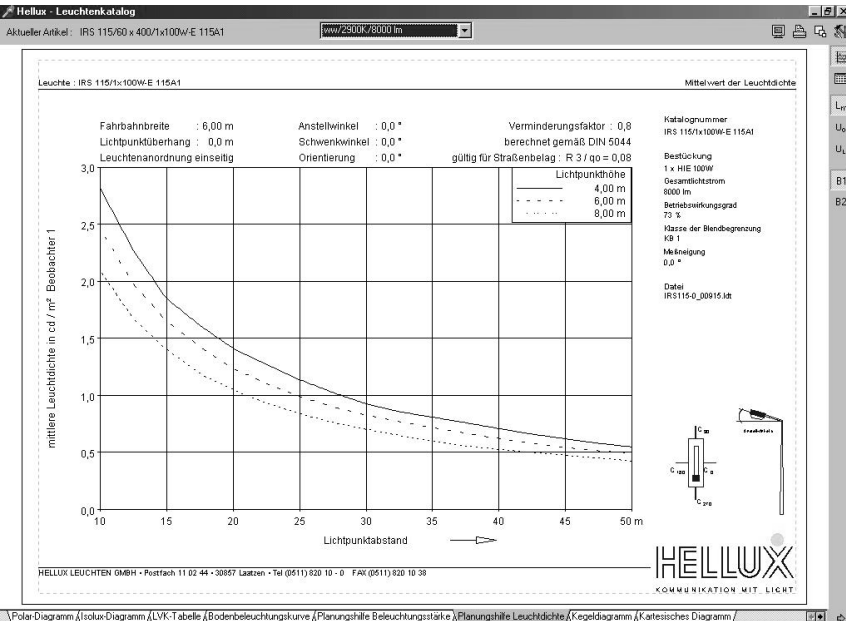


Abbildung 2: Graphische Darstellung der Planungshilfen

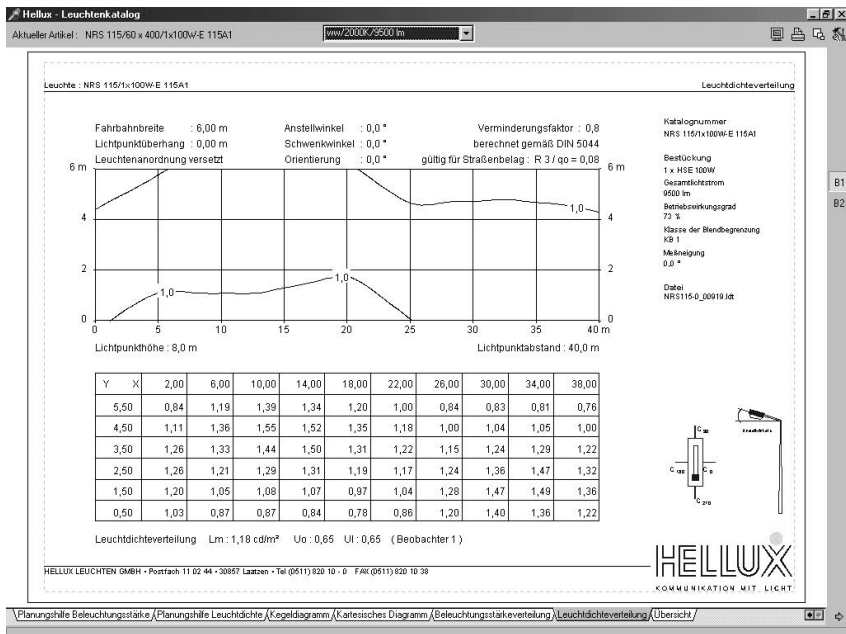


Abbildung 3: Leuchtdichteberechnung

2.5 Kapitel „Bilder“

Mehrere Bilder von Anlagen mit den gewählten Leuchten werden mit einem Text beschrieben, der je nach Sprachwahl in Deutsch oder Englisch erscheint.

2.6 Kapitel „Anordnungen“

Hier werden eine oder mehrere Möglichkeiten der Anordnungen von Leuchten am Mast oder Auslegern mit einem Text beschrieben, auch hier ist die Sprachwahl Deutsch oder Englisch möglich.

2.7 Kapitel „Sachnummern“

Bei den wesentlichen Ausführungen (Standardprodukte) erscheint tabellarisch zu jeder Artikelnummer die zugehörige Sachnummer.

2.8 Kapitel „Info“

Zeigt die Information über die Versionsnummer des elektronischen Katalogs, Adresse, Telefon und E-Mail der Firma.

Zusammenfassung:

Der hier vorgestellte elektronische Katalog bietet eine einfach zu bedienende Oberfläche, die es jedem Benutzer ermöglicht, schnell das für ihn geeignete Produkt zu finden. Weiterhin stehen alle lichttechnisch relevanten Informationen schnell und übersichtlich zur Verfügung; Es können sogar einfache Berechnungen unter Standardbedingungen durchgeführt werden.

Die Planungshilfen ermöglichen es dem Benutzer, unter von ihm selbst definierten Bedingungen für jeden Artikel der Datenbank schnell die optimale Lichtpunkthöhe und -abstand zu finden, ohne ein Berechnungsprogramm nutzen zu müssen. Die lichttechnischen Ergebnisse werden übersichtlich tabellarisch oder graphisch dargestellt. Insbesondere dem Außendienst stehen damit alle technischen Informationen schon beim Verkaufsgespräch zur Verfügung.

Graphische Ausgaben können auch als elektronisches Dokument exportiert werden. Die Graphiken können damit schnell, effektiv und mit minimalen Kosten z.B. in einer Druckerei direkt weiterverarbeitet oder in WINDOWS-Anwendungen direkt importiert werden.

Literaturnachweis:

Grundmann, O., Heiß, K., Kugel, E., Reinhardt, J.: Erstellung eines elektronischen Katalogs für Außenleuchten. Tagungsband Licht 2000, Goslar – S. 187.

Beleuchtung der Fußgängerbrücke im Duisburger Innenhafen mit LEDs

Franz Heckmanns

Über viele Jahre lag der Duisburger Innenhafen brach, nun wurde das architektonisch reizvolle Areal mit seinen alten Mühlen- und Speichergebäuden revitalisiert. Auf der Grundlage eines Masterplanes des britischen Architekten Sir Norman Foster entstand, nur wenige Minuten von der City entfernt, ein neues Stadtviertel. Wohnungen, Bürogebäude, Museen, Restaurants und soziale Einrichtungen sollen die Industriebrachen des einstmals größten Binnenhafens Europas wiederbeleben. Unter dem Motto „Arbeiten, Wohnen, Kultur und Freizeit am Wasser“ und mithilfe eines internationalen Architekten-Ensembles.

Konzipiert vom Stuttgarter Ingenieurbüro Schlaich, Bergermann & Partner erschließt eine aufsehenerregende Zugbrücke das gesamte Hafenbecken. Über Trageile an uferseitig errichteten Pylonen aufgehängt, kann der Übergang drei verschiedene Positionen einnehmen:

In waagerechter Lage bietet die 70 Meter lange Fußgängerbrücke die kürzeste Uferverbindung, misst aber eine geringe Unterfahrhöhe. In leicht emporgewölbter Position hingegen können unterhalb Binnenschiffe und gleichzeitig oberhalb die Fußgänger passieren. Den Transit größerer Schiffe schließlich muss man vom Ufer aus betrachten – in ihrer extremen Wölbung öffnet die Brücke eine Unterfahrhöhe von rund neun Metern über Normalnull.

Bei abendlicher Beleuchtung allerdings zieht nicht der romantische Schiffsverkehr, sondern vielmehr die Brücke selbst alle Blicke auf sich: Wie aus funkelnden Strasssteinen gefädelt, rahmen 140 filigrane Lichterketten den schwebenden Steg. Das Geheimnis der leuchtenden Augen am Brückenbogen steckt in den vertikalen Streben ihres Geländers. Jede zehnte Stahlstrebe ist mit einer Kette aus fünfzehn winzigen Leuchtdioden bestückt, die mit ihrem strahlend weißen Licht den Gehweg ausleuchten und als glitzernde Reflexe über das Grachtenwasser tanzen.

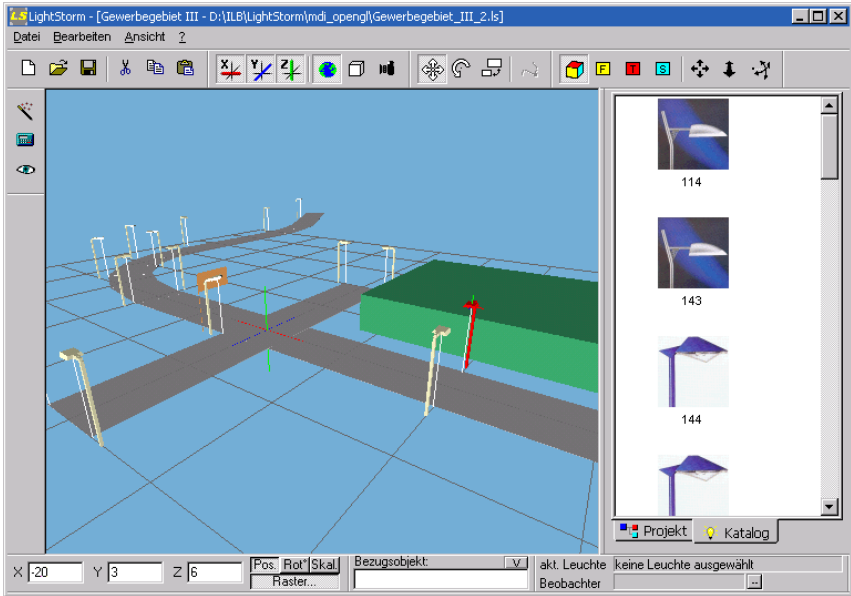
Erst- und einmalig für Brückenbeleuchtung strahlt Licht im bodennahen Bereich. Möglich wurde diese architektonische Innovation durch den Einsatz von weißen LEDs. Die Idee dazu entwickelte das Heidelberger Lichtplanungsbüro Uwe Belzner gemeinsam mit Ansorg: weiße Leuchtdioden für die Direktbeleuchtung. Die in den siebziger Jahren entwickelte LED-Technik zeichnet sich aus durch geringen Stromverbrauch und eine hohe Lebensdauer. Jahrzehntlang ausschließlich als rot strahlendes Signallicht verwendet, werden die minimalisierten Leuchtköpfe erst seit etwa zwei Jahren für die direkte Beleuchtung von Objekten und

Franz Heckmanns
Ansorg GmbH
Solinger Str. 19
D-45481 Mülheim an der Ruhr

mit weißer Lichtfarbe eingesetzt. Eine Innovation, die nun endlich den Weg vom Innenraum in den Außenbereich gefunden hat – und reizvolle Licht-Spuren hinterlassen wird, wie am Duisburger Nachthimmel.

Neuartige Software zur Planung der Außenbeleuchtung

Eckhard Kugel, Jan Reinhardt, Henry Rönitzsch



1. Einleitung

Die Software LightStorm basiert auf einem integrierten Konzept, das es ermöglicht, komplexe Außenbeleuchtungsanlagen unter einer einheitlichen Oberfläche zu planen. Oft werden Straßen, Plätze und Anstrahlungen mit den verschiedensten Softwarewerkzeugen isoliert geplant. Das Programm ermöglicht die Berechnung aller lichttechnischen Parameter auf beliebigen Flächen im Raum unter wahlweiser Berücksichtigung von Abschattungen.

Assistenten ermöglichen die einfache Erstellung wichtiger und häufig vorkommender Beleuchtungsaufgaben, z.B. Straßenbeleuchtung, Kreisverkehr, Kreuzung, Plätze, Anstrahlungen und Treppen, so daß eine hohe Effizienz bei der Modellierung von komplexeren Beleuchtungsszenarien erreicht wird. Der Bedienungsaufwand wird damit für den Anwender deutlich reduziert.

Dipl.-Ing. Eckhard Kugel
Dr.-Ing. Jan Reinhardt
HELLUX LEUCHTEN GMBH
Mergenthaler Str. 6
D-30880 Laatzen

Dr.-Ing. Henry Rönitzsch
Bahnhofstraße 14
D-01705 Freital

Die einfache Bedienung und Klarheit in der Benutzerführung wird durch eine einheitliche Benutzeroberfläche unter WINDOWS 95, 98 und NT erreicht, die alle modernen Benutzerschnittstellen (Maus, Menüs, Werkzeugleisten, etc.) enthält. Die universelle Ausgabe auf Drucker und der Export als DXF File, sowie das Management der Online-Hilfe wird ebenfalls durch das Betriebssystem realisiert.

Der Zugriff auf eine hinterlegte Produktdatenbank /Lit.1/ ermöglicht den schnellen Zugriff auf die wesentlichen Informationen zu den eingesetzten Leuchten, die weit über den Inhalt der EULUMDAT Files hinausgehen und somit auch eine einfache Verwaltung und Pflege der lichttechnischen Daten auch in der Zukunft erlaubt.

2. Philosophie der Software LightStorm

LightStorm ist eine neue Applikation des ILB Dr. Rönitzsch für die Modellierung und Berechnung von Lichanlagen. Die Dimension der berechenbaren Lichanlagen reicht von einer kleinen Straße bis zur Stadionbeleuchtung. Der virtuelle Bau der Lichanlage in LightStorm läuft für den Benutzer immer gleich ab. Wenn der Benutzer die Fähigkeit erlernt hat, kleine Straßen in LightStorm zu modellieren, sind auch größte Lichanlagen analog in kurzer Zeit modellierbar. Es ist nicht notwendig, für jede Art der Lichanlage ein separates Computerprogramm anzuschaffen bzw. zu nutzen. Jede Außenbeleuchtungsanlage ist mit LightStorm schnell erstell- und berechenbar.

LightStorm bietet dem Benutzer eine 3-dimensionale Ansicht seiner Lichanlage. In der 3D-Ansicht kann sich der Lichtplaner frei bewegen und ebenso frei die zu bewertenden Flächen, Polygone und Leuchten positionieren. Durch diesen interaktiven 3-dimensionalen Arbeitsraum ist der Lichtplaner frei in der Entfaltung seiner Wünsche für die Positionierung der lichttechnischen Elemente und behält die ständige Übersicht. Der Lichtplaner stößt nicht mehr an die Grenzen früherer Lichtplanungsprogramme, die einen festen Funktionsumfang boten bzw. die lichttechnischen Elemente nur in bestimmten Grenzen zu positionieren erlaubten. Durch die Visualisierung wird eine größtmögliche Übersichtlichkeit erreicht. Die Software ist netzwerkfähig und erlaubt derzeit ein Arbeiten in den Sprachen Deutsch und Englisch.

3. Leuchtauswahl

Das Modul Leuchtenkatalog dient der Auswahl der Lichtquellen aus der hinterlegten Produktdatenbank. Die verschiedenen Leuchten sind sinnfällig in Kategorien unterteilt. Pro Kategorie existieren mehrere Leuchten, die mit ihrem Abbild im Fenster des Leuchtenkatalogs präsentiert werden und somit einen schnellen Zugriff erlauben.

Natürlich ist eine Funktion für das Suchen von Leuchten anhand von verknüpfbaren Kriterien implementiert (z.B. ein Teil der Bestellnummer ist bekannt). Das Suchen im Leuchtenkatalog ist so nicht mehr nötig.

4. Projektverwaltung

Die Projektverwaltung listet alle Elemente auf, die sich in dem Projekt befinden. Die verschiedenen Typen der Elemente werden dabei übersichtlich in den Grup-

pen „Beobachter“, „Leuchten“, „Flächen“, „Linien, Punkte“ und „Polygone“ eingeordnet.

5. Eingabe

Das 3D-Eingabefenster ist der Hauptteil von LightStorm. Darin ist die Beleuchtungsanlage und Szenario aus beliebigen, frei zoombaren Ansichten ersichtlich. Die Präsentation der Lichanlage erfolgt mit einer symbolhaften Darstellung der Flächen, Polygone, Leuchten und weiterer Elemente.

Das vorliegende, neu entwickelte Programm zur Planung der Außenbeleuchtung basiert auf Assistenten. Diese sollen dem Anwender die meiste Arbeit bei der Erstellung einer Lichanlage abnehmen. Der Lichtplaner verbringt oft die meiste Arbeit mit der Berechnung annähernd gleicher Konstellationen von Leuchten bezüglich einem festen Bewertungsfeld. Die Routinearbeit der Modellierung wird durch Assistenten übernommen, die die Parameter einer standardmäßig erstellten Lichanlage den realen Umständen anpassen. Die Assistenten ermöglichen in vielen Fällen zusätzlich die Optimierung der Beleuchtungsanlage nach lichttechnischen Vorgaben im gleichen Schritt.

Assistenten sind bisher für die folgenden Fälle realisiert:

- Straße nach DIN 5044 und für eine Straße von der DIN 5044 abweichenden Aufbau oder Anordnung der Leuchten
- Platz
- Kreuzung und Kreisverkehr
- Treppe

6. Berechnung / Ausgabe

LightStorm berechnet die Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten, wie in der Außenbeleuchtung üblich, ohne Indirektanteil nach den physikalisch gültigen Algorithmen auf Basis der in der EULUMDAT Datei gespeicherten Lichtstärkeverteilung der Leuchte unter wahlweiser Berücksichtigung von Abschattungen. Das Bewertungsraster entspricht den Vorgaben der Normen oder kann frei festgelegt werden. Es können beliebige Flächen im Raum berechnet werden und auch Teilflächen separiert werden. So kann z.B. ein Parkplatz insgesamt berechnet werden und dann ein Teilbereich mit z.B. erhöhten Sehaufgaben separat betrachtet werden. Berechnung bestimmter Linien (z.B. Bahnsteigkante) oder spezieller Punkte sind selbstverständlich möglich.

Die Ergebnisse der berechneten lichttechnischen Größen werden tabellarisch und grafisch angezeigt bzw. sind im Rechnungsbild der Raytracing-Berechnung direkt abzulesen, was bei speziellen Berechnungen sehr vorteilhaft sein kann.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die Software LightStorm bietet eine universelle und integrierte Berechnung von beliebigen, komplexen Außenbeleuchtungsanlagen unter einer einheitlichen Benutzeroberfläche. Die integrierten Assistenten verringern die Arbeiten bei Routineeingaben und erledigen teilweise Optimierungsfunktionen. Das Projektmanagement sorgt für den Überblick der einzelnen Berechnungen und Eingaben.

Vor der Fertigstellung stehen weitere Module, die die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Architekten und Tiefbauplaner erheblich vereinfachen werden.

Literaturnachweis :

Grundmann, O., Heiß, K., Kugel, E., Reinhardt, J.: Erstellung eines elektronischen Katalogs für Außenleuchten. Tagungsband Licht 2000, Goslar – S. 187.

Rönitzsch, H., Michel, O.: Ist die Lichttechniksoftware bereit für das Jahr 2000? LICHT 3/2000. Seiten 523 ff.

Besondere Beleuchtungsprobleme in der Außenbeleuchtung – Lichtimmission

Hanna Leszczyńska

1. Einleitung

Die im Lichtimmissionsschutz auftretenden Lichteinwirkungen bewegen sich im Bereich der Belästigung, aber physische Schäden können ausgeschlossen werden. Lichtimmissionen als Umwelteinwirkungen können sich einem Betroffenen auf zwei Arten bemerkbar machen, zum einen kann der Wohnbereich aufgehellte, zum anderen kann eine Lichtquelle mit hoher Leuchtdichte eine störende Blendung beim Betroffenen hervorrufen /9,10,11/. Die Anwohner beschwerten sich meist über die Straßenbeleuchtung, wenn diese außer der Straße das Büro- oder Schlafzimmer der Betroffenen ausleuchtet /13/. Auch von anderen Quellen können derartige Lichtimmissionen ausgehen z.B.: von Fluchtanlagen von Sportstätten, von Anstrahlungen von Gebäuden, von Industrieanlagen, von Lichtreklame. Derartige Belästigungen durch Lichtimmissionen sind als schädliche Umwelteinwirkungen zwar verboten und weder das Bundes-Immissionsschutzgesetz noch verwaltungsrechtliche Ausführungsbestimmungen nennen die Grenzwerte /1/. Lichtimmission gehört zu den schädlichen Umwelteinwirkungen, wenn sie nach Art, Ausmaß oder Dauer, geeignet sind, Gefahren und erhebliche Belästigungen für die Nachbarschaft herbeizuführen /2,3,4,5,6,7,8/. Jetzt ist eine zunehmende Tendenz der Beschwerdefälle über Lichtimmissionen feststellen.

2. Messung von Lichtimmissionen

Für die Ermittlung der Beurteilungsgrößen von Lichtimmissionen müssen zur Beurteilung der Aufhellung die vertikale Beleuchtungsstärke und zur Beurteilung der Blendung die Leuchtdichten der Lichtquelle und ihrer Umgebung, auch der Raumwinkel der Lichtquelle, bestimmt werden. Problemlos ist die Messung der vertikalen Beleuchtungsstärke falls nur Licht der zu beurteilenden Quellen einfällt und in der Fensterebene außen gemessen werden kann. Für die Messung der Aufhellung mit Fremdlichteinfluß gibt es mehr Möglichkeiten, die zu beurteilende Einwirkung zu ermitteln /12/. Die genaue Ermittlung der drei Größen der Blendung: die mittlere Leuchtdichte des Strahles, die mittlere Leuchtdichte des Umfeldes und der Raumwinkel der Lichtaustrittsfläche des Strahlers, ist relativ aufwendig und erfordert Erfahrung in lichttechnischen Messungen. Sehr oft sind fotografische Aufnahmen notwendig, insbesondere wenn der Raumwinkel der hellen Flächenanteile komplexer Strukturen zu ermitteln ist, z.B. Lichtreklame.

Der Zweck der Untersuchungen war, die Lichtimmissionen einiger Beleuchtungsanlagen auf Grund /1/ zu messen und zu beurteilen. Hier wurden zwei ausgewählte Beispiele aus Praxis zum Problem Lichtimmissionen dargestellt:

Dr.-Ing. Hanna Leszczyńska
Technische Universität
ul. Podgorna 50
PL-65246 Zielona Gora

- Lichtreklame – Laden – CENTRUM
- Lichtreklame – PARK – HOTEL.

Als Orte störender Lichtimmission von Lichtreklame – CENTRUM – wurden von den Klägern der Büroraum, Essraum und Schlafrum benannt.

Es wurde ermittelt:

- der Abstand Lichtreklame – Immissionsort durch Messung /20 m/
- der Raumwinkel des gesamten Transparentes mit der Theodoliten,
- die hellen und dunklen Flächenanteile mittels Computerprogramm,
- die mittleren Leuchtdichten für Flächen im Transparent und im Umfeld durch mehrere Einzelmessungen mit einen Leuchtdichtemesser,
- die Flächenanteile unterschiedlicher Leuchtdichte im 20-Grad-Umfeld geschätzt aus der Fotoaufnahme,
- die Aufhellung – die vertikale Beleuchtungsstärke durch Messung,
- Faktor k zur Blendungsbeurteilung.

Die ermittelten Werte für die vertikale Beleuchtungsstärke /4,5 lx/ beim Haus liegen deutlich über dem Richtwert /1/ zur Begrenzung der Aufhellung für Wohngebiete sowie für Mischgebiete. Die mittlere Leuchtdichte und Raumwinkel der hellen Teilflächen der Lichtreklame sowie die berechneten k-Werte / k=110/ liegen über den Richtwerten für Wohngebiete/Mischgebiete, darum sind die Anforderungen zur Begrenzung der Blendwirkung nicht eingehalten.

Die Bewohner eines Innenstadtbereiches beschwerten sich über die grüne Lichtreklame des Hotels PARK-HOTEL. Die Beurteilung der Belästigung wurde hinsichtlich störender Raumaufhellung und störende Blendung durchgeführt. Ähnliche Parameter wie oben waren ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass die ermittelten Werte für die Aufhellung /3,5 lx/ deutlich bis erheblich über den Richtwerten /1/ für Wohngebiete sowie für Mischgebiete für die Zeit nach 22 Uhr liegen und man muß die Maßnahmen zur Verminderung der Lichtimmission vornehmen. Die aus den Ergebnissen für die mittlere Leuchtdichte und dem Raumwinkel der hellen Teilflächen des Transparentes sowie der Gesamtfläche berechneten Werte k liegen für alle Messpunkte über dem Richtwert $k = 32$ /1/ für Wohngebiete und Mischgebiete für die Zeit nach 22 Uhr. Die Anforderungen zur Begrenzung der Blendwirkung sind daher nicht eingehalten.

3. Schlussfolgerungen

Die Maßnahmen zur Verminderung der Lichtimmission sind hier zusammengestellt. Die Aufhellung und Blendwirkung in der Umgebung einer Beleuchtungsanlage kann vermindert werden:

- Bei der Festlegung des Leuchtenstandortes ist darauf zu achten, dass die Nachbarschaft möglichst wenig von Lichtimmissionen betroffen wird.
- Für neu installierende Werbebeleuchtungsanlagen mit Leuchtstofflampen empfiehlt sich die Verwendung anzapfbarer Vorschaltgeräte, mit denen der Lampenlichtstrom auf 1/3 seines Nennwertes im Bedarfsfall reduziert werden könnte.

- In voll ausreichendem Umfang durch den Einsatz hochwertiger asymmetrischer Strahler neuer Bauart, sog. Planflächenstrahler
- Lichtimmissionen aus Gebäuden können durch geeignete Abdunklungsmaßnahmen / z.B. Rollos, Jalousien / verhindert werden.
- Zeitlich veränderliches Licht sollte durch gleich bleibendes Licht ersetzt werden.

Im CIE-Entwurf zum Thema „Lichtimmission“ [7] werden zur Begrenzung der psychologischen Wirkungen auf benachbarte Anwohner ungeeignete Beurteilungskriterien benutzt. Dies führt in den meisten Fällen zu einer völlig anderen Beurteilung als nach der LiTG-Publikation Nr.12. Der CIE-Guide gibt dagegen Werte an für die Grundstücksgrenze, ohne zu sagen, an welcher Stelle und in welcher Höhe zu messen ist. Ein Wert in Bodennähe kann für den Nachbarn völlig irrelevant sein, der relevante Wert liegt möglicherweise mehrere Meter über dem Boden. Zu diesen Problemen kommt zusätzlich das weitere, dass der Wert – vertikale Beleuchtungsstärke an der Grundstücksgrenze in keinen festen Zusammenhang mit dem Wert beim Haus steht. Die Bewertungskriterien vergleichbar mit denen der LiTG-Publikation Nr.12, die u.a. auf den internationalen Forschungsergebnissen zur psychologischen Blendung aufbauen, sollten daher auch im CIE-Guide angewandt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen. LiTG-Publikation No 12.2 1996
- [2] Assmann J., Gamber A.: Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen Licht 7/1987
- [3] Bergmann V.: Zum Empfinden von Lichtimmissionen im Umfeld von Sportstättenbeleuchtung. Licht '94, LiTG Berlin 1994
- [4] Gamber A.: Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen. Lichttechnisches Fortbildungsseminar am Lichttechnischen Institut der Universität Karlsruhe 1990
- [5] Gamber A., Kiesel K.-J.: Lichtimmissionen von Trainingsplätzen. Landesanstalt für Umweltschutz Baden Württemberg. Licht 2/1996
- [6] Grzonkowski Jan.: Ekologiczne aspekty oświatlenia. Elektroinstalator nr 9/97 – Technika Zwieltna S. 82-86
- [7] Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from lighting installations. CIE Division 5 Exterior and other lighting applications. TC5.12–Obtrusive Light, August 1994
- [8] LiTG Stellungnahme zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten. 1996
- [9] Lichtimmissionen – Fortbildungsseminar des Ministerium für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein 1995
- [10] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. Bundes- Immissionschutzgesetz BImSchG-1990
- [11] Lichtimmissionen von Trainingsplätzen. Landesanstalt für Umweltschutz Baden Württemberg 1996
- [12] Lichtimmissionen von gewerblichen Anlagen. Landesanstalt für Umweltschutz Baden Württemberg 1995
- [13] DIN EN 13201 Straßenbeleuchtung 1998

Sekundärreflektoren für die Beleuchtungstechnik

Frank Lindemuth, Erhard Rahn

Mit der Technik der Sekundärreflektoren lassen sich Beleuchtungsaufgaben lösen, die mit der konventionellen Technik nur schwer in den Griff zu bekommen sind. Wenn Kreuzungen im Zuge von großen Verkehrsstraßen keine Mittelsinseln für konventionelle Straßenleuchten aufweisen, lassen sich mit Sekundärreflektoren von den Eckpunkten aus besonders größere Flächen wirtschaftlich ausleuchten. Ein Beleuchtungskonzept mit Sekundärreflektoren ist auch für die Vorfeldbeleuchtung von Flughäfen geeignet, da hier insbesondere eine Blendung der Piloten auf ihrem Weg zur Parkposition des Flugzeuges vermieden werden muß. Auch in anderen Bereichen kann die Sekundärreflektortechnik sehr effektiv eingesetzt werden. Die Technik der Beleuchtung mit Sekundärreflektoren wird dargestellt und ihre wesentlichen Eigenschaften mit der konventionellen Strahlertechnik verglichen. Der praktische Einsatz dieser Technik wird an den Beispielen der Beleuchtung des Hauptbahnhofs in Rom und der VW-Autostadt Wolfsburg dargestellt.

Systembeschreibung

Das Spiegelfeld wird aus identischen Einzelfacetten aufgebaut. Die Facetten unterscheiden sich voneinander nur durch ihre Lage und Orientierung im Raum. Die vom Büro Christian Bartenbach computerberechneten Freiformspiegel sind aus Reinaluminium tiefgezogen, chemisch geätzt und stückeloxiert. Die Maße der Einzelfacetten betragen im Grundriß 280 x 210 mm (Bild 1).

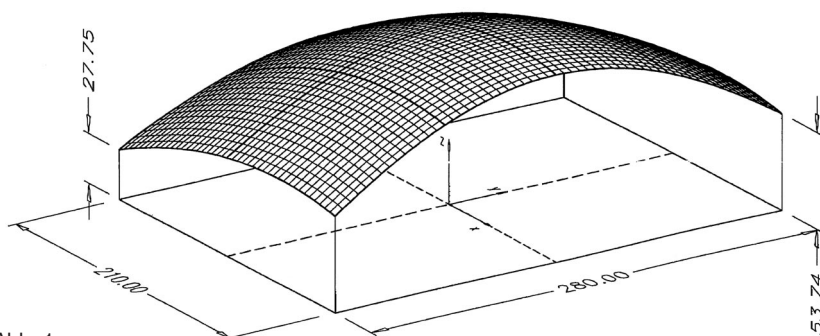


Abb. 1

Dr.-Ing. Frank Lindemuth
AT. LUX GmbH
Flottenstraße 4A
D-13407 Berlin
Erhard Rahn
Franz Sill GmbH
Ritterstr. 9-10
D-10969 Berlin

Die Lagerung der einzelnen Facetten im Spiegelfeld erfolgt kardanis, wobei sie über die y , x Achsen verstellbar sind. So können bei gleichbleibender Neigung des gesamten Spiegelfeldes unterschiedliche Beleuchtungsfelder erzeugt werden bzw. Entblendungen vorgenommen werden. Jede Facette erzeugt ein rechteckiges Abbild mit homogener Lichtverteilung. Somit ist es möglich, mit einer Facette eine Fläche sehr gleichmäßig zu beleuchten, z.B.: Bild 2 (Brückenbeleuchtung mit 70W Halogen-Metaldampf).



Abb. 2

Bei einer Spiegelfeldhöhe von ca. 15m ergibt sich eine beleuchtete Fläche von 30 x 70 m. Es kommen rotationssymmetrische Scheinwerfer mit axialer Lampenlage von 35 bis 2000 W und Rinnenspiegel-Fluter von 70 bis 600 W zur Anwendung. Die Lampenbestückung kann je nach Scheinwerfertyp mit Halogen-Metaldampflampen, Natriumdampf-Hochdrucklampen oder mit Glühlampen (für die Notbeleuchtung) erfolgen (Bild 3 + 4).

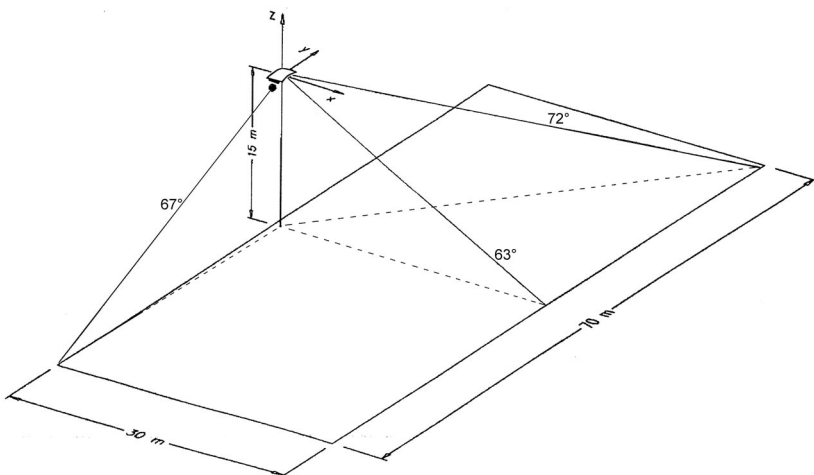


Abb. 3



Abb. 4

Wirtschaftliche Vorteile des Lampengruppenwechsels von Leuchtstofflampen in der öffentlichen Straßenbeleuchtung

Bernd C. Lohmann

Anforderungen an die öffentliche Straßenbeleuchtung

Die Anforderungen an die Beleuchtung für öffentliche Straßen sind in der Vorschrift DIN 5044 festgelegt. Die Straßen sind in unterschiedliche Kategorien nach ihrer Lage eingeteilt. Danach ergibt sich die dafür zu bemessende Beleuchtungsanlage und über die in Frage kommenden Beleuchtungskomponenten wird durch den Betreiber entschieden.

- Neue Beleuchtungsanlagen werden mit den in der DIN 5044 enthaltenen Nennwerten projektiert.

Damit immer eine ausreichende Beleuchtung zur Verfügung steht, darf 70 % des Nennwertes nicht unterschritten werden.

Leuchtstofflampen als Lichtquellen in der öffentlichen Straßenbeleuchtung

Leuchtstofflampen sind auf Grund ihrer Eigenschaften ein traditionelles und bewährtes wirtschaftliches Leuchtmittel in der öffentlichen Straßenbeleuchtung.

Es gibt

- eine Vielfalt an Leistungsstufen (18 W-65 W)
- eine Auswahl an Lichtfarben = Lichtklima (von 2700 K bis 6500 K)
- eine gerade oder U-förmige Ausführung
- eine sehr gleichmäßige, flächige Ausleuchtung
- eine lange Nutzlebensdauer – bei Long-Life-Lampen bis zu 30.000 Stunden bei Betrieb an KVG/VVG mit Starter (bei Betrieb an EVG z.B. in Neuanlagen bis zu 43.500 Stunden)
- eine einfache Auswechslung

Der Lichtstrom der in Anlagen installierten Leuchtstofflampen, wie in der öffentlichen Straßenbeleuchtung, verringert sich aus physikalischen Gründen im Laufe der Brenndauer. Hier ist es daher nicht zulässig, die Lampen bis an ihr elektrisches Lebensende (Funktionsausfall) zu betreiben. Frühausfälle sind hiermit nicht gemeint.

Über die Lebensdauer von Leuchtstofflampen

Der Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) hat in seinem Fachverband der Lampenhersteller die Definition der verschiedenen

Bernd C. Lohmann
Auralight (Deutschland) GmbH
Postfach 93 06 27
D-21088 Hamburg

Lebensdauerbegriffe in der Broschüre „Lebensdauerverhalten von Entladungslampen für Beleuchtung“ festgelegt. Für den professionellen Einsatz von Leuchtstofflampen ist der Begriff Nutzlebensdauer (Service Life) von entscheidender Bedeutung: „Die Nutzlebensdauer ist dann erreicht, wenn der verbleibende Anlagenlichtstrom 80 % des anfänglichen Lichtstroms (100 h-Wert) beträgt.“

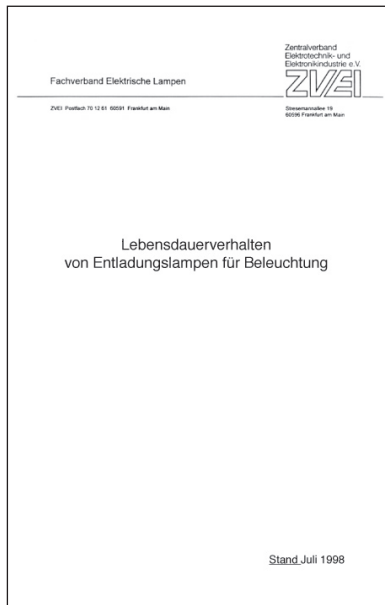


Abb. 1: Titelblatt der Broschüre „Lebensdauerverhalten von Entladungslampen für Beleuchtung“ des Fachverbandes Elektrische Lampen im ZVEI.

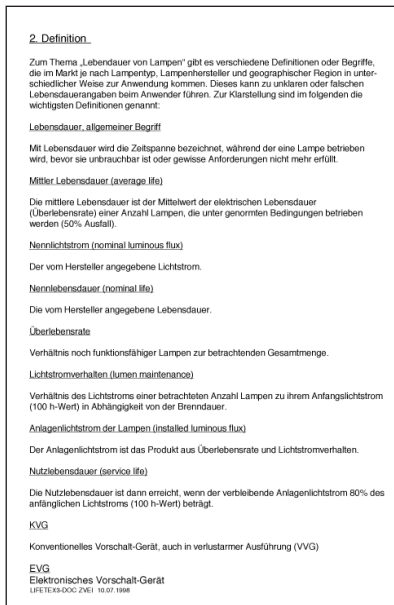


Abb. 2: Seite 2 der Broschüre „Lebensdauerverhalten von Entladungslampen für Beleuchtung“ erläutert die unterschiedlichen Definitionen im Zusammenhang mit dem Begriff „Lebensdauer“.

Spätestens nach Ablauf der Nutzlebensdauer sollten die Leuchtstofflampen ausgetauscht werden.

Die Vorteile des Lampengruppenwechsels

Die Auswechslung von Leuchtstofflampen sollte sich an den Lebensdauerangaben der Hersteller orientieren. Die Durchführung ist im Einzelfall von den Betriebsbedingungen abhängig. Besonders in der öffentlichen Straßenbeleuchtung sind dafür recht aufwendige Maßnahmen, wie Steigerfahrzeug, Personal, oder in schwierigen Bereichen Absperrungen erforderlich.

Hier ist der Lampengruppenwechsel die beste Lösung, denn

- DIN 5044 gibt als unteren Grenzwert für die Beleuchtung öffentlicher Straßen 70 % des jeweiligen Nennwertes eines Lichtpunktes vor. Durch einen Lampengruppenwechsel nach Ablauf der Nutzlebensdauer (verbleibender Anla-

genlichtstrom 80 % zuzüglich der Verschmutzung der Leuchte von ca. 10%) wird die Einhaltung der Norm sichergestellt.

- der Lichtstrom der im Lampengruppenwechsel ausgetauschten und neu eingesetzten Leuchtstofflampen entspricht wieder dem Nennwert. Durch den Austausch aller Lampen wird ein gleichmäßiges, hohes Lichtniveau bewirkt.
- der Lampengruppenwechsel ist eine planbare Maßnahme der Instandhaltung. Der Jahresbedarf der erforderlichen Lampen kann im voraus ermittelt werden.

Mit den daraus resultierenden größeren Bestellmengen lassen sich durch Rahmenabschlüsse im allgemeinen günstigere Konditionen erzielen.

- das Einsparpotential in diesem Rahmen vergrößert sich durch noch effizientere Steuerung der logistischen Kette, z. B. effektivere Lagerhaltung, gezielteren Einsatz der den Lampengruppenwechsel durchführenden Arbeitsgruppen und konzentriertere Entsorgung der Altlampen.
- die Durchführung eines Lampengruppenwechsels mit gleichzeitiger Inspektion der Beleuchtungsanlage ist ein Nachweis für die Einhaltung der Unfallverhütungsvorschriften gemäss VBG 4.
- mit zunehmender Betriebsdauer steigt die Ausfallrate der Lampen.

Es entstehen erhebliche Mehrkosten, wenn zum Ende der Lebensdauer hin innerhalb kürzerer Zeit eine Strasse mehrmals angefahren werden muss, um eine Störungsbeseitigung durchzuführen.

Auch in einem solchen Einzelfall werden im allgemeinen für den Wechsel ein Steigerfahrzeug und zwei Monteure benötigt.

Long-Life Leuchtstofflampen

Mit Long-Life Leuchtstofflampen ergeben sich zusätzliche Vorteile, kostensparend den Gruppenwechsel zu planen.

- Die lange Nutzlebensdauer mit einem Lichtstrom von mehr als 80 % in der Anlage nach 30.000 Stunden bei Betrieb an KVG/VVG und Starter ermöglicht eine optimierte Planung der Wartungsintervalle.

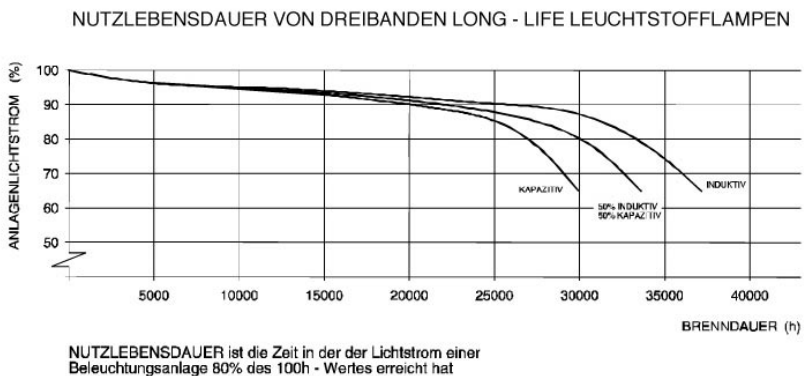


Abb. 3: Nutzlebensdauer von Dreiband-Long-Life Leuchtstofflampen mit 80% Anlagenlichtstrom nach 30.000 Stunden bei Betrieb an KVG/VVG mit Starter.

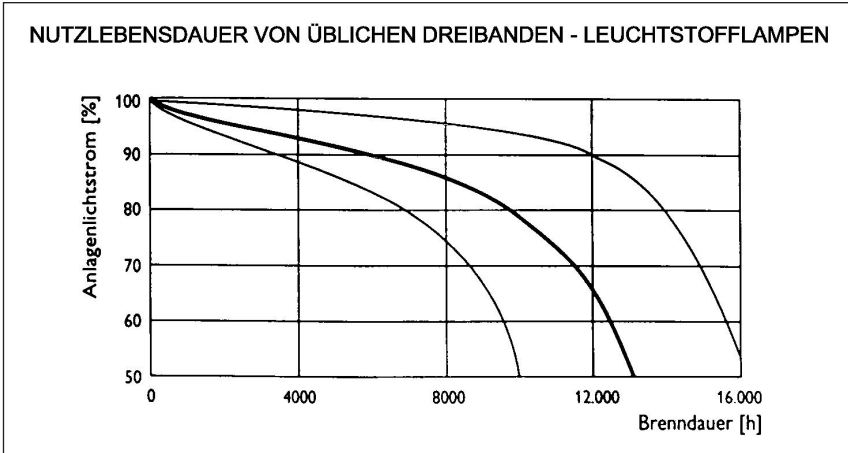


Abb. 4: Nutzlebensdauer von üblichen Dreiband-Leuchtstofflampen mit 80% Anlagenlichtstrom nach 10.000 Stunden bei Betrieb an KVG/VVG mit Starter- aus der Broschüre „Lebensdauerverhalten von Entladungslampen für Beleuchtung“.

Sie können in Anlehnung an VBG 4 auf mindestens 4 Jahre (= ca. 16.000 Std.) gelegt werden.
 Mit Long-Life-Leuchtstofflampen ist eine Verlängerung auf 6 Jahre (= ca. 24.000 Std.) möglich.



Abb. 5: So sehen die Thermo-LL Leuchtstofflampen mit dem 2. Glasrohr zur Wärmeisolierung aus.

- Auch bei tieferen Temperaturen darf der Nennwert der Beleuchtung 70 % nicht unterschreiten. Auf Grund ihrer physikalischen Eigenschaften reduziert sich der Lichtstrom von üblichen 38 mm- und besonders von 26 mm-Leuchtstofflampen bei solchen Betriebsbedingungen deutlich.

Dadurch werden in vielen Fällen die Betriebsbedingungen nach DIN 5044 nicht mehr erreicht.

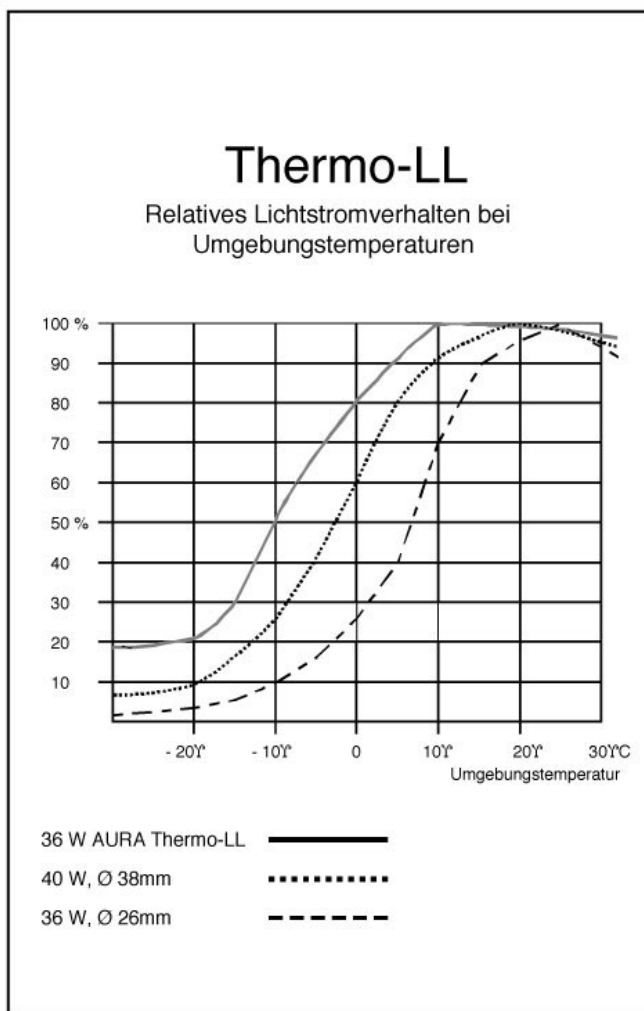


Abb. 6: Thermo-LL haben im Vergleich mit üblichen Leuchtstofflampen durch die Wärmeisolierung ein deutlich besseres Lichtstromverhalten bei tiefen Umgebungstemperaturen



Abb. 7: Straßenbeleuchtung mit Leuchtstofflampen

Die Thermo-LL bieten neben der langen Nutzlebensdauer mit einem 38 mm-Hüllglas als Wärmeisolierung um eine 26 mm-Lampe eine wesentlich verbesserte Lösung mit bis zu 5 mal mehr Licht bis $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dabei haben sie selbstverständlich die elektrischen Daten der modernen 26 mm-Ausführung.

- Thermo-LL Leuchtstofflampen werden bereits erfolgreich in vielen Kommunen in der Straßenbeleuchtung eingesetzt.

Empfehlung

Die wirtschaftlichste Methode für die Betriebsführung von Straßenbeleuchtungsanlagen ist die vorbeugende Instandhaltung in einem ganzen Straßenzug mit Lampengruppenwechsel und gleichzeitigen Maßnahmen zur Instandsetzung. So sind Leuchtstofflampen in diesem Bereich auch in der Zukunft unverzichtbar!

Neueste praxiserprobte Technik beim Anschluß von Kabeln in Lichtmasten

Hans-Jürgen Müller, Kuno Dietrich

1. Materialeinsatz

Die Gehäuseteile müssen verschiedene Anforderungen erfüllen. Sie müssen robust und schlagfest sein, die Anforderungen zum Brandschutz (VDE 0304 Teil 3) erfüllen und die Einbauten gegen Staub und Feuchtigkeit schützen. Glasfaserverstärktes Polycarbonat kombiniert mit Abdichtungen für Deckel, sowie Zu- und Abgangsleitungen, erfüllt diese Anforderungen. Je nach Auswahl der Eingangsdichtung wird die Schutzart IP 54 oder 55 und die Schutzklasse II erfüllt. Eingangsklemmen müssen hohe mechanische Kräfte aufnehmen, um auch bei großen Leitungsquerschnitten (16qmm) zuverlässigen Kontaktdruck zu gewährleisten. Daher wurde für Schrauben und Klemmenprofil VA-Stahl gewählt. Für die stromführenden Metallteile wird, auf Grund der besseren Leitfähigkeit, vernickeltes Messing gewählt. Generell werden Nichteisenmetalle zum zuverlässigen Korrosionsschutz gewählt. Die Einsätze zur Aufnahme der Schmelzeinsätze sind aus hochwertiger elektrotechnischer Keramik, um auch bei höheren Temperaturbeanspruchungen max. Sicherheit zu garantieren.

2. Installation und Montagefreundlichkeit

Kabel zur Versorgung der Straßenbeleuchtung haben Querschnitte bis 16qmm und bringen eine entsprechende mechanische Festigkeit mit sich. Gleiches Ablängen der einzelnen Adern und Montage auf einer Ebene vereinfacht die Anschlussarbeit. Dies wird durch nebeneinander angeordnete Schiebeklemmen mit maximalem Schiebeweg erreicht. Für problemloses Einlegen der Adern sind diese in jeder Stellung selbstarretierend. Für den Einsatz von Elektroschraubern sind die Schrauben mit Kombischlitz versehen und drehen in oberster Stellung Nfrei. Der Einbaublock besitzt eine komplette Durchgangsverdrahtung. Nach Wunsch wird diese 5polig oder 4polig mit PEN-Brücke ausgeführt. Pro Pol stehen 2 Abgangsklemmen zur Verfügung. Diese sind seitlich angeordnet, sodaß im Bogen angeschlossen werden kann. Der Einsatzbereich sind Masten ab Innendurchmesser von 95mm mit Türgröße 80 x 300mm. Auf Wunsch erfolgt die Lieferung als kompletter montagefertiger Kasten in Einzelverpackung. Alle Teile, die zunächst demontiert werden müssten, sind lose aufgelegt. Mitgeliefert werden Sicherungen und Paßhülsen nach Wahl, Schraubkappen, sowie wahlweise verschiedenen Erdungslitzen und Mastbefestigungsschrauben.

3. Prüfung nach DIN VDE 0660 Teil 505

Die Anforderungen nach VBG 4 werden erfüllt. Das Erfüllen der VDE-Vorschrift beinhaltet eine Vielzahl von Prüfungen, die Sicherheit und Qualität gewährleisten. Hierzu eine Kurzübersicht der Prüfungen:

Hans-Jürgen Müller, Kuno Dietrich, Dipl.-Ing. (FH)
Stadtfeld GmbH & Co. KG
Bevertalstr.20
D-42499 Hückeswagen

- a) Mechanische Prüfungen: Schlagprüfung am Gehäuse und Einbaublock, Festigkeit der Klemmen;
- b) Prüfung der Luft- und Kriechstrecken: maßliche Prüfung, Prüfspannung 6kV;
- c) elektrische Prüfungen: Isolationsmessung, elektrische Alterung durch Lastwechsel, Erwärmungsprüfung, Kurzschlußfestigkeit, Berührungsschutz;
- d) Schutzartprüfung: Eindringen von Staub und Feuchtigkeit (IP-Schutzart).

Neue Gestaltungsmöglichkeiten des Nachtbildes von Gebäuden durch innovative Lichtideen

Toralf Patz, Georgios Paissidis

Bis heute hat sich die Ansicht erhalten, daß Licht primär ein Medium für die naturgetreue Wiedergabe der Umwelt und die Herstellung des Sichtkontaktes zu ihr ist.

Diese Auffassung von Licht hat auch den Stil der Anstrahlung von Gebäudefassaden stark geprägt. Ungenutzt geblieben sind die vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten des Lichts, die sich heute dem Lichtdesigner bieten. Sein erfahrener Blick kreiert ausdrucksvoll die Umwelt in ihrer Nachtversion mit Hilfe verfügbarer Technologien, die er überlegt und inspirativ einsetzt.

In diesem Sinne erleben wir zur Zeit den Übergang von einer konventionellen Anstrahlung von Gebäuden zu einer Lichtarchitektur für Fassaden. Bei der Umsetzung des Nachtbildes von Fassaden gilt es den zu treffenden architektonischen Wertvorstellungen zu entsprechen.

Hierbei wird die Palette der zu verwendenden Beleuchtungsinstrumente um neue Leuchtentypen bereichert, die keinen Platz mehr in der nahen Umgebung des Gebäudes für ihre Funktion voraussetzen und sich leicht in die Fassade integrieren lassen, im Gegensatz zu den traditionellen Strahlern.

Diese neue Art der Formung des Nachtmilieus von Fassaden mit Licht bedarf einer zeitgemäßen Festlegung von Gütekriterien für die Qualität der oberen Aufgabe. Aus ihnen resultieren die Mindestanforderungen an die entsprechende Leistung des Lichtdesigners. Anhand von realisierten Projekten werden Techniken erläutert, die diese Anforderungen erfüllen.

Nostalgischer Charme im gestalteten Nachtbild

Es hat sich gezeigt, daß die Beleuchtung einer Fassade nicht schablonisiert werden kann, wenn es Identitäts- und Charakterunterschiede zwischen den einzelnen Gebäuden gibt. Folglich ist es die Aufgabe des Lichtdesigners, die architektonische Fassade mit Lichtgestaltungs-elementen so zu formen, daß der individuelle Charakter des Gebäudes auch nachts bewahrt wird.

Dipl.-Ing. Toralf Patz
STILVI

Eißholzstr. 6
D-10781 Berlin

Dr.-Ing. Georgios Paissidis
STILVI

8, Foskopou str.
GR-152 32 Athen

Im Zentrum von Athen, in der Nähe des Omonia Platzes, hat sich ein neoklassizistisches Gebäude aus dem 19. Jahrhundert erhalten, das eine Bank beherbergt.

Entsprechend dieser Vorgabe galt es, die moderne Nutzung anzudeuten, ohne in Konflikt mit der nostalgischen Ausstrahlung des Gebäudes zu treten.

Die vorgelagerten historischen Architektur-Elemente wurden deshalb mit Hilfe von Licht- und Schattenwirkungen sichtbar erhalten und akzentuiert, ohne daß es erlaubt war, hierfür Bodenstrahler oder Strahler an Masten zu verwenden.

Für das Nachtbild wurde die Offenheit des Erdgeschosses mit seinen repräsentativen Eingängen und gleich hohen Fenstern genutzt. Die rötlich gestalteten Innenraum-Wände der Halle erhielten ein entsprechendes rotes Licht, das zwischen Kern und Hülle des Gebäudes kommuniziert, insgesamt das Volumen des Gebäudes betont und Parterre und erstes Stockwerk miteinander verbindet, indem es am darüber stehenden Balkon sanft ausklingt. Um die Rustika des Gebäudes herauszustellen, wurde im Parterre eine selektive Verfolgung der Fugen mit Licht entwickelt. Hierfür sind sechskantige Gläser an ihrem Ende an Lichtleitern angeschlossen worden, wobei die Außenränder für die Blendungsbegrenzung mit Kappen bedeckt wurden. Die Fugen der oberen Rustika liegen dagegen im Schatten, um die Struktur der Fassade geschlossen zu halten. Die gelbliche Grundfarbe der Fassade ist auch im Nachtbild bewahrt, indem die Halogenstrahler mit Unterspannung betrieben werden. Die schneeweißen Innenseiten der Öffnungen sind mit neutralweißer Lichtfarbe (Farbtemperatur 4200 K) wiedergegeben. Bei allen lichttechnischen Eingriffen wurde auf die weitgehende Vermeidung des Sichtkontaktes mit dem Leuchtmittel geachtet, sodaß die hervorgerufenen Sekundärleuchtdichten ohne Konkurrenz wie primäres Licht wirken. Dies erhält den nostalgischen Charme des Gebäudes auch im gestalteten Nachtbild.

Diskrete Kompetenz und modernes Image

Im Unterschied zur traditionellen Fassadenbeleuchtung, die sich pragmatisch und funktionell auf die unmittelbaren Bankgeschäfte beschränkt, ist ihr inzwischen die Aufgabe eines Kommunikationsträgers zugewachsen. Schon heute bildet die Fassadenbeleuchtung einen wichtigen Bestandteil des Corporate Design. Für die Piräus Prime Bank in Athen/GR war die Kreation einer Fassadenbeleuchtung ausschlaggebend, die ständige Präsenz und Aktivität des Geldinstituts signalisiert, in einer Zeit, die von High-Tech und einer sich rasant entwickelnden Informationstechnik im Wirtschaftsleben geprägt wird.

Lichttechnisch entschied man sich für ein Programm, das eine moderne Formensprache spricht und technisch filigran zur Gesamtaussage des Bauwerks beiträgt. Über die vorgelagerte metallische Außenstruktur wurde ein durchbrochenes leuchtendes Gitter aus Lichtleitern entfaltet, das an die Darstellung alpaarithmetischer Zeichen erinnert. Metallgitter und tiefer liegende Verglasung sind durch fluoreszierende hellblaue Lichtpunktketten optisch miteinander verbunden. An den Knotenpunkten zeichnen sich durch die Unterbrechungen

schwarze Kreuze im positiven Kontrast ab, die durch dünne, farbige leuchtende quadratische Platten ihre Kontur erhalten. Diese sind mit einer dichroitischen Beschichtung versehen, wobei der gesättigte Blauton für die frontale Betrachtung bestimmt ist, während unter seitlichen Blickwinkel eine Farbskala entsteht, die vom blauen Farbton für die nahen Knotenpunkte bis hin zum rötlichen für die ferneren reicht.

Bewegung und Verhalten des Betrachters bzw. Passanten bestimmen die Bildvariationen und die wandelnden Eindrücke dieser Fassadenbeleuchtung. Licht kann folglich unser Nachtmilieu „humanisieren“, nicht in Form einer naturgetreuen Wiedergabe, sondern im persönlichen Blick auf die Umwelt. Dieser Gesichtspunkt kann unter Nutzung der verfügbaren Technologien erreicht und zur Veranschaulichung der geltenden Wertvorstellungen unserer Kultur eingesetzt werden.

Effektive Beleuchtung von Schmalstraßen mit niedriger Verkehrsbelastung

Michael Schmitz-Reiners

Einleitung

Bei der Beleuchtung von Anliegerstraßen, die in den 50er und 60er Jahren errichtet wurden, besteht zur Zeit ein erheblicher Sanierungsbedarf. Häufig wird von der irrigen Annahme ausgegangen, daß diese Anlagen nicht nach den geltenden Richtlinien zu beleuchten sind, da sie vor Inkrafttreten dieser Vorschriften errichtet wurden. Zu beachten ist jedoch, daß bei Änderungen an diesen Anlagen die momentan gültigen Richtlinien einzuhalten sind.

Als kritische Werte sind in diesen Bereichen stets die minimalen Beleuchtungsstärken und die Gleichmäßigkeiten anzusehen.

Land	Norm	Klasse	E_{mit}	E_{min}	L_{mit}	U_o
Europa	EN **	S5	3	0,6		
D	DIN 5044	normal			0,3	0,3
D	DIN 5044	Ausnahme	3	0,3		
GB	BS5489		3,5	1		
NL	NSVV	16L	3	0,6		

Tabelle 1: Vergleich einiger Normen für die Beleuchtung von Wohnstraßen mit geringer Verkehrsbelastung

Anmerkung:

In keiner der Normen wird Rücksicht auf das nachadaptierte Auge genommen, obgleich gerade bei diesen niedrigen Beleuchtungsniveaus die Wahrnehmungsunterschiede zwischen dem weißen Licht z. B. der Leuchtstofflampen und dem Licht der Hochdruckdampf-Natrium-Lampe erheblich sind (ca. Faktor 1,4).

Die früher häufig eingesetzten Leuchten mit rotationssymmetrischer Lichtverteilung erreichen diese vorgegebenen Werte (vorwiegend die geforderten Gleichmäßigkeiten) nur durch Verringerung der Lichtpunktabstände, oder Erhöhung der Lichtpunkte, bei gleichzeitiger Erhöhung des Lichtstromes in der Leuchte. Zur Vermeidung dieser kostenintensiven Maßnahmen ist man, wenn vorschriftsgemäß beleuchtet werden soll, auf moderne Reflektor- oder Refraktorsysteme angewiesen. In der Tabelle 2 werden unterschiedliche Leuchtentypen an Straßen unterschiedlicher Breite gegenübergestellt.

Dipl.-Ing. Michael Schmitz-Reiners
INDUSTRA Beleuchtung GmbH
Thomasweg 6
D-41836 Hückelhoven

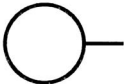
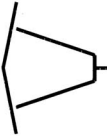


	Straßenbreite >	10m	9m	8m	7m	6m	5m	4m	3m	KWh/A
Kugel (opal) 	Leuchtmittel HME 125 6300 Lumen	18	19	20	20	22	22	22	22	548
Plizleuchte (opal) 	2x HME 80 W 7600 Lumen	36	37	38	39	39	40	40	40	712
Kegelleuchte (klarstrukturiert) 	1 Dulux-L55W 4700 Lumen	31	34	37	40	41	41	42	42	232
	1 HST 50 W 4400 Lumen	33	36	37	38	39	39	40	40	244
Kofferleuchte 1 	HME 125 6300 Lumen	31	33	35	36	38	38	38	38	548
	HSE 70 5600 Lumen	23	26	30	34	36	39	40	39	320
	HST 50 4400 Lumen	30	33	37	40	44	44	44	44	244

Tabelle 2a:

Diese Tabelle gibt den maximalen Lichtpunktabstand (in Metern) für die jeweilige Breite des Bewertungsfeldes an. Zielvorgabe ist eine mittlere Beleuchtungsstärke von größer als 3 Lux und eine minimale Beleuchtungsstärke von größer 0,6 Lux, sowie eine Gleichmäßigkeit (E min / E mittel) von mindestens 0,1.

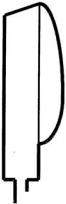



	Straßenbreite > 10m	9m	8m	7m	6m	5m	4m	3m	KWh/A
Kofferleuchte 2 	HST 50 4400 Lumen	43	45	45	45	45	45	45	244
	HSE 70 5600 Lumen	37	38	39	40	40	40	40	320
Kofferleuchte 3 	HST 50 4400 Lumen	38	40	42	43	44	44	45	244
Peitschenleuchte 	2 PL-L 36 5800 Lumen	31	32	33	34	35	36	36	328
"Pfadfinder" 	PL-T42 3200 Lumen	22	26	32	35	39	43	46	144
	HSE 50 4000 Lumen	23	25	30	38	43	45	46	244
	HSE 70 5600 Lumen	30	35	45	49	51	52	52	320
	HST 50 4400 Lumen	23	25	26	35	50	57	57	244

Tabelle 2b:

Diese Tabelle gibt den maximalen Lichtpunktabstand (in Metern) für die jeweilige Breite des Bewertungsfeldes an. Zielvorgabe ist eine mittlere Beleuchtungsstärke von größer als 3 Lux und eine minimale Beleuchtungsstärke von größer 0,6 Lux, sowie eine Gleichmäßigkeit / E min (E mittel) von mindestens 0,1.

Zusammenfassung:

Die Berechnungen mit diversen Leuchtendaten unterschiedlicher Hersteller zeigen das effektive Straßenbeleuchtung auch in Anliegerstraßen durchaus möglich sind. Durch den Einsatz spezieller Optiken lassen sich mit großen Lichtpunktabständen ausreichende Beleuchtungsstärken und Gleichmäßigkeiten erzielen. Die hier nicht betrachteten Blendungskriterien (T_i) können gerade in schmalen Anliegerstraßen mit Geschwindigkeitsbegrenzung z. B. 30 Km/h flexibel gehandhabt werden, da die Adaptationszeiten relativ hoch sind.

Rahmenbedingungen für die Planung der Beleuchtung im Arbeitssystem Büro

Sylke Neumann

1. Einleitung

Das Arbeitssystem Büro kann, um die Wechselwirkungen zwischen den Komponenten zu erläutern, wie in Abb. 1 dargestellt werden. Der Mensch steht im Mittelpunkt des Arbeitssystems. Die weitere Betrachtung kann von innen nach außen erfolgen, angefangen bei der Arbeitsaufgabe über die Software und die Bildschirmgeräte, die Möblierung, die Umgebungseinflüsse bis hin zum Gebäude. Werden die vielfältigen Beziehungen zwischen den einzelnen Komponenten beachtet und aufeinander abgestimmt, lassen sich das Arbeitssystem optimieren und die Ausgabe quantitativ oder qualitativ erhöhen.

Eine der Komponenten ist das Licht. In dem Vortrag sollen die wichtigsten Tendenzen des Arbeitssystems Büro, die für die Planung der Beleuchtung von Bedeutung sind, aufgezeigt werden.

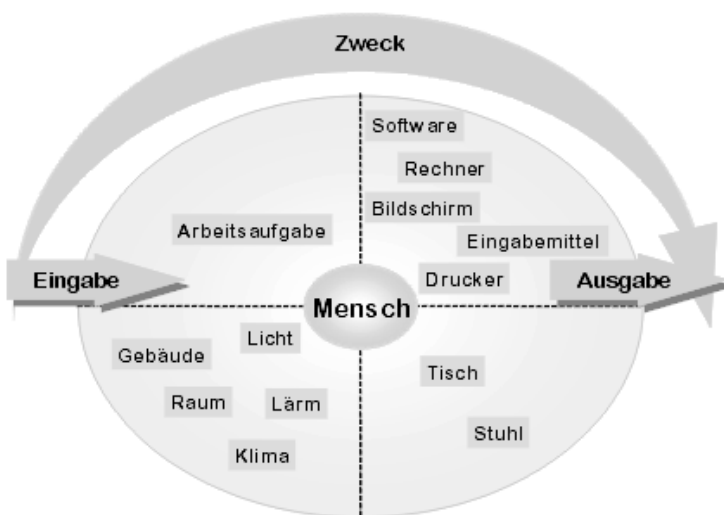


Abb. 1: Das Arbeitssystem Büro mit seinen Komponenten

Dipl.-Ing. Sylke Neumann
Fachausschuss Verwaltung / Fachbereich Büro
c/o Verwaltungs-Berufsgenossenschaft
Deelbögenkamp 4
D-22297 Hamburg

2. Bildschirme

Reflexionen auf dem Bildschirm hervorgerufen durch Fenster, Leuchten oder andere Flächen mit hohen Leuchtdichten können eine Kontrastminderung auf dem Bildschirm verursachen. Daher müssen Anzeigequalität der Bildschirme und die Beleuchtung aufeinander abgestimmt werden.

Die Anzeigequalität ist zum einen abhängig vom Zusammenwirken von Bildschirm, Rechner – hier insbesondere von der Grafikkarte – und Software. Neuere Bildschirmgerätekonfigurationen bieten in der Regel eine hohe Auflösung mit einer hohen Anzahl von darstellbaren Farben bei einer flimmerfreien Anzeige. Unterschiede für die Qualität der Anzeige resultieren daher aus dem vom Bildschirm abhängigen Kontrast und der Entspiegelungsgüte der Anzeigenoberfläche. Zur Vergabe des GS-Zeichens von den akkreditierten Prüfstellen werden die Bildschirme u. a. hinsichtlich ihrer Anzeigequalität nach DIN EN ISO 9241-7 [1] geprüft und klassifiziert. Jeweils für die Positiv- und Negativdarstellung wird eine Einstufung in drei Klassen vorgenommen; die Klasse I bezeichnet die beste, die Klasse III nur eine geringe Güte. (Abb. 2)



Abb. 2: Unterschiedlich gut entspiegelte Bildschirme klassifiziert nach DIN EN ISO 9241-7 (Ergebnisse der Prüfung Güteklassen Positivdarstellung/Negativdarstellung)

Die Tabelle zeigt eine grobe Einschätzung, wie derzeit auf dem weltweiten Markt angebotene Geräte mit GS-Zeichen bei der Klassifizierung anteilig abschneiden. Tests bei der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft und Untersuchungen an der TU Ilmenau [2] haben gezeigt, dass nicht nur die Entspiegelungsklasse für die Einschätzung der Störung durch Reflexblendung auf der Bildschirmanzeige ausschlaggebend ist, sondern im starkem Maße auch die Darstellungsart. Bei einer Negativdarstellung (helle Zeichen auf dunklem Untergrund) besteht ein höheres Risiko, dass sich Teile der Beleuchtung und andere helle Flächen auf dem Bildschirm spiegeln, als bei einer Positivdarstellung (dunkle Zeichen auf hellem Untergrund). Entsprechend dieser beiden Parameter, Entspiegelungsklasse und Darstellungsart, müssen die Werte für die Leuchtdichten, die sich im Bildschirm spiegeln können, in den zukünftigen Normen zur Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen begrenzt werden.

Bildschirm	Darstellung		
	positiv	negativ	
Güteklassen			
A	I	I	hochwertige LCD-Bildschirme, nur einige wenige Kathodenstrahlbildschirme
B	I	II	der größte Teil der LCD-Bildschirme, hochwertige Kathodenstrahlbildschirme
C	II	II	der größte Teil der Kathodenstrahlbildschirme
D	II	III	einige Kathodenstrahlbildschirme

Tabelle: Einschätzung, wie derzeit auf dem weltweiten Markt angebotene Bildschirme mit GS-Zeichen bei der Klassifizierung nach DIN EN ISO 9241-7 anteilig abschneiden

Von welcher Darstellungsart man in der Praxis ausgehen kann, ist abhängig von der Software bzw. der Einstellungen der Software. In Standardsoftware, die zur Erstellung und Verarbeitung textlicher und anderer alphanummerischer Information dient, wird der vorwiegende Teil der relevanten Information positiv dargestellt. Bei CAD- und auch Grafikanwendungen muss mit überwiegender Negativdarstellung gerechnet werden.

Mit LCD-Bildschirmen, die meist über gut entspiegelte Anzeigen verfügen, sind heute schätzungsweise 7 % bis 8 % der Bildschirmarbeitsplätze ausgestattet. Obwohl diese Bildschirme weitere Vorteile hinsichtlich einer ergonomischen Ausstattung des Bildschirmarbeitsplatzes haben – sie lassen sich aufgrund ihrer flachen Bauweise bis zu 35° nach hinten neigen (Abb. 3), sie benötigen weniger Tischfläche und im Endeffekt weniger Raumfläche – wird noch nicht mit einer bedeutend höheren Verbreitung gerechnet. LCD-Bildschirme werden zu einem Mehrfachen des Preises von Kathodenstrahlbildschirmen auf dem Markt angeboten, für viele Firmen der Grund, LCD-Bildschirme nicht zu beschaffen. Ein Preisverfall ist bis jetzt noch nicht in Sicht.

Die Einsatzzeiten von Bildschirmen liegen erfahrungsgemäß zwischen 3 und 10 Jahren. Meist werden sie ausgewechselt, wenn leistungstärkere Rechner benötigt werden.

Einige neuere Kathodenstrahlbildschirme werden mit flachen, d. h. nicht gewölbten, Anzeigen angeboten. Diese Bildschirme fallen selbst bei Negativdarstellung in die Entspiegelungskategorie I.

Andere Bildschirmstechniken, wie Plasmabildschirme, befinden sich noch in der Entwicklungsphase und ein nennenswerter Einsatz für den Bürobereich in der Praxis wird demnächst nicht erwartet.

3. Tischflächen

Von der Größe und der Form der Tischflächen ist es abhängig, wo der Bildschirm aufgestellt wird, wie die Arbeitsplätze im Raum angeordnet werden können, wo

sich verschiedene Arbeitsbereiche und Bereiche für Verkehrswege ergeben und wie detailliert darauf die Beleuchtung abgestimmt werden kann.

Die Tischfläche muss ausreichend groß sein, um die notwendigen Arbeitsmittel ergonomisch auf dem Arbeitstisch anordnen zu können und für die Erledigung der Tätigkeiten ausreichend Platz zu bieten. Deshalb ist in der DIN 4543-1 [3] eine Mindestgröße der Arbeitsfläche (Tischfläche) von 1600 mm Breite und 800 mm Tiefe bzw. 1,28 m² bei einer Mindestdiefe von 800 mm festgelegt. In vielen Büros gehören größere Kathodenstrahlbildschirme, die tiefer als 450 mm gebaut sind, zur Ausstattung. Für die Aufstellung dieser Bildschirme reichen 800 mm tiefe Tischflächen meist nicht aus, um einen ausreichenden Sehabstand (mindestens 500 mm, bei größeren Zeichendarstellungen 600 mm bis 800 mm),



Abb. 3: Aufgrund ihrer Bauweise können LCD- und Kathodenstrahlbildschirme unterschiedlich weit nach hinten geneigt werden

eine freie Aufstellung der Tastatur und eine Auflagemöglichkeit der Handballen sicherzustellen, ohne dass der Bildschirm über den Tisch in frei zugänglichen Raum hineinragt. Für diese Fälle müssen entsprechend tiefe Tische eingesetzt werden. Für Tätigkeiten, bei denen mit einem nur geringem Umfang an Arbeitsmitteln gearbeitet wird, z.B. bei ausschließlicher Tätigkeit am Bildschirm ohne Papiervorlagen, kann die Arbeitsfläche bis auf eine Mindestgröße von 1200 mm x 80 mm bzw. 0,96 m² bei einer Mindestdiefe von 800 mm verringert werden. (Abb. 4)

Für die Aufstellung der Arbeitsplätze muss nach DIN 4543-1 [3] für den Bereich, in dem der Mitarbeiter sitzt und in dem er sich frei bewegen kann, eine Fläche von 1000 mm Tiefe – in Besprechungsbereichen von 800 mm Tiefe –, die sich an dem Tisch anschließt, vorgesehen werden. Tischfläche und Bewegungsfläche ergeben den Arbeitsbereich,

- in dem der Mitarbeiter unterschiedliche Sehaufgaben verrichten muss,
- in dem er mit anderen auch visuell kommuniziert und
- in dem er sich zu einem Großteil seiner täglichen Arbeitszeit befindet.

Wenn die Lage des Arbeitsbereiches im Büroraum bekannt ist, kann die Beleuchtung darauf ausgerichtet und räumlich akzentuiert werden. Ist zudem eindeutig, wo im Arbeitsbereich Teilflächen mit unterschiedliche Sehaufgaben liegen, können diese durch die Beleuchtung noch stärker berücksichtigt und hervorgehoben werden.

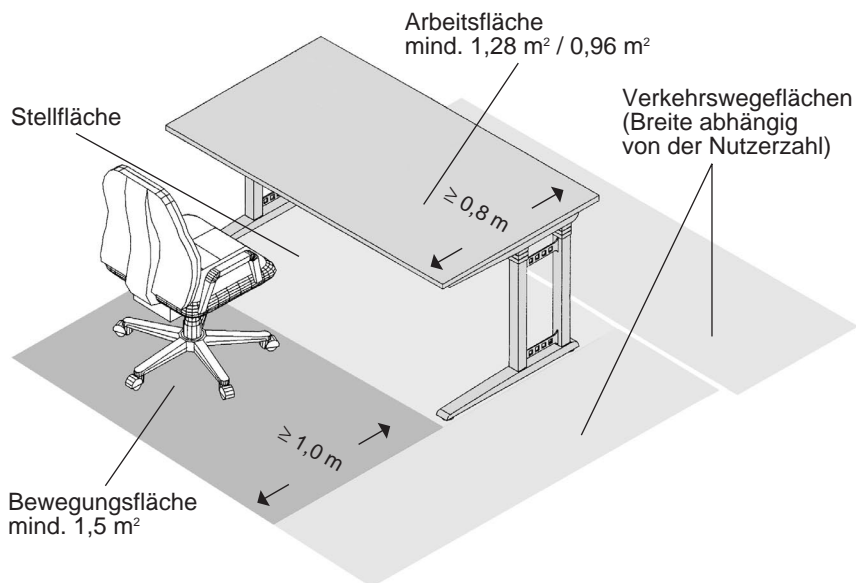


Abb. 4: Mindestgrößen von Arbeits- (Tisch-) und Bewegungsflächen DIN 4543-1

Für Arbeitsaufgaben, die aus mehreren Teiltätigkeiten bestehen, werden größere Tischflächen benötigt. In der Praxis werden, um eine günstige Untergliederung für diese Tischflächen zu schaffen, Schreibtische eingesetzt, die aus verketteten Elementen kombiniert sind oder eine zweckmäßig gestaltete Freiformplatte haben. Für die Aufstellung von Kathodenstrahlbildschirmen sind die tieferen Eckelemente oder Bereiche der Tischfläche vorgesehen.

Solche Schreibtische werden von Büroraumplanern auch eingesetzt, um eine aufgelockerte Anordnung der Arbeitsplätze zu erzielen. In Abb. 5 sind einige verschiedene Tischflächenformen in unterschiedlichen Anordnungen dargestellt.

4. Organisationsformen und Raumkonzepte

In den letzten Jahren ist die Erledigung von Bürotätigkeiten aufgrund der modernen Datenkommunikation immer weniger an feste Arbeitsorte oder feste Arbeits-

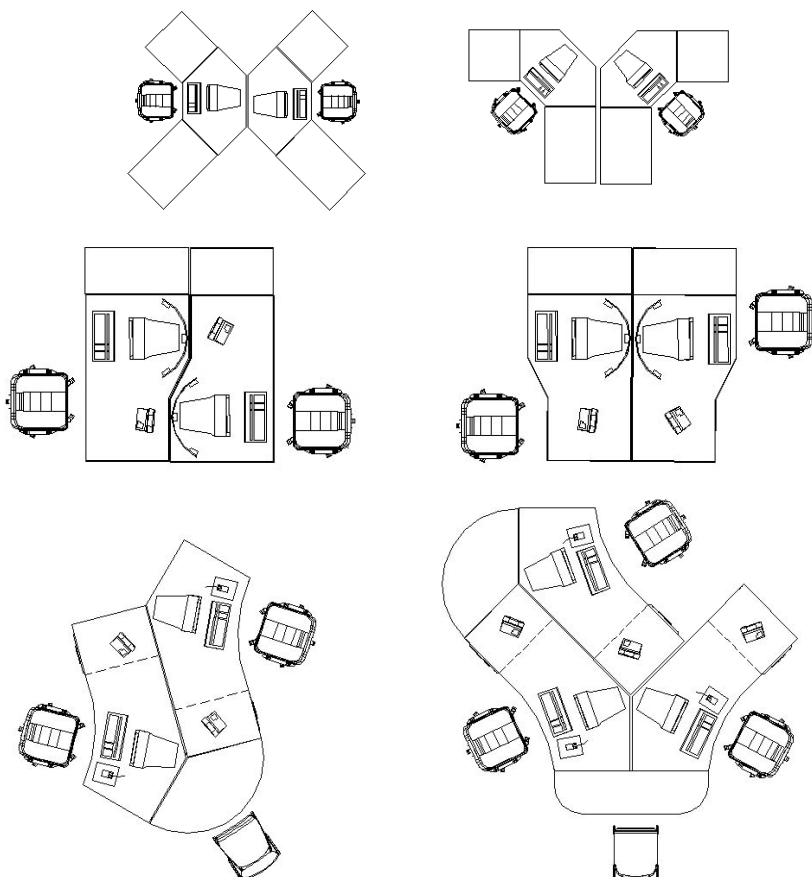


Abb. 5: Verschiedene Tischflächenformen in unterschiedlichen Anordnungen

zeiten gebunden. Dies wird von den Unternehmen genutzt, um ihre Dienstleistungen örtlich und zeitlich flexibel anbieten zu können. Auch für die Mitarbeiter können daraus Vorteile entstehen; Zeiten für Beruf, Familie und persönliche Interessen lassen sich flexibler einteilen, Wege zum Büro des Unternehmens können eingespart werden. Daraus resultieren neue Organisationsformen für die Büroarbeit, die wiederum auch neuartige Raumkonzepte erfordern.

Um Ideenfindungen zu unterstützen, suchen die Unternehmen nach neuen Wegen, die Kommunikation ihrer Mitarbeiter untereinander zu fördern und Hierarchien abzubauen. Einer davon ist, innovative Raumkonzeptionen zu nutzen.

Neue Organisations- und Raumkonzepte bringen jedoch besonders für die Planung der Umgebungseinflüsse am Arbeitsplatz – Klima, Akustik und Beleuchtung – erhöhte Anforderungen mit sich. Die jeweiligen Besonderheiten im Arbeitssystem müssen von der ersten Planungsphase an beachtet werden, um abgestimmte Lösungen zu finden und gute Arbeitsbedingungen zu schaffen. Dazu sollen einige Hinweise gegeben werden:

- Mit dem Raumkonzept Kombibüro sollen die Vorteile von Einzel- und Gruppenbüros zusammengefasst werden. In den Einzelbüros (Zellen) können die Mitarbeiter konzentriert arbeiten; die angrenzende Raumzone wird gemeinsam genutzt. Sie unterstützt den zufälligen, informellen Austausch zwischen den Mitarbeitern. In der Gemeinschaftszone werden auch Besprechungsbereiche vorgesehen.

Die Beleuchtung in den einheitlich, feststehend möblierten Einzelbüros kann exakt auf den Arbeitsbereich (Tisch und Bewegungsfläche) abgestimmt und zusätzlich für die unterschiedlichen Teilflächen ausgelegt werden. In der Gemeinschaftszone sollte durch entsprechende vertikale Beleuchtungsstärken eine angenehme visuelle Kommunikation erreicht werden. Zusätzlich muss hier die Beleuchtungslösung die lichttechnischen Anforderungen für die einzelnen funktionalen Bereiche, z.B. Aktenablage, Kopieren usw., erfüllen. Wegen der Transparenz zwischen Einzelbüros und Gemeinschaftszone gilt es, die Beleuchtungskonzeptionen hinsichtlich ihrer lichttechnischen und gestalterischen Eigenschaften aufeinander abzustimmen.

- Mit dem Konzept mobiles Büro können „über Nacht“ Räume und Raumzonen so verändert und angeordnet werden, dass sie für aktuell anstehende Arbeiten die optimalen Bedingungen liefern und die notwendige Ausrüstung bereit steht. Die Büroraumzellen werden aus schnell montierbaren und demontierbaren Einheiten universell aufgebaut. Versorgungsleitungen werden mitgeführt.

Die Beleuchtung kann diese Konzept z.B. mit mobilen Leuchten oder andere Leuchten, die eine flexible Aufstellung der Arbeitsplätze erlauben, unterstützen.

- Call Center werden in zunehmenden Maße in Unternehmen eingerichtet, die für ihre Kunden einen Telefonservice meist über eine lange Zeit des Tages oder rund um die Uhr anbieten. Call Center können auch eigenständige Unternehmen sein, die diese Kundenkontakte im Auftrag abwickeln. Andere Call Center werden tätig, um Kunden zu gewinnen, Befragungen oder Telefonverkauf durchzuführen.

Obwohl dies technisch nicht notwendig und für die ergonomische Gestaltung der Arbeitsplätze schwierig ist, werden Call-Center-Arbeitsplätze meist in größeren Räumen eingerichtet, um ein so genanntes Monitoring (Hilfestellung, Beratung aber auch Überwachung der Agenten durch einen Super-Agent) durchzuführen. Die Arbeitsplätze können linear oder ring- bzw. sternförmig in Gruppen angeordnet sein (Beispiele: Abb. 6).

Diese Arbeitsplatzgruppen können zu Arbeitsbereichen, für die die Beleuchtung jeweils ausgerichtet wird, zusammengefasst werden. Ebenso sind in den meisten Call-Center-Büros die Bereiche für die Verkehrswege fest vorgesehen, sodass eigens dafür die Beleuchtung geplant werden kann. In Call Centern wird oft auch im Schichtbetrieb gearbeitet. Durch z.B. individuell zuschaltbare oder dimmbare Leuchten, kann den Mitarbeitern die Chance gegeben werden, das Licht auf ihre sich im Tagesverlauf ändernden Bedürfnissen anzupassen. Auch Lichtmanagementsysteme sind denkbar.

- Die heutigen Möglichkeiten des Datenaustausches werden genutzt, um für die Mitarbeiter die Tätigkeit unabhängig vom räumlichen Standort des Büros vorzusehen, z.B. im Büro zu Hause am Teleheimarbeitsplatz. Für Teleheimarbeitsplätze gelten die gleichen sicherheitstechnischen und ergonomischen Anforderungen wie für die Arbeitsplätze im eigentlichen Büro. Auch die lichttechnischen Festlegungen müssen eingehalten werden. Dafür ist der Unternehmer verantwortlich.

Bei der Planung der Beleuchtung sollte besonders auf die Bedürfnisse des Mitarbeiters eingegangen werden, indem die Anlage dem häuslichen Charakters des Raumes nicht entgegensteht und der Mitarbeiter so weit wie möglich bei der Auswahl der Leuchten einbezogen wird.

- Um für den Mitarbeiter zu Hause die Verbindung zum Unternehmen und den Kollegen sowie eine zeitweise Zusammenarbeit zu gewährleisten, sollten im eigentlichen Büro des Unternehmens Arbeitsplätze für die „Telearbeiter“ zur Verfügung stehen. Eine Lösung hierfür oder auch für Bereiche, in denen die Mitarbeiter häufig im Außendienst tätig sind, kann das Desk Sharing bieten. Beim Desk Sharing sind für die Mitarbeiter im Büro eine geringere Anzahl von Arbeitstischen vorhanden, die sie bei Anwesenheit nutzen können. Die Arbeitsplätze sind nicht mehr an einen Mitarbeiter gebunden. Unterstützt wird diese Organisationsform häufig durch mobile Container mit den persönlichen Unterlagen der Mitarbeiter, der an einen nicht besetzten Arbeitstisch mitgenommen werden kann.

Da für Desk Sharing jede Raumkonzeption infrage kommen kann, sollten für die Beleuchtungsplanung die jeweiligen Randbedingungen berücksichtigt werden. Da viele Mitarbeiter an dem genutzten Platz eine Privatsphäre vermissen, könnte die Beleuchtung Möglichkeiten bieten, diese z.B. mit Hilfe von Arbeitsplatzleuchten wieder etwas herzustellen.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 9241-7 Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten; Anforderungen an visuelle Anzeigen bezüglich Reflexionen

- [2] Forschungsbericht D. Gall, C. Vandahl, W. Jordanow, S. Jordanowa
 Fb 882 – Tagelicht und künstliche Beleuchtung –
 Bewertung von Lichtschutzeinrichtungen
 Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und
 Arbeitsmedizin
- [3] DIN 4543-1 Büroarbeitsplätze – Flächen für die Aufstellung und Benutzung
 von Büromöbeln – Sicherheitstechnische Anforderungen –
 Prüfung –

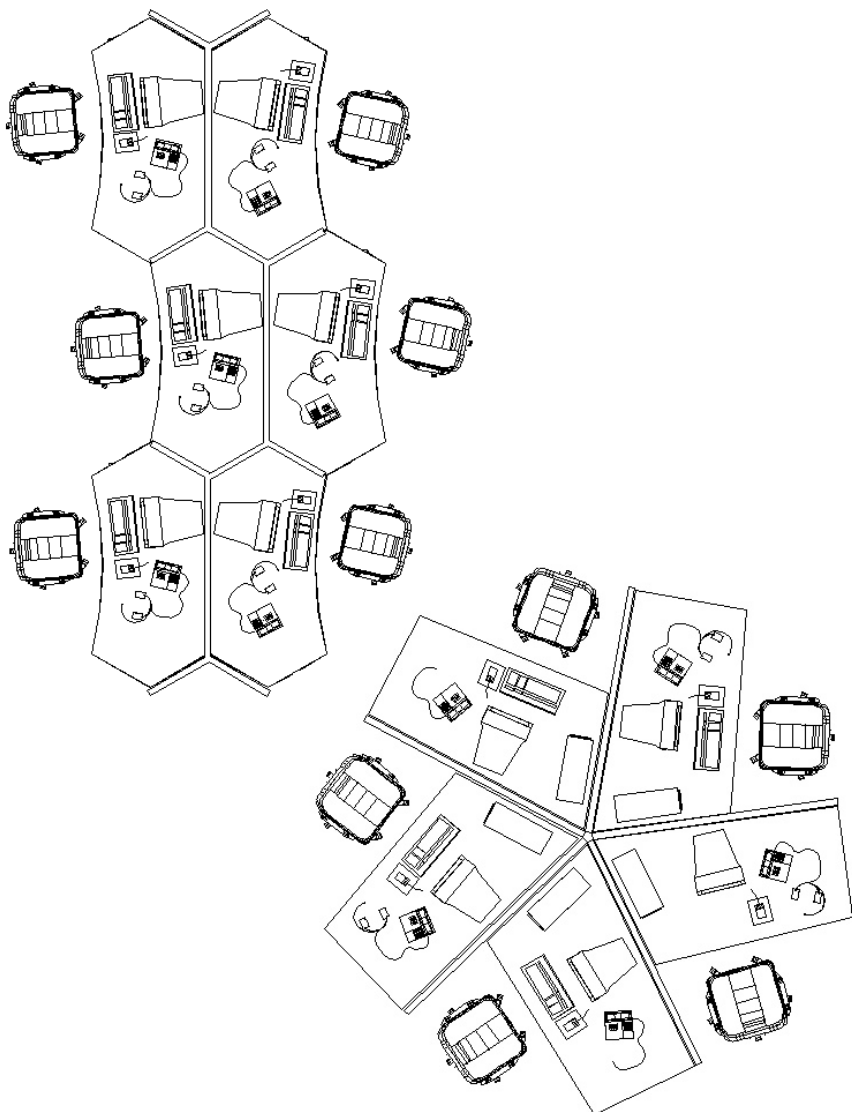


Abb. 6: Beispiele für Anordnungen von Call-Center-Arbeitsplätzen in Gruppen

Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmen

Joachim Leibig

Schon auf der Licht '98 in Bregenz wurde im Vortrag „Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen – aktueller Stand der Normung“ ausführlich auf die Problematik der Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen unter Berücksichtigung des technischen Standes der Bildschirmgeräte eingegangen.

Es wurde festgestellt, dass die Weiterentwicklung der Bildschirmgeräte sowie deren Klassifikation zu geänderten Anforderungen an die künstliche Beleuchtung führt, die eine Überarbeitung der zurzeit bestehenden Norm DIN 5035-7 /1/ notwendig macht.

Diese Überarbeitung erfolgte nun im Arbeitskreis AK 4.7 des Fachnormenausschusses Licht (FNL 4); das Ergebnis liegt in Kürze als Entwurf zur Diskussion vor.

Im Folgenden möchte ich auf die maßgeblichen Änderungen gegenüber der bestehenden DIN 5035-7 /1/ eingehen.

1. Anwendungsbereich

Diese Norm gilt – neben der Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen – auch für die Beleuchtung und beleuchtungsbezogene Gestaltung einzelner Bildschirmarbeitsplätze z.B. in Schalterhallen, Fertigungsbereichen oder Lager.

2. Begriffsbestimmungen

Hier werden in Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen 2 Bereiche unterschieden und festgelegt:

- Arbeitsbereich
- Umgebungsbereich

Im Gegensatz zu prEN 12 464 /2/ werden hier gemäss DIN 4543 – 1 /3/ die Abmessungen der verschiedenen Bereiche definiert (siehe Bild 1a und 1b).

3. Anforderungen und Empfehlungen für die Beleuchtung

In diesem Punkt wird neben der Erkennbarkeit der Bildschirminformation auch auf die Erkennbarkeit von Gesichtern, der Mimik und Gestik Wert gelegt. Des Weiteren wird ausführlich darauf hingewiesen, dass bei der lichttechnischen Gestaltung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen nicht nur die künstliche Beleuchtung sondern grundsätzlich das Tageslicht zu berücksichtigen ist:

Dipl.-Ing. Joachim Leibig
SITECO Beleuchtungstechnik GmbH
Ohmstrasse 50
D-83301 Traunreut

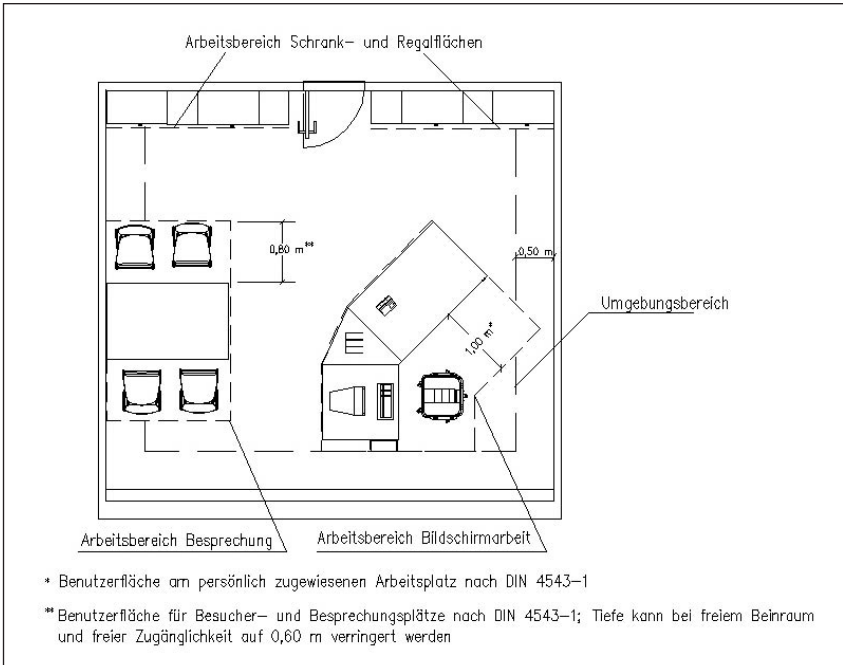


Bild 1a

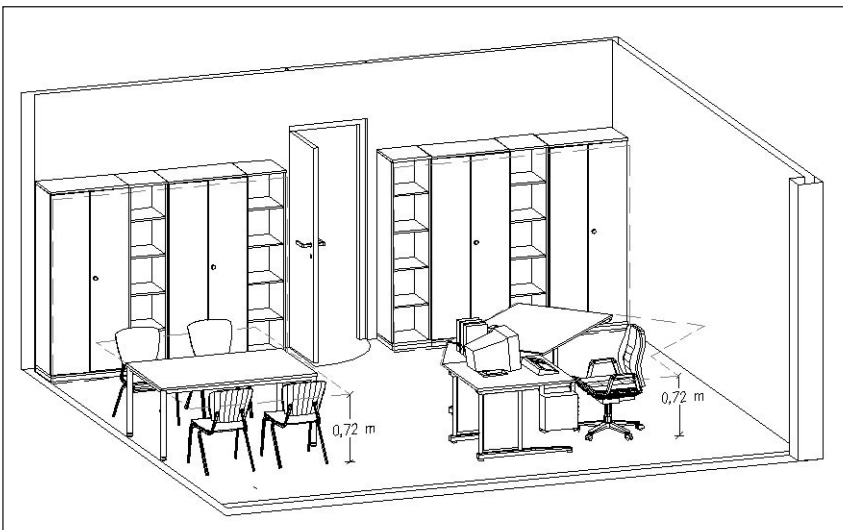


Bild 1b

Neben der Sichtverbindung nach außen spielt auch die positive physiologische und psychologische Wirkung des Tageslichtes auf das Wohlbefinden der Mitarbeiter eine entscheidende Rolle.

4. Beleuchtungsstärke

Die Qualität der Beleuchtung hängt u.a. von dem Helligkeitseindruck vertikaler Flächen und deren Erkennbarkeit im Raum ab. Dies bedeutet, dass neben den bisher üblichen horizontalen Beleuchtungsstärken die vertikalen bzw. zylindrischen Beleuchtungsstärken eine stärkere Beachtung erfahren.

Die Werte der horizontalen, zylindrischen bzw. vertikalen Beleuchtungsstärken sowie deren Gleichmässigkeit sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

5. Leuchtdichteverhältnisse im Raum

Je nach Polarität des Bildschirmes (positive oder negative Polarität) sind die Leuchtdichteverhältnisse im Raum auf die Bildschirmleuchtdichten abzustimmen.

Größere, den Bildschirm umgebende Flächen sollten jedoch keine höhere Leuchtdichte als 500 cd/m^2 aufweisen. (Ausnahme: Durch Fenster gesehene Leuchtdichten können auf Grund der positiven psychologischen Wirkung des Tageslichtes höhere Leuchtdichten aufweisen; die Fenster sollten sich jedoch nicht in der unmittelbaren Bildschirmumgebung befinden.)

6. Begrenzung der Blendung

6.1 Begrenzung der Direktblendung

Solange die Europäische Norm nicht verabschiedet ist, wird wahlweise sowohl das DIN-5035-Verfahren als auch das UGR-Verfahren empfohlen (siehe Tabelle 1).

6.2 Begrenzung der Reflexblendung

Die Begrenzung der Reflexblendung – speziell auf dem Bildschirm – lässt sich bedingt durch die Klasseneinteilung der Bildschirme nach DIN EN ISO 9941-7 /4/ besser differenzieren. Die entsprechenden Werte sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Während bei Leuchten die mittleren Leuchtdichten festgelegt werden, unterscheidet man bei leuchtenden Raumflächen zwischen mittleren und maximalen Leuchtdichten.

7. Planung der Beleuchtung

Diesem Punkt wird besonderes Augenmerk geschenkt, da für die Planung eine Reihe grundlegender Gesichtspunkte zu berücksichtigen sind, um eine ergonomisch richtige, ästhetisch befriedigende und akzeptierbare Beleuchtung zu erreichen.

Es werden die

- Beleuchtungskonzepte und
- Beleuchtungsarten

ausführlich beschrieben.

Bildschirmklasse nach DIN EN ISO 9241-7	I		II		III	
Güte des Bildschirms bezüglich Entspiegelung und Sichtbarkeit	hoch		mittel		gering	
Bildschirm polarität	positiv (hell)	negativ (dunkel)	positiv (hell)	negativ (dunkel)	positiv (hell)	negativ (dunkel)
Leuchten, die sich auf dem Bildschirm spiegeln	$\leq 1000 \text{ cd/m}$		$\leq 200 \text{ cd/m}^2$			
Leuchtende Raumflächen, die sich auf dem Bildschirm spiegeln: • mittlere Leuchtdichte • maximale Leuchtdichte	$\leq 1000 \text{ cd/m}^2$ $\leq 2000 \text{ cd/m}^2$		$\leq 200 \text{ cd/m}^2$ $\leq 400 \text{ cd/m}^2$			

Tabelle 2: Zulässige Leuchtdichten von Leuchten und Raumflächen, die sich für den Benutzer auf dem Bildschirm spiegeln in Abhängigkeit von relevanten Bildschirmmerkmalen.

Anmerkung:

Ein und derselbe Bildschirm kann bei unterschiedlicher Polarität unterschiedlichen Bildschirmklassen zugeordnet sein.

Bei den Beleuchtungskonzepten für die künstliche Beleuchtung wird unterschieden in:

- Raumbezogene Beleuchtung
- Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung
- Teilflächenbezogene Beleuchtung.

Die Vorteile der einzelnen Konzepte werden beschrieben, die entsprechenden Beleuchtungsstärken sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Diese Konzepte lassen sich realisieren mit Beleuchtungsarten die – je nach Art der Lichtstärkeverteilung der Leuchten – unterschieden werden in:

- Direktbeleuchtung
- Indirektbeleuchtung
- Direkt-/Indirektbeleuchtung.

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Beleuchtungsarten werden aufgezeigt, wobei speziell auf die Problematik der direktstrahlenden Leuchten mit tief strahlender Lichtstärkeverteilung bzw. von unten offenen Leuchten mit direktem Blick auf Lampen und / oder deren Spiegelbilder eingegangen wird.

8. Steuerung von Beleuchtungsanlagen

Hier wird auf die Anpassung des Lichtes an die Sehaufgabe sowie die positive Beeinflussung des Leistungsvermögens hingewiesen. Daneben lässt sich mittels Lichtmanagement eine tageslichtabhängige künstliche Beleuchtung realisieren.

Fazit:

Der Arbeitskreis ist der Meinung, mit diesem Entwurf

- an den technischen Stand der Bildschirmgeräte angepasste lichttechnische Werte festgelegt,
- neben der künstlichen Beleuchtung das Thema Tageslicht und dessen positive Wirkung auf den Menschen berücksichtigt und
- die Planung der Beleuchtung ausführlich beschrieben zu haben.

Unser Anliegen ist, dass dieser Entwurf so schnell wie möglich in eine Norm umgesetzt wird, damit die Unsicherheiten, die zum Teil bei der Planung von Beleuchtungsanlagen für Räume mit Bildschirmarbeitsplätzen bestehen, beseitigt werden und der Nutzer Umgebungsbedingungen vorfindet, in denen er stressfrei und motiviert arbeiten kann.

Literatur:

- /1/ DIN DIN 5035-7 Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht, Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen und mit Arbeitsplätzen mit Bildschirmunterstützung, Sept. 1988
- /2/ DIN EN prEN 12464 Light and Lighting of indoor work places, April 2000
- /3/ DIN DIN 4543-1 Büroarbeitsplatz-Flächen für die Aufstellung und Benutzung von Büromöbeln – Sicherheitstechnische Anforderungen – Prüfung –
- /4/ DIN EN ISO 9241-7 Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten; Anforderungen an visuelle Anzeigen bezüglich Reflexionen

1	2	3	4				5		6		
			Horizontale Beleuchtungsstärke		Zylindrische Beleuchtungsstärke	Vertikale Beleuchtungsstärke auf Schrank- und Regalflächen		Begrenzung der Direktblendung			
Art des Raumes bzw. der Tätigkeit	Beleuchtungs- konzept	Arbeitsbereich/ Umbereichsbereich	$\bar{E}_{h,m}$ [Lux]	g_1	$\bar{E}_{c,m}$ [Lux]	g_1	$\bar{E}_{v,m}$ [Lux]	g_1	DIN 5035	UGR	Anmerkungen und Hinweise
Bürräume und büroähnliche Räume	Raumbezogene Beleuchtung	Grundfläche des Raumes, siehe 7.3.1	500	0,6	175	0,6	175	0,6	GKA	19	<ul style="list-style-type: none"> • siehe auch Abschnitt 7.6.2 • Es muß sichergestellt sein, daß an jedem Bildschirmarbeitsplatz die Anforderungen der Arbeitsbereichsbezogenen Beleuchtung für den Bereich Bildschirmarbeit erfüllt wird.
			500	0,6	150	0,6	-	-	-	GKA	19
	Arbeitsbereichs- bezogene Beleuchtung	Bildschirmarbeit	500	0,6	175	0,6	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • siehe auch Abschnitt 7.6.2
		Besprechung	500	0,6	150	0,6	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • siehe auch Abschnitt 7.6.2
		Schrank- und Regalflächen	-	-	-	-	150	0,5	GKA	19	<ul style="list-style-type: none"> • Begrenzung der Direktblendung: Blick in Richtung auf Schrank-/Regalflächen
		Umgebung	300	0,5	150	0,6	-	-	GKA	19	<ul style="list-style-type: none"> • siehe auch Abschnitt 7.6.2

Tabelle 1: Richtwerte der beleuchtungstechnischen Gütekriterien und Hinweise für Räume mit Bildschirmarbeitsplätzen
Tabelle 1.1: Raumbezogene Beleuchtung – Arbeitsbereichbezogene Beleuchtung

1	2	3	4				5		6			
			Horizontale Beleuchtungsstärke		Zylindrische Beleuchtungsstärke		Vertikale Beleuchtungsstärke auf Schrank- und Regalfächern			Begrenzung der Direktblendung		
Art des Raumes bzw. der Tätigkeit	Beleuchtungs- konzept	Arbeitsbereich/ Umbgebungsbereich	$\dot{E}_{h,m}$ [Lux]	g_1	$\dot{E}_{c,m}$ [Lux]	g_1	$\dot{E}_{v,m}$ [Lux]	g_1	DIN 5035	UGR	Anmerkungen und Hinweise	
Bürräume und büroähnliche Räume	Teilflächen- bezogene Beleuchtung	Teilfläche für die Schnaufgabe 800 mm x 600 mm	750	0,7	-	-	-	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> $\dot{E}_{h,m}$ und g_1 gelten in Verbindung mit der Beleuchtung des Arbeitsbereiches Bildschirmarbeit siehe auch Abschnitt 7.6.2
			500	$E_{min} \geq 300$	150	0,6	-	-	-	GKA	19	<ul style="list-style-type: none"> siehe auch Abschnitt 7.6.2
		500	0,6	150	0,6	-	-	-	-	GKA	19	<ul style="list-style-type: none"> siehe auch Abschnitt 7.6.2
		-	-	-	-	150	-	0,5	0,5	GKA	19	<ul style="list-style-type: none"> Begrenzung der Direktblendung: Blick in Richtung auf Schrank-/Regalfächern siehe auch Abschnitt 7.6.2
	Umgebung		300	0,5	150	0,6	-	-	GKA	19	<ul style="list-style-type: none"> siehe auch Abschnitt 7.6.2 	

Tabelle 1: Richtwerte der beleuchtungstechnischen Gütekriterien und Hinweise für Räume mit Bildschirmarbeitsplätzen
Tabelle 1.2: Teilflächenbezogene Beleuchtung

1	2	3	4				5		6	
			Horizontale Beleuchtungsstärke		Zylindrische Beleuchtungsstärke		Vertikale Beleuchtungsstärke auf Schrank- und Regalfächern			Begrenzung der Direktblendung
Art des Raumes bzw. der Tätigkeit	Beleuchtungskonzept	Arbeitsbereich/ Umgebungsbereich	$\dot{E}_{h,m}$ [Lux]	g_1	$\dot{E}_{z,m}$ [Lux]	g_1	$\dot{E}_{v,m}$ [Lux]	g_1	UGR	Anmerkungen und Hinweise
Einzelne Bildschirmarbeitsplätze	Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung	Bildschirmarbeit	500	0,6	-	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> Zur Begrenzung der Direkt- und Reflexblendung siehe 5.4
	Teilflächenbezogene Beleuchtung	Teilfläche für die Sehaufgabe 800 mm x 600 mm	750	0,7	-	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> Zur Begrenzung der Direkt- und Reflexblendung siehe 5.4
Messstände, Steuerbühnen, Wartfen	Raumbezogene Beleuchtung	Grundfläche des Raumes, siehe 7.3.1	500	$E_{min} \geq 300lx$	-	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> Zur Begrenzung der Direkt- und Reflexblendung siehe 6.5
	Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung	Bildschirmarbeit	500	0,7	-	-	-	-	GKA 16	<ul style="list-style-type: none"> siehe auch Abschnitt 7.6.2 siehe auch DIN 33 414
			500	0,7	-	-	-	-	GKA 16	<ul style="list-style-type: none"> siehe auch Abschnitt 7.6.2 siehe auch DIN 33 414

Tabelle 1: Richtwerte der beleuchtungstechnischen Gütekriterien und Hinweise für Räume mit Bildschirmarbeitsplätzen

Tabelle 1.3: Einzelne Bildschirmarbeitsplätze – Messstände, Steuerbühnen, Wartfen

Verkaufslicht unter Corporate Identity Aspekten

H.-Otto Flach

Sehen wir die Dinge, wie sie wirklich sind: Keines gleicht dem anderen. Alles um uns herum hat eine unverwechselbare Erscheinung. Und mehr noch: Jeder von uns betrachtet seine Umwelt aus ganz persönlichen Sichtweisen heraus. Handelt, denkt, fühlt nicht jeder von uns auf seine eigene Weise? Machen all diese unterschiedlichen Wahrnehmungen und Einstellungen uns nicht erst zu Persönlichkeiten?

Nach außen wiederum geben wir ein Bild von unserer Persönlichkeit ab. Dieses Persönlichkeitsbild ist umso mehr charakteristisch, je stärker die Menge aller Merkmale – der äußeren wie der inneren – in sich stimmig und auf einander abgestimmt sind. Um sportlich zu erscheinen etwa reichen ein Paar neue Nikes nicht aus, der wohlgenährte Bauch oder die Zigarette in der Hand widersprechen sofort diesem Bild. Zudem ist das Aussehen – also die hard facts – nicht gleich Identität. Das Auftreten, die Meinungen, Einstellungen und Haltungen tragen – gleichsam als soft facts – ebenso zum Persönlichkeitsbild bei.

Hard und soft facts sind gleichermaßen für die Bildung einer Identität wichtig. Gerade das Zusammenspiel dieser verschiedenen Merkmale gehört zu den grundsätzlichen Voraussetzungen für menschliche Wahrnehmung, Orientierung und für Glaubwürdigkeit. Das gilt für jede menschliche Kommunikation – unter Kollegen, mit Mitarbeitern, Kunden oder Marktpartnern. Wir spüren, hören, sehen stets mehr als das, was tatsächlich gesagt wird.

Dieser Denkansatz lässt sich auf Unternehmen und auf die Bildung von Marken übertragen. Ein Unternehmen soll sich kein Image aufsetzen, sondern Identität leben./01/ Unternehmensidentität ist das Zusammenspiel vieler unterschiedlicher Merkmale:

- Produkt und Service
- Kompetenz und Qualität
- Marktauftritt und Kunden
- Führungsqualitäten und Mitarbeitermotivation
- Soziale und emotionale Kompetenz
- Unternehmenskultur und Visionen

Unternehmensidentität – Corporate Identity – macht dann Sinn, wenn sich in ihr ganz bestimmte Kundenbedürfnisse widerspiegeln und erlebt werden können. Die besondere Herausforderung bei der Entwicklung einer Corporate Identity liegt darin, den Point of Sale qualitativ gleichbleibend unverwechselbar zu prä-

gen und zu gestalten. Je besser dies gelingt, desto glaubwürdiger und höher ist der Wiedererkennungswert des Unternehmens – umso erfolgreicher wird die Marke sein.

Was ist dafür zu tun? Wie funktioniert das eigentlich: Erkennen? Tun wir uns nicht alle dann leicht mit dem Erkennen von Gegenständen, Sachverhalten, Marken, wenn die jeweilige Information möglichst einfach und prägend ausfällt? Einige prägnant formulierte Aussagen für Marken fallen jedem sofort ein. Beispiele dafür sind:

- Nichts ist unmöglich – Toyota
- Die tun was – Ford
- Freude am Fahren – BMW
- Auf diese Steine können Sie bauen – Schwäbisch Hall
- In Touch with Tomorrow – Toshiba
- Wenn's um Geld geht – Sparkasse

Treffend, knapp und klar formulierte Aussagen wie diese werden untrennbar mit der Marke in Verbindung gebracht, ohne den Namen der Marke selbst zu nennen. Durch Assoziation, durch virtuelles Verbinden von Merkmalen sind wir in der Lage, Dinge und Begriffe zu erkennen und wahrzunehmen, obwohl diese Information konkret nicht gegeben wird!

Dieser Bezug ist in jeder Art der Wahrnehmung relevant. Dabei bilden wir uns eine Meinung mit Hilfe verschiedener Messlatten – wir vergleichen. Wir Menschen sind „analoge“ Wesen. Wir nehmen wahr, wir kommunizieren, wir erleben unsere Umwelt, indem wir ständig vergleichen und in Bezug setzen. Wir spüren die Temperatur eines Gegenstandes – wir vergleichen sie mit der eines anderen und vermögen zu sagen, welcher kälter oder wärmer ist. Als Verabredung über ein einheitliches Maßsystem schließlich entstand das Thermometer, egal ob von Kelvin oder Celsius. Ebenso fühlen wir die Textur, die Struktur von Oberflächen und bewerten sie, indem wir sie miteinander vergleichen. Wir hören Geräusche und können sagen, welches lauter ist, aber wie laut in Dezibel (dB) gemessen? So sind im Grunde alle Messverfahren Hilfsmittel für unsere Sinne und auch für die Kommunikation darüber. Mit diesen Messverfahren werden Quantitäten festgestellt. Qualität aber definiert sich nicht allein durch Quantität. In unserem Fall bezeichnet sie eine optimale Übereinstimmung zwischen der Leistung eines Unternehmens und den Wünschen und Bedürfnissen von Kunden. Qualität also bezieht die Gefühle, die Stimmungen und Meinungen der Kunden ein.

Wie hell ist hell?

Dieser Frage begegnen wir Lichtmenschen tagtäglich: Es ist der Wunsch unserer Kunden, es richtig hell, nicht so hell, gemütlich hell oder schön hell zu haben. Wie aussagekräftig ist diese Information?

Im Vergleich zum wolkenlosen Sonnenhimmel an einem Wintertag ist das Licht einer einzigen Kerze ein Nichts. Jedoch vermag diese eine Kerze einen Raum so ausreichend zu erhellen, dass wir mühelos uns darin orientieren, ja sogar lesen können./Abb. 01, 02/



Abb. 01



Abb. 02

Installieren wir in einem weißen und in einem schwarzen Raum dieselben Beleuchtungsstärken, so wird der weiße Raum zweifellos als der hellere wahrgenommen, denn: Beleuchtungsstärken kann man nicht sehen, oder: Ein schwarzer Raum bleibt immer schwarz.

Derselbe graue Karton erscheint auf schwarzem Hintergrund deutlich heller als in weißer Umgebung./Abb. 03/

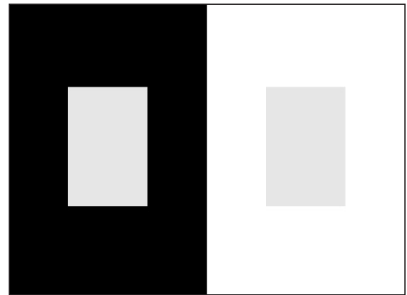


Abb. 03

Point of Sale

Vor gut 15 Jahren tauchten die ersten Shop-In-Stores im Textileinzelhandel auf. Seither hat sich die Verkaufslandschaft entscheidend verändert. In Erkenntnis der gerade angeführten Zusammenhänge von Corporate Identity, Kommunikation, Kundenbedürfnissen und Wahrnehmung tätigen Unternehmen große Anstrengungen, mit individuellem Auftritt am POS ihrer Marke ein eigenes Erscheinungsbild zu geben.

Identität wird erzeugt durch die Anwendung aller erdenklichen Gestaltungsmittel aus Architektur und Design:

- speziell entwickelte Warenträger
- besondere Bodenbeläge
- eigenständige Wandabwicklungen
- detailliert gestaltete Kabinenbereiche
- verschiedene Materialien
- Textur, Struktur, Form und Farbe

Verstärkt werden diese Gestaltungsmittel zunehmend durch den Einsatz audiel-
ler und visueller Komponenten. Neben Musikanlagen erfreuen sich Projektions-
systeme, Screens und Monitorwände zunehmender Beliebtheit. Ja sogar Düfte
werden gezielt eingesetzt, um eine stimmige Atmosphäre zu erzeugen. Das Zu-
sammenspiel dieser Wahrnehmungskomponenten hilft, eine Marke vom Wettbe-
werb abzugrenzen, „Lifestyle feeling“ zu schaffen, und so die gewünschten Kun-
dengruppen gezielt anzusprechen.

Und wo bleibt das Licht? Nur all zu oft bleibt man bei der konsequenten Umset-
zung des akribisch entwickelten Gestaltungssystems auf halbem Wege stehen.
Halber Weg, d. h. der Beleuchtung wird keine oder nur eine geringe Bedeutung
zugemessen.

Werden Oberflächen und Räume nicht erst durch das reflektierte Licht sichtbar?
Sind nicht Farbe und Oberfläche von Gegenständen nur in Verbindung mit dem
auf sie treffenden Licht wahrnehmbar? Erst durch Licht wird visuelle Kommuni-
kation zu dem, was sie ist. Ohne Licht ist sie nicht existent.

Und: gibt es einen kommunikativeren Ort als den POS? Dort, wo – knapp formu-
liert – Kunde und Marke aufeinander treffen, kommt dem Medium Licht eine zen-
trale Bedeutung zu. Licht ist die entscheidende Voraussetzung für visuelle Wahr-
nehmung. Erst dann, wenn die Beleuchtung nicht nur als ein Additiv, als ein „neu-
es Paar Sportschuhe“, als die sprichwörtliche „Feder am Hut“ angesehen wird,
sondern sensibel abgestimmt auf die o.g. Gestaltungsmittel eingesetzt wird,
eben als übergeordnetes, verbindendes Element zwischen diesen – erst dann ist
die zweite Hälfte des Weges geschafft.

Denken wir an den Augenblick, in dem wir – die Rolltreppe benutzend – die
nächste Ebene eines Kaufhauses betreten und uns einen ersten Überblick ver-
schaffen. Niemand ist wohl in der Lage, von hier aus die unterschiedlichen Bo-
denbeläge zu erken-
nen und mit dieser In-
formation auf diesen
oder jenen Shops zu
schließen. Um auf
den ersten Blick eine
Marke, einen Shop zu
erkennen, bedarf es
einer grundlegend an-
deren, einer eindeuti-
gen Informationsqua-
lität. /Abb.04/



Abb. 04

Hier kommt es in er-
ster Linie auf die
Fernwirkung an.
Fernwirkung wird er-
zeugt durch das Zu-

sammenspiel aller o.g. Gestaltungselemente. Aber erst, wenn Qualität, Intensität und Farbtemperatur der Beleuchtungskomponenten passend gewählt wurden, wird diese Information eindeutig, unverwechselbar.

Im richtigen Licht

Jedes Material, jede Oberfläche, jede Farbe und jede Form vermittelt nicht nur die Information über sich selbst. Zusätzlich verknüpfen wir besondere charakterliche Wertvorstellungen mit dieser Informationen, zum Beispiel:

- Holz, Textilien: – Natur, Wärme
- Glatte, glänzende Oberfläche: – edel, sauber, hochwertig
- eckige, orthogonale Formen: – kühl, ästhetisch

Allgemein geläufig ist, dass mit Farben unterschiedliche Temperamente, Gefühle und Charaktere beschrieben werden können.

Die Kombination all dieser Elemente, nennen wir sie „Datenträger“, ist zweifellos prägend für das Corporate Design der Marke. Entscheidende Bedeutung für die erfolgreiche Umsetzung der Corporate Identity einer Marke hat – ebenfalls ohne Zweifel – die Beleuchtung. Natürlich ist für eine optimale Warenpräsentation das Vorhandensein einer gewissen Beleuchtungsstärke notwendig. Nennen wir es „Das Licht zum Sehen“, nicht weniger – aber auch nicht mehr! Um jedoch Stimmung, Atmosphäre zu erzeugen, ist besonderes auf die Wahl der richtigen Lichtqualität und -intensität zu achten. Hier gilt es, folgende Kriterien zu unterscheiden:

Beleuchtungsstärke (horizontal sowie vertikal)

- Verhältnis Grundlicht – Akzentlicht
- Verhältnis Direkt – Indirektlicht
- Auswahl der Lichtfarbe
- Auswahl der Leuchtmittel (punktförmig, großvolumig)

Beleuchtungsstärke:

Das Verhältnis zwischen horizontaler und vertikaler Beleuchtungsstärke ist entscheidend für das Raumgefühl. Besonders über eine gute Ausleuchtung von Wandzonen wird der Raum definiert, es werden „Horizonte“ geschaffen.

Grundlicht-Akzentlicht:

Der Verzicht auf Akzentlicht bewirkt einerseits eine gewisse Egalisation, ein Gleichschalten aller Gestaltungselemente. Nichts wird betont, hervorgehoben, aber auch nichts wird zurückgesetzt. Andererseits kann sich Langeweile einstellen. Das Fehlen von Attraktionen und Höhepunkten erschwert die Orientierung. Erst durch Akzentlicht werden bestimmte Details definiert – der Raum erfährt eine Gliederung, er bekommt Struktur und Proportion.

Direkt-Indirektlicht:

Durch den Einsatz von indirektem Licht werden hohe vertikale Beleuchtungsstärken geschaffen. Der Raum wird optisch erhöht. Da in aller Regel die Raumdecke den höchsten Reflektionswert im Raum hat, wird so sichtbare

Helligkeit erzeugt. Aber erst direktes Licht sorgt für Schatten und Dreidimensionalität. Am ehesten nachvollziehbar ist die Notwendigkeit von Akzentlicht für diejenigen unter uns, die schon einmal im Nebel Ski gefahren sind!

Lichtfarbe:

Eine Produktinformation eines namhaften deutschen Leuchtmittelherstellers hatte den Titel: „Licht kann weiß, weiß, weiß oder weiß sein! Treffender geht's nicht. Obwohl wir differenzieren zwischen verschiedenen Lichtfarben, den unterschiedlichen Farbtemperaturen der jeweiligen Lichttechniken, so ordnen wir im allgemeinen Licht der Farbe Weiß zu. Nur: Welches Weiß ist das richtige, um das betreffende Material optimal zu beleuchten? Es ist eine gezielte Abstimmung auf den Materialmix notwendig, um die richtigen Lichtfarbe zu wählen.

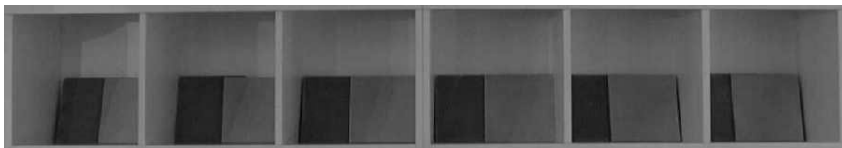


Abb. 05

Zum Vergleich: Sechs identische Materialproben beleuchtet mit unterschiedlichen Lichttechniken und verschiedenen Lichtfarben. Abb./05, 06/

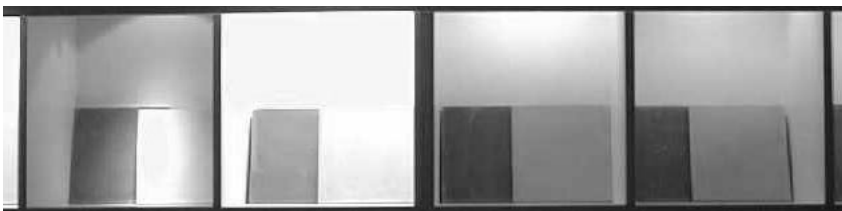


Abb. 06

Leuchtmittelgröße:

Um der kristallinen Struktur eines Granitsteinbodens Tiefe und Brillanz zu verleihen, bedarf es punktförmiger Lichtquellen und einer „scharfen“ direkten Beleuchtung. Gleichmäßige Lichtverteilungen für Wandbereiche zum Beispiel erreicht man durch Flächenstrahler.

Gebaute Beispiele

Beispiel 1

Eine eindeutige Wandabwicklung durch prägnante Farbgebung: Diese wird unterstützt durch linienförmige Hinterleuchtung in gleicher Farbe. Diese unterstützt die orthogonale Formensprache sowohl der Wanddisplays als auch der Positionierung und Form der Beleuchtungselemente. Als Lichttechnik werden Metallhalogenhochdrucklampen eingesetzt, die sich durch eine brillante Lichtqualität und einen hohen Blauanteil auszeichnen. Als wohltuende Ergänzung hierzu sind die eher warme Farbgebung der Warenträger (Ahornretro) und des Fußbodens (Verlegeplatten auf Sandsteinbasis) hervorzuheben.



Abb. 07

Diese feinfühlig gestaltete Atmosphäre wird zusätzlich durch eine spezielle Beduftungsanlage definiert. Die Dufttechnik ist die Leuchtenkörper integriert.

/Abb. 07/

Beispiel 2

Der Rückwandbereich wird eher sensibel gestaltet. /Abb. 08/ Dafür wird der Kabinenblock durch das Rot von Wand, Vorhang und Fußboden als „Intimbereich“ gestaltet. /Abb.09/ Die Fernwirkung wird in erster Linie erreicht durch den

Einsatz von Pendelleuchten mit opalen Glasschirmen. Analog zum Materialwechsel zwischen Kabinenbereich und offener Shopfläche wird gewechselt zwischen Niedervolthalogentechnik und Metallhalogenhochdrucklampen.



Abb. 08



Abb. 09

Beispiel 3

Hohe Fernwirkung durch offene Technikdecke, die im Gegensatz zum Umfeld schwarz weggestrichen ist: Grundbeleuchtung zum einen über abgependelte Lichtelemente, zum anderen durch selbstleuchtende Warenträger mit Leuchtstofflampen. Das notwendige Akzentlicht steuern Strahlschienenspots mit „scharfem“ CDM-T-Licht bei. Die hier erzeugte „maschinenähnliche“ Atmosphäre wird zusätzlich verstärkt durch abgependelte Monitore, worüber Musikvideos abgespielt werden./Abb. 10/

Die hier genannten Beispiele geben einen repräsentativen Überblick über die gelungene Umsetzung von Verkaufslicht unter Corporate-Identity-Aspekten. Stehen sie doch – jedes für sich – für unterschiedliche Gestaltungs- und Designhaltungen und damit für unterschiedliche Marken und Kundenprofile.



Abb. 10

Abschließend bleibt festzustellen:
Eigentlich ist es ganz einfach – aber das macht es gerade so kompliziert!

Quellenhinweise:

- /01/ www.acts-facts.at
- /Abb. 04/ Sinn Leffers, Hannover
- /Abb. 07/ SIS-Fläche Brax, Sinn Leffers, Hannover
- /Abb. 08, 09/ SIS-Fläche Street One, Sinn Leffers Hannover
- /Abb. 10/ SIS-Fläche Esprit EDC, Sinn Leffers Hannover

Wieviel Tageslicht im Tageslicht-Museum?

Bedingungen und Grenzen der Museumsbeleuchtung durch Tageslicht am Beispiel des Erweiterungsbaus der Kunsthalle in Emden

Wolfgang Prah, Georg Roessler

1. Tageslichtbeleuchtung in Museen

Das Tageslicht wird für die Beleuchtung von Museen und Ausstellungen von vielen Architekten und Museumsfachleuchten aus mehreren Gründen hoch geschätzt und sogar als die ideale Lichtquelle angesehen:

- Verfügbarkeit über lange Zeiten des Tages mit hohen Beleuchtungsniveaus;
- Dynamik und belebende Wirkung durch den Wechsel mit der Tages- und Jahreszeit und durch das Wetter;
- Sehr gute und natürliche Wiedergabe der Objekte bei jedem Tageslichtzustand;
- Anscheinend kostenfreie Verfügbarkeit;
- Bei Tageslichteinfall durch Seitenfenster gleichzeitig Sichtverbindung mit der Außenwelt, Möglichkeit der Orientierung und Integration von Umgebung und Ausstellungsräumen.

Diesen Vorzügen stehen notwendige erhöhte Anforderungen gegenüber wie

- Maßnahmen für Heizung und Klimatisierung;
- Schutz gegen Sonneneinstrahlung und Blendung;
- Vermeidung von Reflexen und Spiegelungen auf Exponaten und Vitrinen. Besonders problematisch sind die konservatorischen Konsequenzen:
- Über lange Tageszeiten wirksame, sehr hohe Beleuchtungsstärken;
- Erwärmung der Innenräume;
- Hohe Anteile kurzweiliger Strahlung, die zu Schädigungen an den Exponaten führen.

2. Die Kunsthalle in Emden als Tageslichtmuseum

Der erste Bau der Kunsthalle der Stiftung Henri und Eske Nannen ist am 3. Oktober 1986 eröffnet worden. Der Erweiterungsbau, dessen Eröffnung für den 2. Oktober 2000 vorgesehen ist, wurde dadurch auf den Weg gebracht, daß der Münchner Galerist und Sammler Otto van der Loo den größten Teil seiner bedeutenden Sammlung von Kunst der Moderne dem Stifter der Kunsthalle, Henri Nannen, unter der Bedingung zusagte, daß diese Sammlung in einem neuen Gebäude gezeigt werden sollte.

Dipl.-Ing. Wolfgang Prah,
Hamburgische Electricitäts-Werke
Überseering 12, D-22297 Hamburg.

Dr. Ing. Georg Roessler,
Ingenieurbüro Dr. Roessler + Partner,
Maria-Louisen-Str. 94, D-22301 Hamburg.

Wie schon die vorhandene Kunsthalle des Architektenpaares Spengelin aus Hannover ist auch der Erweiterungsbau ein Tageslichtmuseum. Soweit und solange verfügbar, soll also das Tageslicht für die Beleuchtung der Ausstellungsräume und der Exponate genutzt werden, wobei die Beleuchtungsstärken durch geeignete Maßnahmen auf konservatorisch vertretbare Werte begrenzt werden müssen. Bei der Tageslichtplanung für den Erweiterungsbau sind die lichttechnischen, wärmetechnischen und konservatorischen Daten zahlreicher Verglasungen unterschiedlich hohen Standards näher untersucht worden, um im Verhältnis zu den Kosten ein Optimum der technischen Eigenschaften zu finden.

In Fortsetzung der bisherigen Konzeption gibt es auch im Erweiterungsbau große, hohe Säle, die durch Shedfenster beleuchtet werden, jetzt jedoch alle nach Norden orientiert sind (vgl. Bild 1). Zwei Kabinette mit geringerer Deckenhöhe haben Oberlichter in etwas erhöhten, langgestreckten Schächten, das untere schräggestellt in Richtung Westen, das obere als Shedfenster Richtung Osten. In mehreren Ausstellungsräumen gibt es schmale, hohe Seitenfenster, die eine Sichtverbindung nach außen herstellen, Eingeschlossenheitsgefühle vermeiden und der Orientierung dienen sollen (vgl. Bild 2). Ihr Beitrag zur Beleuchtung der Ausstellungsflächen ist jedoch infolge ihrer Positionen gering.

Sobald das Tageslicht nicht mehr ausreicht, wird zur Beleuchtung der Exponate Kunstlicht dazugeschaltet. Räume und Bereiche, die nur wenig Tageslicht

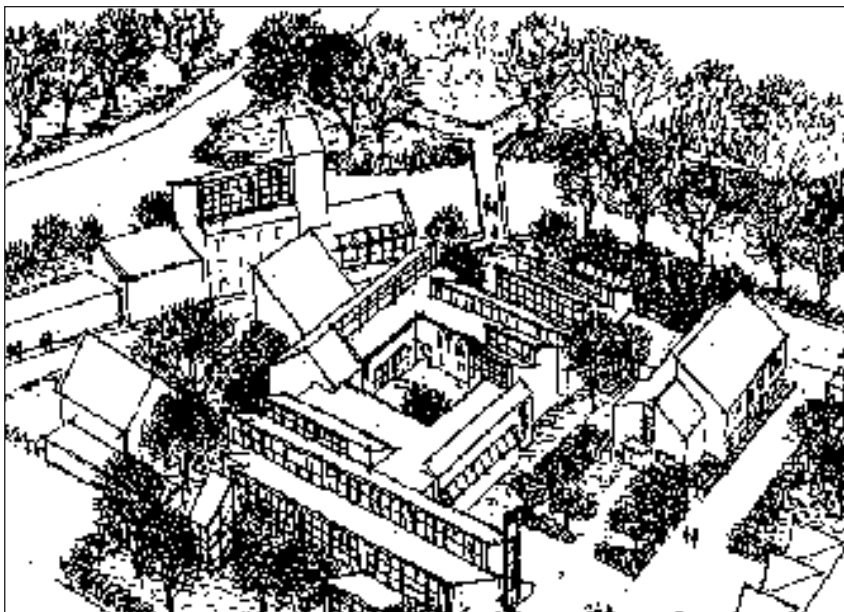


Bild 1: Gesamtansicht der Kunsthalle in Emden mit dem Erweiterungsbau im unteren Teil, nach Norden orientierte Shedstruktur, Zeichnung des Architekten Prof. Friedrich Spengelin

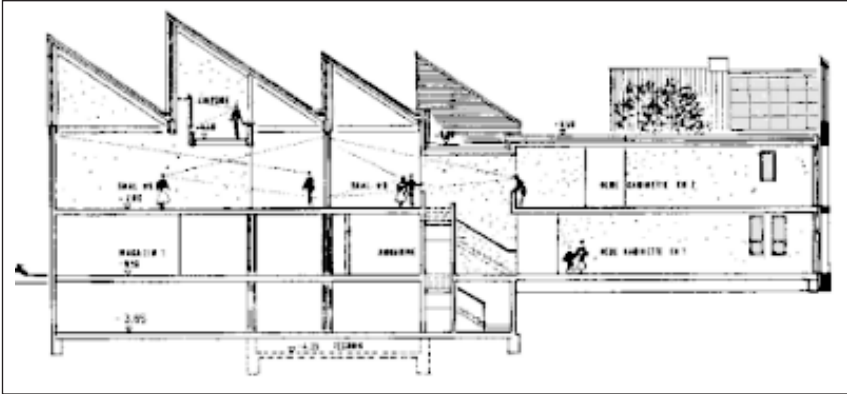


Abb. 2: Schnitt durch den Erweiterungsbau der Kunsthalle in Ermden: Hohe Ausstellungssäle mit nach Norden orientierten Shedfenstern (linker Teil), niedrigere Ausstellungskabinette mit einigen Seitenfenstern (rechter Teil).

erhalten (Kabinette, Bereiche unter den Emporen), werden ständig künstlich beleuchtet.

Die Tageslicht-Beleuchtung wird durch Jalousien mit Horizontal-Lamellen geregelt. Dabei werden bei heruntergefahrenen Jalousien die Lamellen in Schritten mehr oder weniger weit geöffnet. Lediglich für Reinigung, Wartung und Reparaturen oder bei Sturm werden die Jalousien hochgefahren. Außerhalb der Öffnungszeiten werden die Lamellen völlig geschlossen, um eine unnötige Belastung der Exponate durch Tageslicht zu vermeiden. Durch Sonnenschutz- und Wärmeschutzverglasungen werden günstige thermische und klimatische Bedingungen in den Räumen aufrechterhalten.

Die der Beleuchtung durch Tageslicht dienenden Fenster, d.h. die Shedfenster und Oberlichter, haben Verglasungen mit relativ hohem Lichttransmissionsgrad über 60 % erhalten, um über möglichst lange Zeit möglichst viel Tageslicht in die Räume zu lassen. Die Seitenfenster für den Ausblick ins Freie sind dagegen mit Verglasungen geringerer Lichttransmission von ungefähr 40 % ausgestattet worden, um hier die Jalousien möglichst lange und möglichst weit geöffnet zu lassen, damit man etwas länger ins Freie blicken kann.

3. Konservatorische Anforderungen an die Tageslicht-Beleuchtung

In jedem Fall sollen die Exponate durch das Tageslicht gar nicht oder nur wenig geschädigt werden. Da mit abnehmender Wellenlänge des Lichts die Schädigungswirkung zunimmt [1], muß kurzwellige Strahlung durch die Verglasung ausgefiltert werden. Das gilt natürlich vor allem für die ultraviolette Strahlung, die im Tageslichtspektrum mit hohen Strahlungsanteilen vertreten ist [2]. Hier ist ein Transmissionsgrad $\tau = 0$ für den UV-Bereich $\lambda \leq 380 \text{ nm}$ anzustreben. Doch auch die kurzwellige Strahlung im sichtbaren Strahlungsbereich sollte durch geeignete Filterung reduziert werden, da die Schädigungswirkung natürlich nicht erst bei

380 nm mit dem Beginn des UV-Bereichs plötzlich beginnt, sondern weit in den sichtbaren Bereich hineinreicht [2]. Wegen der geringen Empfindlichkeit des menschlichen Auges für kurzwelliges Licht kann die Strahlung bis in den sichtbaren Bereich hinein ausgefiltert werden, ohne daß sich die Farbwiedergabequalität des durch die Verglasung einfallenden Tageslichts merklich verändert [3]. Die Lagen der Filterkanten der Verglasung, d.h. die Wellenlängen λ_c bei halbem Transmissionsgrad der maximalen Transmission im Durchgangsbereich [4], kann demnach bei Tageslicht D 65 bis 420 nm verschoben werden, wobei allgemeiner und minimaler spezieller Farbwiedergabeindex noch Werte $R_a = 96$ bzw. $R_i = 94$ aufweisen.

Bei den Glasaufbauten werden die ultraviolette und kurzwellige sichtbare Strahlung durch PVB (Polyvinylbutyral)-Folien oder durch Polycarbonat-Schichten ausgefiltert. Für zunehmenden UV-Schutz bzw. abnehmende UV-Transmission sind mehr PVB-Folien bzw. dickere PC-Schichten erforderlich. Entsprechend verändern sich verschiedene Eigenschaften der Verglasung: Lichttransmissionsgrad und Farbwiedergabeindex nehmen ab, die Verglasungen werden dicker, womit auch stärkere Fensterprofile erforderlich werden. Und vor allem: Die Verglasungen werden teurer!

Als Grundlage für Vergleichsberechnungen zur Energieoptimierung für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt sind verschiedene Verglasungsstandards von einer einfachen Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung bis zu einer hochwertigen Sicherheitsverglasung mit höchster Durchbruchhemmung zum Schutz gegen Einbruch bei gleichzeitig sehr weitem Schutz gegen kurzwellige Strahlung erarbeitet und die wichtigsten lichttechnischen und klimatechnischen Daten zusammengestellt worden (vgl. Tabellen 1 und 2).

4. Ermittlung der konservatorischen Daten

Aus den spektralen Transmissionsgraden lassen sich die beiden wichtigsten konservatorischen Größen, das Schädigungspotential und die Schwellenbestrahlungsdauer, berechnen.

Das Schädigungspotential P_{dm} ist definiert als das Verhältnis der schädigenden Bestrahlungsstärke E_{dm} zur gleichzeitigen Beleuchtungsstärke E [5]:

$$P_{dm} = \frac{E_{dm}}{E} = \frac{\int S(\lambda) \cdot s(\lambda)_{dm,rel} \cdot \tau(\lambda) \, d\lambda}{K_m \int S(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \, d\lambda} \quad (1)$$

$S(\lambda)$ Strahlungsfunktion der Lichtquelle, hier Lichtart D 65,
 $s(\lambda)_{dm,rel}$ Relative Schädigungsfunktion der jeweiligen Materials oder Exponats.

In der vorliegenden Untersuchung werden – entsprechend den Exponaten der Sammlung van der Loo – an museumstypischen Materialien Papiere geringer Qualität (auch anwendbar auf Grafik), Aquarell auf Papier sowie Ölfarben auf Leinwand berücksichtigt. Die relativen Schädigungsfunktionen zeigen einen mit der Wellenlänge exponentiell abfallenden Verlauf [1][3]. Für Papiere minderer Qualität ist die Schädigungsfunktion bereits im Wellenlängenbereich < 500 nm

Art der Verglasung	Verglasung für Shedfenster Hohe Lichttransmission	Verglasung für Seitenfenster Geringe Lichttransmission
<u>Verglasungsstandard 1</u> (1) Zweischeiben - Wärmeschutzverglasung	CLIMAPLUS 4 mm (12) 4 mm PLANI- Ar PLANI- LUX THERM $\tau_L = 76,3\%$ $g = 61\%$ $R_a = 96,1$ $k = 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 26,3\%$ $d = 20 \text{ mm}$	CLIMAPLUS 5 mm (12) 5 mm CLIMASOL Ar PLANI- 50/36 neutral LUX $\tau_L = 49,7\%$ $g = 37\%$ $R_a = 91,4$ $k = 1,48 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 21,6\%$ $d = 22 \text{ mm}$
<u>Verglasungsstandard 2</u> (3) Sonnenschutz - Verglasung	CLIMASOL neutral 66/38 6 mm (12) 6 mm PLANISOL Ar PLANILUX PLS 66/38 $\tau_L = 64,7\%$ $g = 38\%$ $R_a = 93,6$ $k = 1,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 16,7\%$ $d = 20 \text{ mm}$	6 mm (12) 6 mm COOL- Ar PLANI- LITE SN 150 neutral THERM $\tau_L = 42,2\%$ $g = 37\%$ $R_a = 95,0$ $k = 1,39 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 13,1\%$ $d = 20 \text{ mm}$
<u>Verglasungsstandard 3</u> (2) Dreifach-Isolierverglasung	CLIMATOP 4 mm (9) 4 mm (9) 4 mm PLANI- Ar Float Ar PLANI- THERM THERM τ_L $= 65,1\%$ $g = 45\%$ $R_a = 93,7$ $k = 0,96 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 13,0\%$ $d = 30 \text{ mm}$	6 mm (9) 4 mm (9) 4 mm COOL- Ar Float Ar PLANI- LITE SN 150 neutral THERM $\tau_L = 38,9\%$ $g = 33\%$ $R_a = 94,3$ $k = 1,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 11,4\%$ $d = 30 \text{ mm}$
<u>Verglasungsstandard 4</u> (4) Sonnenschutz- und UV-Schutz-Verglasung	6 mm (15) 8 mm VSG PLS 66/38 Ar 2x0,38 mm PVB $\tau_L = 63,9\%$ $g = 38\%$ $R_a = 92,9$ $k = 1,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 0,2\%$ $d = 29 \text{ mm}$	6 mm (15) 8 mm VSG COOL-LITE Ar 4/2x0,38/4mm SN 150 neutral PLT/PVB/PLX $\tau_L = 41,7\%$ $g = 36\%$ $R_a = 94,3$ $k = 1,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 0,1\%$ $d = 29 \text{ mm}$
<u>Verglasungsstandard 5</u> (4a) Sonnenschutzverglasung mit erweitertem UV-Schutz	6mm (12) 4 mm/6x0,38/4 mm PLS Ar PLT / PVB / PLX 66/38 $\tau_L = 63,8\%$ $g = 39\%$ $R_a = 93,0$ $k = 1,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 0,0\%$ $d = 28,3 \text{ mm}$	6 mm (12) 4 mm/6x0,38/4 mm COOL- Ar PLT / PVB / PLX LITE SN 150 neutral $\tau_L = 41,5\%$ $g = 37\%$ $R_a = 94,2$ $k = 1,39 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 0,0\%$ $d = 28,3 \text{ mm}$
<u>Verglasungsstandard 6</u> (5) Sicherheitsverglasung Widerstandsklasse B 1/EH 1, gleichzeitig guter UV-Schutz	CONTRACRIME B 1.210WS 6 mm (12) 8 mm/9x0,38/8 mm PLS Ar PLX PVB PLX 66/38 $\tau_L = 60,7\%$ $g = 39\%$ $R_a = 90,4$ $k = 1,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 0,0\%$ $d = 37,4 \text{ mm}$	CONTRACRIME B 1 210 WS 6 6 mm (12) 8 / 9x0,38 / 8mm COOL- Ar PLT PVB PLX LITE SN 150 neutral $\tau_L = 39,5\%$ $g = 37\%$ $R_a = 91,5$ $k = 1,37 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 0,0\%$ $d = 37,4 \text{ mm}$
<u>Verglasungsstandard 7</u> (6) Sicherheitsverglasung Widerstandsklasse B 2/EH 2, gleichzeitig sehr guter UV-Schutz	6 mm (12) 24,5 mm PLS Ar 10 / 12x0,38 / 10 66/38 PLX PVB PLX $\tau_L = 59,2\%$ $g = 39\%$ $R_a = 89,1$ $k = 1,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 0,0\%$ $d = 42,6 \text{ mm}$	6 mm (12) 30 mm COOL-LITE Ar 12/15x0,38/12 SN 150 neutral PLT/PVB/PLX $\tau_L = 37,6\%$ $g = 36\%$ $R_a = 89,0$ $k = 1,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 0,0\%$ $d = 47,7 \text{ mm}$

Tabelle 1: Verglasungsstandards, Glasaufbauten und technische Eigenschaften, UV-Schutzverglasungen mit PVB-Folien (Verglasungen Fabrikat VEGLA-KINON)

Art der Verglasung	Verglasung für Shedfenster Hohe Lichttransmission	Verglasung für Seitenfenster Geringe Lichttransmission
Verglasungsstandard 1 (1) Zweischeiben - Wärmeschutzverglasung	CLIMAPLUS 4 mm (12) 4 mm PLANI- Ar PLANI- LUX THERM $\tau_L = 76,3\%$ $g = 61\%$ $R_a = 96,1$ $k = 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 26,3\%$ $d = 20 \text{ mm}$	CLIMAPLUS 5 mm (12) 5 mm CLIMASOL Ar PLANI- 50/36 neutral LUX $\tau_L = 49,7\%$ $g = 37\%$ $R_a = 91,4$ $k = 1,48 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 21,6\%$ $d = 22 \text{ mm}$
Verglasungsstandard 2 (3) Sonnenschutz - Verglasung	CLIMASOL neutral 66/38 6 mm (12) 6 mm PLANISOL Ar PLANILUX PLS 66/38 $\tau_L = 64,7\%$ $g = 38\%$ $R_a = 93,6$ $k = 1,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 16,7\%$ $d = 20 \text{ mm}$	6 mm (12) 6 mm COOLLITE Ar PLANI- SN 150 neutral THERM $\tau = 42,2\%$ $g = 37\%$ $R_a = 95,0$ $k = 1,39 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 13,1\%$ $d = 20 \text{ mm}$
Verglasungsstandard 3 (2) Dreifach-Isolierverglasung	CLIMATOP 4 mm (9) 4 mm (9) 4 mm PLANI- Ar Float Ar PLANI- THERM THERM $\tau_L = 65,1\%$ $g = 45\%$ $R_a = 93,7$ $k = 0,96 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 13,0\%$ $d = 30 \text{ mm}$	CLIMATOP 6 mm (9) 4 mm (9) 4 mm COOL- Ar Float Ar PLANI- LITE SN 150 neutral THERM $\tau_L = 38,9\%$ $g = 33\%$ $R_a = 94,3$ $k = 1,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 11,4\%$ $d = 30 \text{ mm}$
Verglasungsstandard 4 (4) Sonnenschutz- und UV-Schutz-Verglasung		
Verglasungsstandard 5 (4a) Sonnenschutzverglasung mit erweitertem UV-Schutz		
Verglasungsstandard 6 (5) Sicherheitsverglasung Widerstandsklasse B 1/EH 1, gleichzeitig guter UV-Schutz	CONTRACRIME B1.PC.11 6 mm (12) 14 mm PLS 66/38 Ar PLX/PC/PLX $\tau_L = 61\%$ $g = 39\%$ $R_a = 93,0$ $k = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 0,0\%$ $d = 32 \text{ mm}$	CONTRACRIME B1.PC.11 6 mm (12) 14 mm CLIMASOL Ar PLX/PC/PLX PLS 44/27 Typ B1.PC.11 $\tau_L = 41,0\%$ $g = 25\%$ $R_a = 92,0$ $k = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 0,0\%$ $d = 32 \text{ mm}$
Verglasungsstandard 7 (6) Sicherheitsverglasung Widerstandsklasse B 3/EH 3, gleichzeitig sehr guter UV-Schutz	CONTRACRIME B3.PC.21 6 mm (12) 19 mm PLS 66/38 Ar PLX/PC/PLX $\tau_L = 60\%$ $g = 34\%$ $R_a = 90,0$ $k = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 0,0\%$ $d = 37 \text{ mm}$	CONTRACRIME B3.PC.21 6 mm (12) 19 mm CLIMASOL Ar PLX/PCPLX PLS 44/27 Typ B3.PC.11 $\tau_L = 39,0\%$ $g = 18\%$ $R_a = 89,0$ $k = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\tau_{UV} = 0,0\%$ $d = 37 \text{ mm}$

Tabelle 2: Verglasungsstandards, Glasaufbauten und technische Eigenschaften, UV-Schutzverglasungen mit PVB-Folien (Verglasungen Fabrikat VEGLA-KINON)

auf Null abgesunken, während die entsprechende Funktion für Aquarell und Ölfarben viel weiter in den sichtbaren Bereich hineinreicht [1][3].

Die Schwellenbestrahlungsdauer t_s , d.h. die Dauer der Bestrahlung eines Materials, nach der eine Farbveränderung gerade wahrgenommen wird, kann aus den experimentell ermittelten Schwellenbestrahlungen $H_{S,dm}$ bestimmt werden [1]:

$$H_{S,dm} = E_{dm} \cdot t_s \tag{2}$$

$$t_s = \frac{H_{S,dm}}{E_{dm}} = \frac{H_{S,dm}}{P_{dm} \cdot E}$$

Die Schwellenbestrahlungen für die hier interessierenden Materialien
 Papier minderer Qualität, Zeitungspapier 5 Wh/m²,
 Aquarellfarben auf Papier 175 Wh/m²,
 Ölfarben auf Leinwand 850 Wh/m²,
 geben die Empfindlichkeitsschwelle für schädigende Strahlung an.

5. Untersuchte Verglasungen

Es sind Verglasungen unterschiedlich hohen Standards mit hoher Lichttransmission für die Shedfenster zur Beleuchtung durch Tageslicht und mit geringerer Lichttransmission für die dem Ausblick ins Freie und der Orientierung dienenden Seitenfenster untersucht worden, wobei der UV-Schutz durch PVB-Folien oder PC-Schichten erreicht wird:

- Verglasungsstandard 1: Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung;
- Verglasungsstandard 2: Sonnenschutz-Verglasung;
- Verglasungsstandard 3: Dreischeiben-Isolierverglasung;
- Verglasungsstandard 4: Sonnenschutz-Verglasung mit mäßigen UV-Schutzeigenschaften;

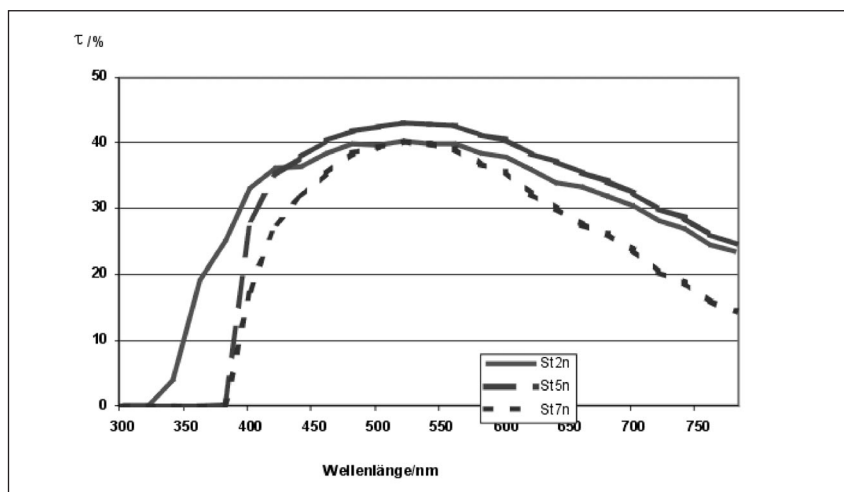


Abb. 3: Typische Verläufe von spektralen Transmissionsgraden verschiedener Verglasungen

- Verglasungsstandard 5: Sonnenschutz-Verglasung mit erweitertem UV-Schutz;
- Verglasungsstandard 6: Sicherheitsverglasung der Widerstandsklasse B 1/EH 1 (untere Durchbruchhemmung) mit gleichzeitig hohem UV-Schutz;
- Verglasungsstandard 7: Sicherheitsverglasung der Widerstandsklasse B 2/EH 2 (mittlere Durchbruchhemmung, Museumsstandard) bzw. B 3/EH 3 für PC-Verglasungen (höchste Durchbruchhemmung) mit gleichzeitig sehr hohem UV-Schutz.

Die Verglasungsstandards 1-3 weisen keine besonderen UV-Schutzeigenschaften auf. Bei Verglasungen mit PC-Schichten, deren eigentliche Aufgabe im Einbruchschutz besteht, gibt es wegen der Mindestdicke dieser Schichten keine Glasaufbauten mit nur mäßigen UV-Schutzeigenschaften. Es entfallen hier also die Standards 4 und 5.

Die Glasaufbauten und die nachfolgend angegebenen, wichtigsten technischen Daten sind in Tabelle 1 für PVB-Verglasungen und in Tabelle 2 für PC-Verglasungen zusammengestellt.*)

Lichttechnische Daten:

- Lichttransmissionsgrad τ_L in %,
- Transmissionsgrad für UV-Strahlung $< 380 \text{ nm}$ τ_{UV} in %,
- Allgemeiner Farbwiedergabeindex R_a .

*) Für die Berechnung der technischen Daten und spektralen Transmissionsgrade danken die Autoren Herrn Vornholt von Fa. VEGLA-KINON Aachen sehr herzlich, ohne dessen engagierte Mithilfe diese Untersuchung in dem vorliegenden Umfang nicht möglich gewesen wäre.

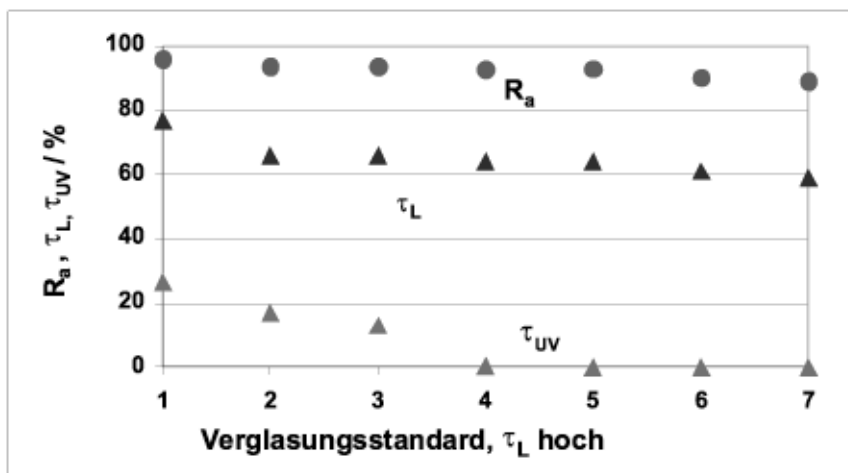


Abb. 4: Lichttechnische Daten (Farbwiedergabeindex R_a , Licht- und UV-Transmissionsgrad τ_L und τ_{UV}) für die verschiedenen Verglasungsstandards. UV-Schutz durch PVB-Folien hohen Lichttransmissionsgrades

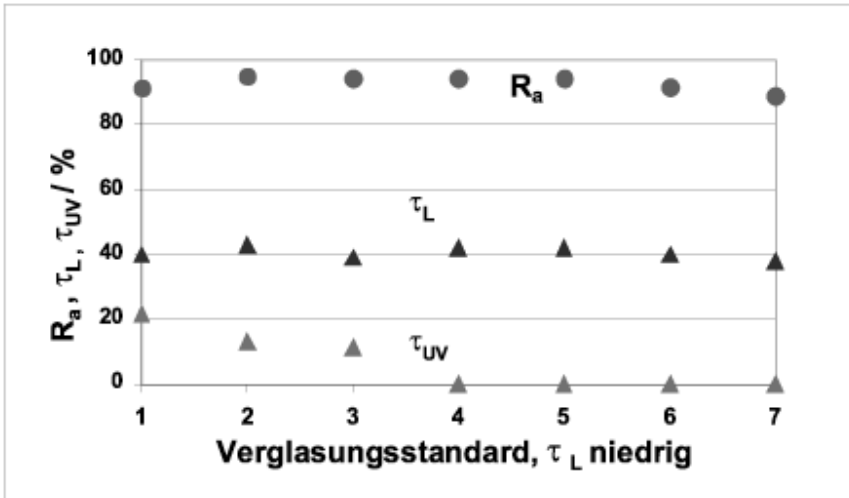


Abb. 5: Lichttechnische Daten (Farbwiedergabeindex R_a , Licht- und UV-Transmissionsgrad τ_L und τ_{UV}) für die verschiedenen Verglasungsstandards. UV-Schutz durch PVB-Folien hohen Lichttransmissionsgrades

Wärmetechnische und konstruktive Daten:

- Gesamtenergiedurchlaßgrad g in %,
- Wärmedurchgangskoeffizient k in W/m^2K ,
- Dicke der Verglasung d in mm.

Die Zusammenstellung dieser technischen Daten in Tabelle 3 gestattet einen Vergleich der verschiedenen Arten von Verglasungen untereinander.

Die konservatorischen Daten

- Kantenwellenlänge λ_c in nm,
- Schädigungspotential P_{dm} in $W/m^2 \cdot lx$,
- Schwellenbestrahlungsdauer $t_{S,dm}$ in h,

werden aus den spektralen Transmissionsgraden $\tau(\lambda)$ bzw. den in Abschnitt 4 angegebenen Beziehungen berechnet.

Die Verglasungen sind entsprechend ihren auf Kostenkalkulationen beruhenden Quadratmeterpreisen angeordnet (vgl. Tabelle 4), wobei sich eine ansteigende Tendenz ergibt. Hier macht lediglich die aufwendige und damit relativ teure Dreifach-Isolierverglasung eine Ausnahme, die wegen fehlender UV-Schutzeigenschaften als Standard 3 eingeordnet ist.

6. Ergebnisse

Mit Ausnahme der konstruktiven und wärmetechnischen Daten sind die Ergebnisse und Zusammenhänge in Abhängigkeit vom Verglasungsstandard als Diagramme oder Säulendiagramme dargestellt, um den Verlauf dieser Größen auch visuell zu verdeutlichen.

Art der Verglasung, UV-Schutz: PVB	d mm	τ _{UV} %	R _a	g %	k W/m ² K	d mm	τ _{UV} %	R _a	g %	k W/m ² K	τ _{UV} %	R _a	g %	k W/m ² K
<u>Verglasungsstandard 1 (1)</u>	20	76,3	96,1	61	1,40	22	49,7	91,4	37	1,48				
<u>Zweischichten-Wärmeschutzverglasung</u>														
<u>Verglasungsstandard 2 (3)</u>	20	64,7	93,6	38	1,34	20	42,2	95,0	37	1,39				
<u>Sonnenschutz-Verglasung</u>														
<u>Verglasungsstandard 3 (2)</u>	30	65,1	93,7	45	0,96	30	38,9	94,3	33	1,26				
<u>Dreifach-Isolierverglasung</u>														
<u>Verglasungsstandard 4 (4)</u>	29	63,9	92,9	38	1,18	29	41,7	94,3	36	1,24				
<u>Sonnenschutz-UV-Schutz-Verglasung</u>														
<u>Verglasungsstandard 5 (4a)</u>	28,3	63,8	93,0	39	1,33	28,3	41,5	94,2	37	1,39				
<u>Sonnenschutz, erweiterter UV-Schutz</u>														
<u>Verglasungsstandard 6 (5)</u>	37,4	60,7	90,4	39	1,32	37,4	39,5	91,5	37	1,37				
<u>Sicherheitsverglasung Klasse B 1/EH 1</u>														
<u>Verglasungsstandard 7 (6)</u>	42,6	59,2	89,1	39	1,31	47,7	37,6	89,0	36	1,36				
<u>Sicherheitsverglasung Klasse B 3/EH 3</u>														
Art der Verglasung, UV-Schutz: PC														
<u>Verglasungsstandard 1 (1)</u>	20	76,3	96,1	61	1,40	22	49,7	91,4	37	1,48				
<u>Zweischichten-Wärmeschutzverglasung</u>														
<u>Verglasungsstandard 2 (3)</u>	20	64,7	93,6	38	1,34	20	42,2	95,0	37	1,39				
<u>Sonnenschutz-Verglasung</u>														
<u>Verglasungsstandard 3 (2)</u>	30	65,1	93,7	45	0,96	30	38,9	94,3	33	1,26				
<u>Dreifach-Isolierverglasung</u>														
<u>Verglasungsstandard 4 (4)</u>														
<u>Verglasungsstandard 5 (4a)</u>														
<u>Verglasungsstandard 6 (5)</u>	32	61,0	93,0	39	1,40	32	41,0	92,0	25	1,40				
<u>Sicherheitsverglasung Klasse B 1/EH 1</u>														
<u>Verglasungsstandard 7 (6)</u>	37	60,0	90,0	34	1,40	37	39,0	89,0	18	1,40				
<u>Sicherheitsverglasung Klasse B 3/EH 3</u>														

Tabelle 3: Technische Eigenschaften von Verglasungen der Standards 1-7 mit hoher und geringer Lichttransmission für Shedfenster bzw. Seitenfenster, UV-Schutzverglasungen mit PVB-Folien oder PC-Schichten

Art der Verglasung Verglasungsstandard	Verglasung für Shedfenster Hohe Lichttransmission			Verglasung für Seitenfenster Geringe Lichttransmission		
	Kanten- lage λ_c/nm	Papiere geringer Qualität	Aquarell, Öl auf Leinwand	Kanten- lage λ_c/nm	Papiere geringer Qualität	Aquarell, Öl auf Leinwand
1. Zweischeiben-Wärme- schutzverglasung	358	0,02549	0,4463	354	0,03361	0,5061
2. Sonnenschutzverglasung	383	0,02120	0,4263	363	0,02423	0,4426
3. Dreifach-Isolierverglasung	370	0,01730	0,3868	360	0,02295	0,4374
4. Sonnenschutz- und UV- Schutzverglöasung	393	0,00978	0,3670	392	0,0981	0,3628
5. Sonnenschutzverglasung mit erweitertem UV-Schutz	396	0,00838	0,3438	395	0,0854	0,3466
6. Sicherheitsverglasung, Widerstandsklasse B1/ EH1	398	0,00780	0,3334	398	0,0793	0,3358
7. Sicherheitsverglasung, Widerstandsklasse B3/EH3	402	0,00734	0,3254	405	0,0703	0,3199

Tabelle 4: Kantenwellenlänge λ_c in nm für verschiedene Verglasungsstandards sowie zugehörige Schädigungspotentiale P_{dm} in $W/m^2 \cdot lx$ für Papiere geringer Qualität sowie für Aquarell auf Papier und >Ölfarbe auf Leinwand. Hohe und geringe Lichttransmission, Lichtart D 65.

6.1 Konstruktive und wärmetechnische Daten

Auf eine Darstellung dieser Daten als Diagramme ist wegen der für die vorliegende Untersuchung geringeren Bedeutung verzichtet worden. Die Entwicklungstendenzen mit dem Verglasungsstandard sind aus Tabelle 3 ersichtlich.

Die Dicke des Glasaufbaus nimmt erwartungsgemäß mit höherem Standard zu, wobei die Dreifach-Isolierverglasung (Standard 3) infolge des zweifachen Schei-

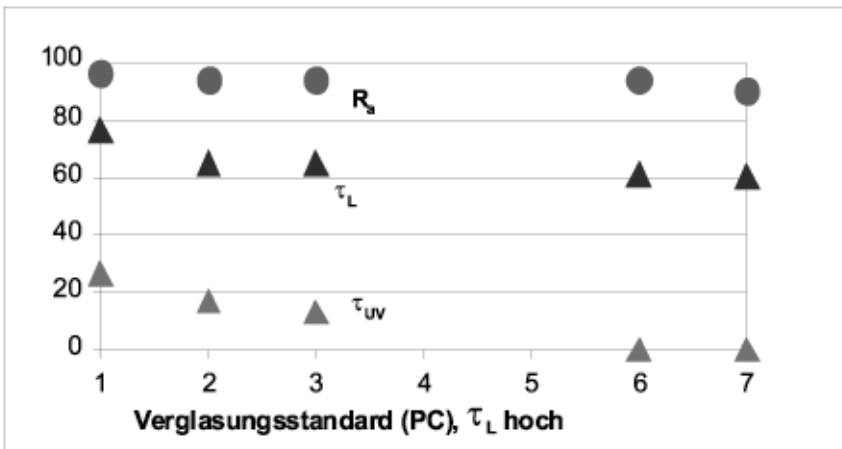


Abb. 6: Lichttechnische Daten (Farbwiedergabeindex R_a , Licht- und UV-Transmissionsgrad τ_L und τ_{UV}) für die verschiedenen Verglasungsstandards. UV-Schutz durch PVB-Folien hohen Lichttransmissionsgrades

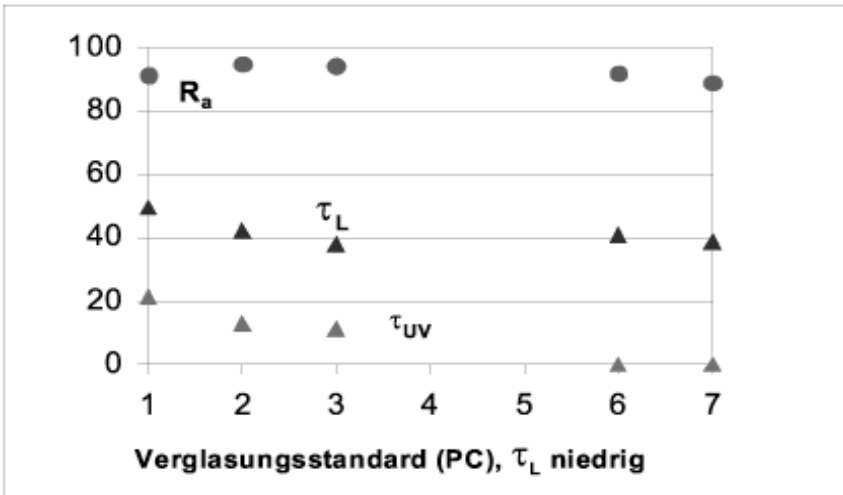


Abb. 7: Lichttechnische Daten (Farbwiedergabeindex R_a , Licht- und UV-Transmissionsgrad τ_L und τ_{UV}) für die verschiedenen Verglasungsstandards. UV-Schutz durch PVB-Folien hohen Lichttransmissionsgrades

benzweischenraumes von je 9 mm mit Argon-Füllung herausfällt. Bemerkenswert ist, daß bei den Sicherheitsverglasungen (Standards 6 und 7) die Aufbauten mit PC-Schichten um etwa 5 mm weniger dick sind als die entsprechenden Aufbauten mit PVB-Folien. Es sind in der Konsequenz dann auch weniger starke und weniger teure Fensterprofile erforderlich.

Die wärmetechnischen Daten, Gesamtenergiedurchlaßgrad g und Wärmedurchgangskoeffizient k , bleiben jeweils auf ungefähr gleichem Niveau oder zeigen keine eindeutige Tendenz.

Ausnahmen sind hier:

Standard 1: Hohe Werte $g > 60\%$ bei Verglasungen mit hoher Lichttransmission;

Standards 6 und 7: Bei PC-Verglasungen geringer Gesamtenergiedurchlaßgrad $g = 34\%$ und $g \leq 25\%$ bei hoher bzw. geringer Lichttransmission;

Standard 3: Bei Dreifach-Isolierverglasung niedrige Wärmedurchgangskoeffizienten $k < 1 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $k = 1,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ bei hoher bzw. geringer Lichttransmission.

Im übrigen bewegen sich die Gesamtenergiedurchlaßgrade im Bereich $g \cong 40\%$ und die Wärmedurchgangskoeffizienten im Bereich $1,3 < k < 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

6.2 Lichttechnische Daten

Die lichttechnischen Daten (Licht- und UV-Transmissionsgrad τ_L und τ_{UV} , Farbwiedergabeindex R_a) sind für die Verglasungen mit PVB-Folien und solchen mit PC-Schichten in den Bildern 4 und 5 bzw. 6 und 7 als Diagramme dargestellt.

Der Farbwiedergabeindex R_a nimmt mit höheren Standards oder stärkeren UV-Schutzmaßnahmen tendenziell ab, wobei Werte $R_a \leq 90$ nur bei Sicherheitsverglasung des Standards 7 auftreten (vgl. Tab. 3). Das durch die Verglasungen durchgelassene Tageslicht wird also farblich nur wenig verzerrt.

Der Lichttransmissionsgrad τ_L sinkt erwartungsgemäß mit höheren Verglasungsstandards, d.h. dickeren Glasaufbauten bzw. stärkerem UV-Schutz. Bei den Shedverglasungen mit hoher Lichttransmission ist $\tau_L \cong 60\%$, bei niedriger Lichttransmission $\tau_L \cong 40\%$ (vgl. Bilder 4 und 6 bzw. 5 und 7).

Auch der UV-Transmissionsgrad τ_{UV} fällt mit höherem Verglasungsstandard bzw. dickeren Glasaufbauten ab, wobei die Verglasungen mit geringer Lichttransmission natürlich auch weniger UV-Strahlung durchlassen. Mit ersten UV-Schutzmaßnahmen, z.B. zwei PVB-Folien 0,38 mm bei Standard 4 (vgl. Tab. 1), geht der UV-Transmissionsgrad sprunghaft auf Werte nahe Null zurück. Bei Verglasungsstandards höherer Qualität ist UV-Strahlung dann nicht mehr nachweisbar ($\tau_{UV} = 0,0\%$). Nach herkömmlicher Einschätzung der Beleuchtung von Exponaten, wonach es lediglich auf die Vermeidung ultravioletter Strahlungsanteile ankommt, hätten also alle Verglasungen der Standards ≥ 4 unterschiedslos gute konservatorische Eigenschaften.

6.3 Konservatorische Daten

Die konservatorischen Daten Schädigungspotential P_{dm} , Schwellenbestrahlungsdauer $t_{s,dm}$ und Kantenwellenlänge λ_c , konnten nur für die Verglasungen der

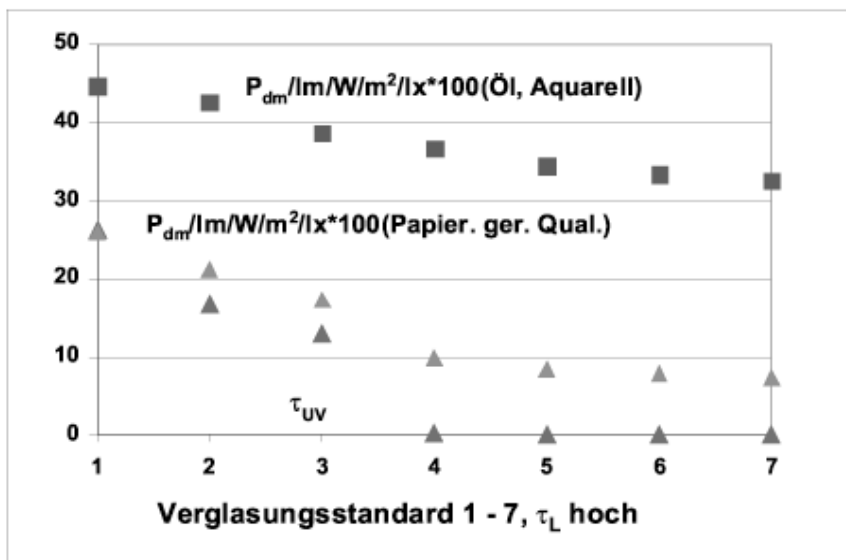


Bild 8: Konservatorische Daten (UV-Transmissionsgrad τ_{UV} , Schädigungspotentiale P_{dm} für Papier geringer Qualität bzw. für Aquarell- und Ölfarben) für die verschiedenen Verglasungsstandards, UV-Schutz durch PVB-Folien hohen Lichttransmissionsgrades

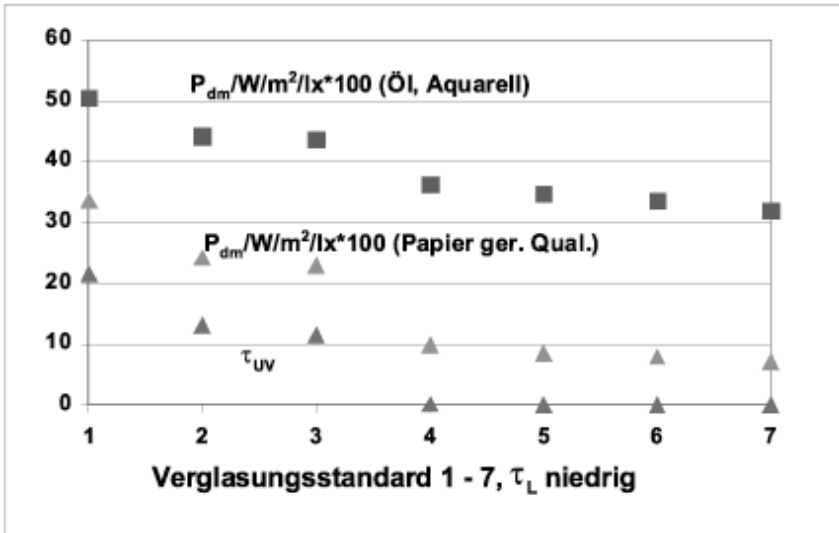


Bild 9: Konservatorische Daten (UV-Transmissionsgrad τ_{UV} , Schädigungspotentiale P_{dm} für Papier geringer Qualität bzw. für Aquarell- und Ölfarben) für die verschiedenen Verglasungsstandards, UV-Schutz durch PVB-Folien hohen Lichttransmissionsgrades

Standards 1–3 und diejenigen mit UV-Schutz durch PVB-Folien berechnet werden, da nur für diese die spektralen Transmissionsgrade $\tau(\lambda)$ zur Verfügung standen. Die Berechnungen sind für Lichtart D 65 durchgeführt worden.

Das Schädigungspotential P_{dm} ist für hohe und geringe Lichttransmission in den Bildern 8 bzw. 9 dargestellt und in Tabelle 4 numerisch angegeben. Es ergeben sich jeweils zwei Spalten von Werten, da für Papiere minderer Qualität und für Aquarell und Ölfarben unterschiedliche Schädigungsfunktionen $s(\lambda)_{dm,rel}$ gelten [1][3] (vgl. Abschnitt 4). Verlauf und Lage dieser Schädigungsfunktionen bewirken, daß in Bild 8 und 9 die Schädigungspotentiale für geringwertige Papiersorten unter Berücksichtigung der Maßstabsfaktoren niedrigere Werte aufweisen als für Aquarell oder Ölfarben (vgl. auch Tab. 4).

Bereits bescheidene UV-Schutzmaßnahmen z.B. mit zwei PVB-Folien im inneren Verbundsicherheitsglas bei Standard 4 führen zu einem starken Abfall von P_{dm} , was besonders für Papiere minderer Qualität deutlich ist.

Wichtig ist die Korrelation zwischen Schädigungspotentialen und dem UV-Transmissionsgrad. Selbst bei nicht mehr nachweisbaren UV-Anteilen $\tau_{UV} = 0,0$ % treten noch erhebliche Schädigungspotentiale auf, die durch weitergehende UV-Schutzmaßnahmen, also eine größere Anzahl von PVB-Folien oder dickere PC-Schichten, weiter abgesenkt werden können. Hieraus wird wieder deutlich, daß es nicht ausreicht, die UV-Transmission zu Null zu machen, sondern daß die Ausfilterung auch bis in den Bereich der kurzwelligen sichtbaren Strahlung ausgedehnt werden muß.

Um dieses zu verdeutlichen, sind in Tabelle 4 auch die Kantenwellenlängen λ_c der untersuchten Verglasungen angegeben, die aus den spektralen Transmissionsverläufen $\tau(\lambda)$ ermittelt sind. Bei den Verglasungen handelt es sich um Langpaßfilter mit dem Sperrbereich bei kurzen Wellenlängen und dem Durchlaßbereich bei längeren Wellenlängen. Der Übergang vom Sperrbereich zum Durchlaßbereich verläuft relativ steil und weitgehend linear. Die Lage dieser Filterkante wird durch die Kantenwellenlänge λ_c definiert, d.h. diejenige Wellenlänge, bei welcher der Transmissionsgrad die Hälfte des Maximalwertes im Durchlaßbereich beträgt: $\lambda_c = \lambda(t_{\max}/2)$ [4].

Die Werte in Tabelle 4 zeigen, daß mit verstärkten konservatorischen Maßnahmen die Kantenlage immer weiter in den sichtbaren Strahlungsbereich hinein verschoben wird, wobei die Verglasungen mit geringer Lichttransmission kürzere Kantenwellenlängen aufweisen, vom Standard 7 abgesehen. Die Dreifach-Isolierverglasung zeigt relativ kurze Kantenwellenlängen und wäre nach diesem Kriterium eher zwischen Standard 1 und 2 einzuordnen.

Die nach Gleichung (2) in Abschnitt 4 für eine Beleuchtungsstärke von 200 lx berechnete Schwellenbestrahlungsdauer $\tau_{S,dm}$ ist für hohe und geringe Lichttransmission in Bild 10 bzw. 11 und in Tabelle 5 dargestellt. In Abhängigkeit vom Verglasungsstandard ergeben sich Verläufe von $\tau_{S,dm}$ invers zu denen des Schädigungspotentials (vgl. Bilder 8 und 9). Die Schwellenbestrahlungszeiten für Aquarell und für Ölfarben zeigen gleichen Verlauf und unterscheiden sich lediglich durch ihre Schwellenbestrahlungen $H_{S,dm}$ (vgl. Abschnitt 4).

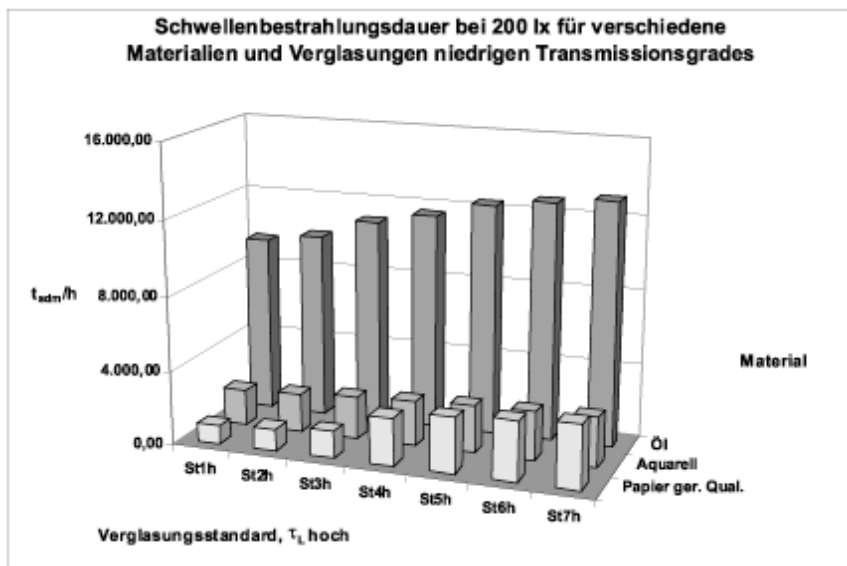


Bild 10: Schwellenbestrahlungsdauer $t_{s,dm}$ für verschiedene Verglasungsstandards und die Materialien Papier minderer Qualität, Aquarell- und Ölfarben. Hohe Lichttransmission, Beleuchtungsstärke 200 lx

Verglasung für Shedfenster Verglasung für Seitenfenster

Art der Verglasung Verglasungsstandard	Hohe Lichttransmission		Niedrige Lichttransmission			
	Papier geringer Qualität	Aquarell auf Papier	Ölfarbe auf Leinwand	Papier geringer Qualität	Aquarell auf Papier	Ölfarbe auf Leinwand
1. Zweischeiben-Wärmeschutz- verglasung	964	1 961	3 249	744	1 729	2 865
2. Sonnenschutz-Verglasung	1 179	2052	3 401	1 032	1 977	3 276
3. Dreifach-Isolierverglasung	1 445	2 262	3 748	1 069	2 000	3 315
4. Sonnenschutz- und UV-Schutz- verglasung	2 557	2 384	3 951	2 549	2 412	3 997
5. Sonnenschutzverglasung mit erweitertem UV-Schutz	2 982	2 545	4 218	2 928	2 525	4 184
6. Sicherheitsverglasung, Widerstandsklasse B 1/EH 1	3 206	2 624	4 349	3 151	2 605	4 318
7. Sicherheitsverglasung Widerstandsklasse B 3/EH 3	3 406	2 689	4 456	3 556	2 735	4 532

Tabelle 5: Schwellenbestrahlungsdauer in h für verschiedene Verglasungsstandards und für Papiere geringer Qualität sowie für Aquarell auf Papier und Ölfarbe auf Leinwand. Hohe und geringe Lichttransmission, Beleuchtungsstärke 200 lx, Lichtart D 65

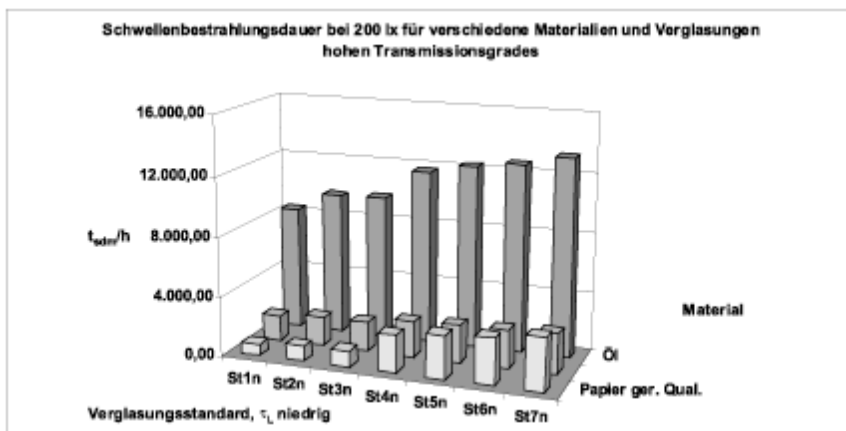


Bild 11: Schwellenbestrahlungsdauer $t_{s, dm}$ für verschiedene Verglasungsstandards und die Materialien Papier minderere Qualität, Aquarell- und Ölfarben. Hohe Lichttransmission, Beleuchtungsstärke 200 lx

Der Übergang von normalen Verglasungen zu Verglasungen mit UV-Schutzzeigenschaften, d.h. von Standard 3 nach 4, zeigt sich in deutlich höheren Schwellenbestrahlungszeiten, z.B. bei Papieren niedrigerer Qualität oder – besonders bei Verglasungen geringer Lichttransmission – auch bei Ölbildern. Unter diesen Bedingungen können die Exponate also ohne Gefahr von Schädigungen länger dem Tageslicht ausgesetzt werden.

7. Kosten für die Verglasung

Von großer Bedeutung bei der Entscheidung für den einen oder den anderen Verglasungsstandard waren natürlich die Kosten für die Verglasung. Es stellte sich die Frage: Welchen konservatorischen Standard und wieviel Schutz der Exponate vor schädigender kurzweiliger Strahlung kann sich die Kunsthalle leisten? Als Grundlage für Vergleichsberechnungen zur Energieoptimierung und als Vorentscheidung für die Ausschreibung sind daher die Kosten grob kalkuliert worden (vgl. Tab. 6), wobei die Verglasungen der Standards 1 – 3 ohne jegliche UV-Schutzmaßnahmen für die Anwendung ohnehin nicht in Frage kommen sollten. Zur Abschätzung der Relation zwischen den Ergebnissen konservatorischer Maßnahmen und dem finanziellen Aufwand sind die erzielten Schwellenbestrahlungszeiten in Abhängigkeit vom Quadratmeterpreis der verschiedenen Verglasungen für Aquarell und für eine Beleuchtungsstärke von 200 lx dargestellt: Bild 12 zeigt den Zusammenhang für hohe Lichttransmission, Bild 13 für geringe Lichttransmission. Erwartungsgemäß ergibt sich eine steigende Tendenz, die sich mit höherem Verglasungsstandard abflacht. Hier kann man also durch höhere Investitionskosten den Schutz der Kunstwerke nur in bescheidenem Maße steigern. Beim Übergang von Standard 4 nach Standard 5 kann die Schwellenbestrahlungsdauer sowohl für hohe als auch für niedrige Lichttransmission noch kräftig erhöht werden, dannach können höhere Schwellenbestrahlungszeiten nur mit deutlich mehr Geld erkaufte werden.

UV-Schutz	PVB-Folien	PVB-Folien	PVB-Folien	PC-Schichten	PC-Schichten
Fensterart Lichttransmission	Shedfenster Hohe Licht- transmission	Shedfenster Hohe Licht- transmission	Seitenfenster Geringe Licht- transmission	Shedfenster Hohe Licht- transmission	Seitenfenster Geringe Licht- transmission
	DM/m ²	DM/m ²	DM/m ²	DM/m ²	DM/m ²
Standard 1 (1)	75,--	140,--	140,--	75,--	140,--
2 (3)	144,--	162,--	162,--	144,--	162,--
3 (2)	215,--	288,--	288,--	215,--	288,--
4 (4)	206,--	207,--	207,--	1 200,--	1 200,--
5 (4a)	238,--	249,--	249,--		
6 (5)	377,--	399,--	399,--	1 200,--	1 200,--
7 (6)	505,--	526,--	526,--	1 620,--	1 620,--

Tabelle 6:Kostenschätzungen für Verglasungen unterschiedlichen Standards mit verschiedenen Eigenschaften. Höhe und geringe Lichttransmission für Shedfenster bzw. Seitenfenster, UV-Schutz durch PVB-Folien oder PC-Schichten

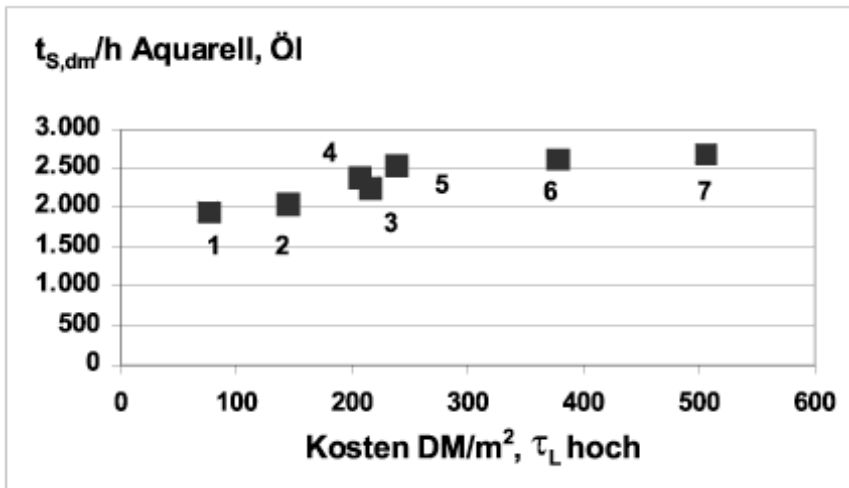


Bild 12: Schwellenbestrahlungsdauer für Aquarell auf ppier in Beziehung zu den Kosten für Verglasungen der verschiedenen Standards. Hohe Lichttransmission, Beleuchtungsstärke 200. lx

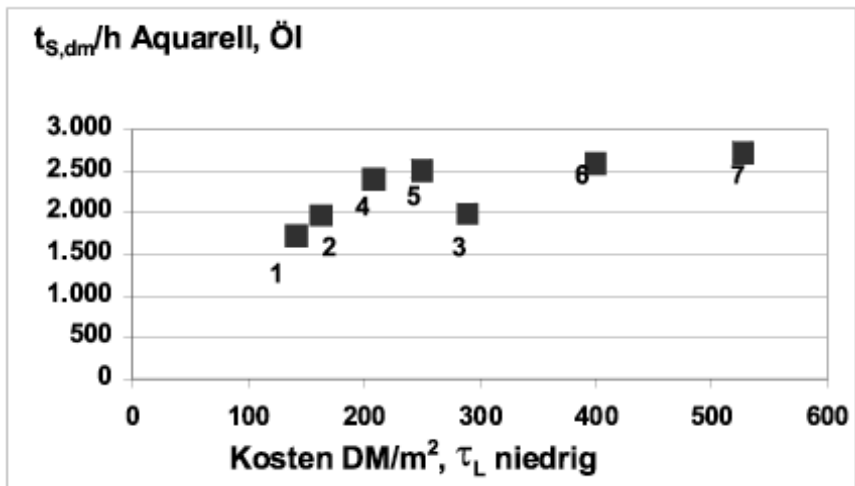


Bild 12: Schwellenbestrahlungsdauer für Aquarell auf ppier in Beziehung zu den Kosten für Verglasungen der verschiedenen Standards. Hohe Lichttransmission, Beleuchtungsstärke 200. lx

8. Schlußfolgerungen für die Kunsthalle in Emden

Wegen der extrem hohen Kosten mußten Verglasungen mit UV-Schutz durch PC-Folien zurückgewiesen werden, zumal gleichzeitig keine besonderen Anforderungen hinsichtlich des Einbruchschutzes bestanden.

Da bis zum Verglasungsstandard 5 durch eine mäßige Kostenerhöhung noch eine merkliche Steigerung der Schwellenbestrahlungsdauer nachzuweisen war (vgl. Bilder 12 und 13), wurde sowohl für die Shedfenster als auch für die Seitenfenster mit hoher bzw. geringer Lichttransmission zugunsten des Verglasungsstandards 5 mit 6 PVB-Folien im inneren Verbundsicherheitsglas entschieden.

Mit Verglasungsflächen von 187 m² für die Shedfenster der Ausstellungsräume und ungefähr 29 m² für Seitenfenster betragen die Kosten für die Verglasung dann nur ungefähr DM 45 000,- für die Sheds und DM 7 300,- für die Seitenfenster. Das entspricht nur etwa 20 % der Gesamtkosten für die Fenster. Gerade bei Berücksichtigung dieses bescheidenen Kostenanteils wären auch deutlich höhere Investitionskosten für die Verglasung selbst bei nur mäßigen Steigerungen der Schwellenbestrahlung zu vertreten, so daß sehr empfindliche Kunstwerke einige Hundert Stunden länger ohne Gefährdung durch schädigende Strahlung ausgestellt werden könnten. Denn wer will schließlich diese Investitionskosten messen an dem Wert eines Aquarells von August Macke oder einer Federzeichnung von Erich Heckel, die durch fahrlässige Tageslicht-Beleuchtung Schaden genommen haben?

Literatur

- [1] G.S. HILBERT, S. AYDINLI, J. KROCHMANN: Zur Beleuchtung musealer Exponate. RESTAURO 1991, H. 5, S. 313–321.
- [2] W. PRAHL, G. ROESSLER: Konservatorische Probleme und Anforderungen in Museen mit Tageslicht. MUSEUM AKTUELL Nr. 30, Feb. 1998, S. 1016 – 1021.
- [3] S. AYDINLI: Museumsbeleuchtung: Was bringt die Filterung des kurzwelligen Strahlungsanteils? Tagungsberichte der 10. Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen Gesellschaften Deutschlands, der Niederlande, Österreichs und der Schweiz. Saarbrücken 14.– 17.9.1992, S. 384 – 398.
- [4] DIN 58 191 „Optische Strahlungsfilter“, Teil 2: Begriff, Kurzbeschreibung und Beschriftung von Kantenfiltern. Mai 1982.
- [5] W. PRAHL, G. ROESSLER: Ermittlung minimaler Schädigungspotentiale für die Beleuchtung von Exponaten in Museen und deren praktische Umsetzung. Tagungsband der 13. Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen Gesellschaften Österreichs, Deutschlands, der Niederlande und der Schweiz. Bregenz 16. – 8.9.1998, S. 389 – 399.

Sichere Arbeit durch helles Licht

Peter Dehoff, Robert Mauch

1. Zusammenfassung

Arbeitszeit ist für viele nicht an die hellen Tagesstunden gekoppelt. Wir haben uns längst daran gewöhnt, die Arbeitszeiten in die späten Abendstunden auszuweiten oder auch in den frühen Morgenstunden bereits mitten im Arbeitsprozess zu stehen. Traditionelle Arbeitszeiten am Tage verlieren ihre Alleingültigkeit. Diese Arbeitszeiten außerhalb der Normalarbeitszeit stehen im Widerspruch zu den biologischen Rhythmen des Menschen, den sogenannten zirkadianen Rhythmen. Helles Licht am Arbeitsplatz ist geeignet, die mit Nachtarbeit einhergehenden Risiken zu minimieren und die Tätigkeit in der Nacht insgesamt zu erleichtern.

2. Licht steuert die innere Uhr

Die Photorezeptoren im Auge haben zwei Aufgaben:

- Orientierung im Raum
- Orientierung in der Zeit

Die Orientierung im Raum erfolgt durch das Sehen. Während langer Zeit wurde das Sehen als einzige Funktion des Auges betrachtet.

Die Orientierung in der Zeit erfolgt durch das zirkadiane Zeitsystem. Während des vergangenen Jahrzehnts hat die biologische Forschung überzeugend demonstriert, dass die Wahrnehmung des Auges einem zusätzlichen Zweck dient: Licht ist der stärkste Zeitgeber des Menschen und hat grundlegende Wirkungen auf das Verhalten und das vegetative System. Unter natürlichen Lebensbedingungen erfolgt die Anpassung des Zeitsystems des Menschen an den Tag-Nacht-Wechsel durch das Sonnenlicht. Wesentliche Voraussetzungen für Leistungsbereitschaft und Wohlbefinden sind die Lichtmenge und eine stabile zirkadiane Phasenlage. Die Stabilität der zirkadianen Phasenlage wird gleichermaßen durch das Sonnenlicht am Tag, als auch durch die Dunkelheit der Nacht garantiert.

3. Der Mensch braucht den Tag

Das Licht stellt nicht nur jeden Tag von neuem die biologische Uhr, es aktiviert auch den gesamten Organismus. Die biologische Uhr erzeugt tagsüber einen Lichthunger und nachts ein Bedürfnis nach Dunkelheit. Unter dem Einfluss des hellen und längeren Tageslichts des Sommers sind die Menschen aktiver und schlafen weniger als an dunklen Wintertagen. Für diese aktivierende Wirkung des Lichts ist eine höhere Lichtintensität notwendig als an den meisten Arbeitsplätzen zum Sehen benötigt wird.

Dipl. Ing. Peter Dehoff
Ing. Robert Mauch
Zumtobel Staff GmbH
Schweizer Str. 30
A-6851 Dornbirn

Bei Arbeiten nahe am Fenster holen wir uns tagsüber die größeren Lichtmengen durch den wiederholten Blick ins Freie. Eine optimale künstliche Arbeitsplatzbeleuchtung sollte so hell sein, dass sie nicht nur den Sehanforderungen genügt, sondern auch den biologischen Lichthunger angemessen befriedigt. Nur genügend Licht am Tag stellt sicher, dass eine ausgiebige Ruhephase in der Nacht folgen kann.

4. Die Tücken der nächtlichen Arbeit

Bei der Arbeit in der Nacht wird die innere Uhr des Menschen auf den Kopf gestellt. Durch die genetische Koppelung des biologischen Rhythmus an den Wechsel von Tag und Nacht nehmen Wachsamkeit und Aufmerksamkeit des Menschen in der Nacht unweigerlich ab. Bei Arbeiten in den Dunkelstunden liegt das Minimum der Aufmerksamkeit dabei üblicherweise in den frühen Morgenstunden (zwischen drei und vier Uhr), wenn die innere Uhr starke Schlafsignale aussendet.

Der Operator in der Schaltwarte, der Agent im Call Center, der Schichtarbeiter in der Autoindustrie haben eines gemeinsam: von ihnen wird während der dunklen Stunden höchste Konzentration und Leistungsbereitschaft gefordert. Bekannt sind die gesundheitlichen Risiken und Nachteile wie Schlafstörungen, verkürzte Schlafzeiten und ungenügende Erholung im Tagesschlaf. Private Lebensqualität geht verloren, und die Leistungsfähigkeit sinkt. Nachlassende Aufmerksamkeit, Sekundenschlaf und unwillentliches Einschlafen sind die Folgen. Die Auswirkungen für die Wirtschaft sind gravierend: Verminderte Motivation bei der Arbeit, Fehlhandlungen, erhöhtes Erkrankungs- und Unfallrisiko, sowie Fehlzeiten.

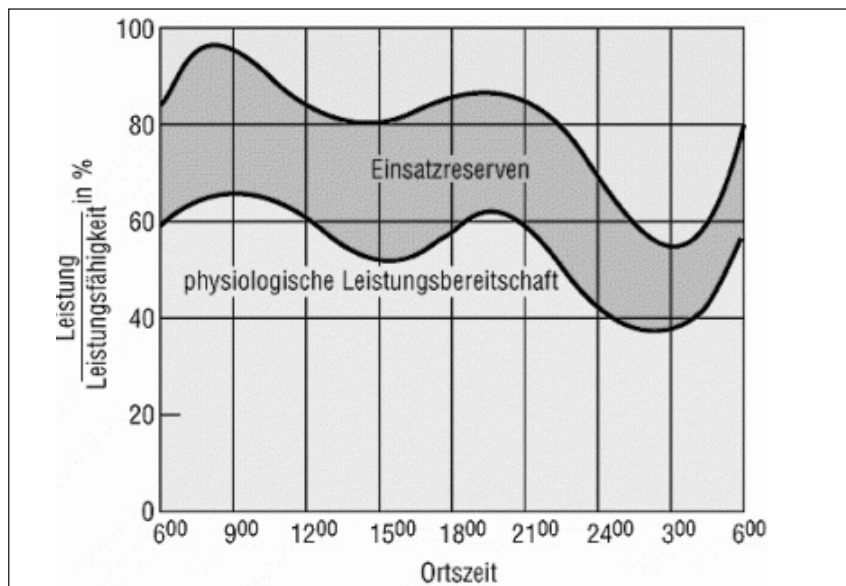


Abb. 1: Physiologische Leistungsbereitschaft in Abhängigkeit der Uhrzeit

5. Gegen den biologischen Rhythmus

Die biologische Uhr nicht zu beachten hat ernsthafte Konsequenzen für die Menschen. Durch Müdigkeit und Unaufmerksamkeit entstehen Gefahren. Die Leistungsfähigkeit geht zurück. Fehlzeiten durch Krankheiten häufen sich. Schließlich mündet der anstrengende Kampf gegen die innere Uhr in einem deutlichen Verlust an Lebensqualität.

- Bedienfehler während der Nacht bis zu zweimal häufiger
- messbarer Produktivitätsrückgang in der Nachtschicht von 30 bis 40%
- vermehrte Kreislaufbeschwerden und Verdauungsprobleme
- gesteigerte Gefahr von Medikamenten- und Alkoholmissbrauch

6. Katastrophen geschehen nachts

In letzter Konsequenz entstehen Gefahren. Katastrophen wie der Atomunfall von Tschernobyl, das Tankerunglück der Exxon Valdez, die Giftgaskatastrophe von Bhopal: Unglücke, die in den Nachtstunden entstanden sind. Zahlreiche Unfälle haben Milliarden Schäden verursacht. Eine der Ursachen lag darin, dass die verantwortlichen Menschen zur nächtlichen Arbeitszeit übermüdet und unaufmerksam waren und die richtigen Handgriffe unterließen. (Die biologische Uhr war nicht an den nächtlichen Arbeitsrhythmus angepasst). Auch zahlreiche, schwere Autounfälle, die mehrheitlich nachts geschehen, sind auf Übermüdung und stark eingeschränkte Reaktionszeiten zurückzuführen.

7. Helles Licht hilft

Durch die Anwendung von Hellem Licht in der Nacht kann das Risiko von Fehlhandlungen deutlich reduziert werden. Die Wirkung des Hellen Lichts beruht auf dessen drei Wirkkomponenten:

- **Energetische Wirkung:** Da für das Sehen im allgemeinen geringere Lichtintensitäten ausreichen als für eine optimale energetische Wirkung notwendig sind, entfaltet die übliche künstliche Beleuchtung nur eine relativ schwache energetische Wirkung. Eine zu geringe energetische Wirkung scheint bei einem beträchtlichen Teil der Bevölkerung während der Winterzeit die Ursache für einen verminderten Antrieb zu sein (SAD = Seasonal Affective Disorder). SAD kann mit Hilfe von hellem Licht erfolgreich therapiert werden.
- **Unterdrückung der Melatonin-Ausschüttung:** die zweite Komponente wird nur während der Nacht wirksam: In der nächtlichen zirkadianen Phase wird die Ausschüttung von Melatonin durch eine „normale“ künstliche Beleuchtung nicht unterdrückt, wohl aber durch helles Licht. Als Folge dieser Melatonin-Unterdrückung wird die Schlafneigung unter tagheller Beleuchtung reduziert.
- **Zeitgeberwirkung:** Eine dritte Komponente ist die Zeitgeberwirkung auf die biologische Uhr. Während der Dämmerung und der Nacht wird die biologische Uhr durch Licht verstellt. Aus Laborexperimenten am Menschen ist bekannt, dass sich die zirkadiane Phase durch eine geeignete Beleuchtung um maximal zwei bis drei Stunden pro Tag vor oder zurück verschieben lässt. Da beim Wechsel in und aus der Nachtschicht der Wach-Schlaf-Rhythmus plötzlich um viele Stunden verschoben wird, benötigt eine Phasenanpassung der Zirkadianrhythmik einige Tage.

8. Leuchten für Helles Licht

Moderne Leuchtmittel bieten die Voraussetzung, mit begrenztem Energieaufwand helles Licht zu erzeugen. Trotzdem stellt sich die Herausforderung, dem Kompromiss aus (notwendigerweise) hoher Leuchtdichte und begrenzter Blendung gerecht werden. Bewährt haben sich großflächige Leuchten mit einer diffusen Abdeckung.

Als Richtwert für die Lampenbestückung kann mit ca. 40.000 lm pro Quadratmeter Leuchtenfläche gerechnet werden. Für die Anwendung am Arbeitsplatz ist die Verwendung von dimmbaren Vorschaltgeräten erforderlich. Nicht dimmbare Vorschaltgeräte sind ausschließlich für den Einsatz in Lichttherapiegeräten geeignet.

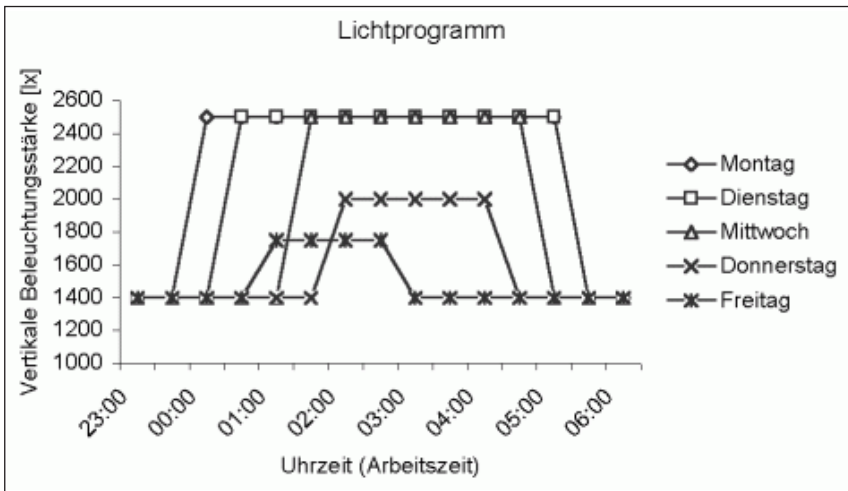
Hohe Anforderungen gelten auch für das von den Leuchten abgestrahlte Lichtspektrum. Um eine Schädigung der Augen zu vermeiden ist eine Ausfilterung von UV- und Blaulicht-Anteilen zwingend erforderlich.

9. Lichtsteuerung

Für die Lichtsteuerung können mehrere Konzepte eingesetzt werden:

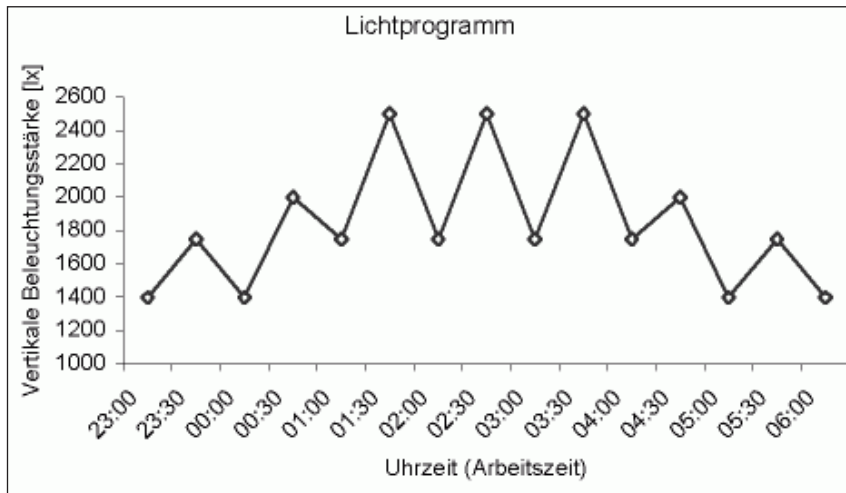
- Helles Licht am Tag
- Helles Licht in der Nacht
- Zirkadian gesteuertes Licht in der Nacht

Studien in Kalifornien haben gezeigt, dass Mitarbeiter im Sommer lediglich 20 Minuten Tageslicht zu sehen bekommen. Der daraus entstehende Mangel an Hellem Licht, der zur Stabilisierung der Zirkadianrhythmik notwendig ist, kann in idealer Weise mit Kunstlicht ergänzt werden.



Tab 1: Veränderliches, Helles Licht

Helles Licht in der Nacht kann auf konstant hohem Niveau, oder aber energie-sparender, in Form einer Sägezahnfunktion gefahren werden. Neben der Unterdrückung von Melatonin führt die Veränderung der Helligkeit zu einem positiven Einfluss auf die Wachsamkeit.



Tab 2: Zirkadian gesteuertes, Helles Licht

Zirkadian gesteuertes Licht ist besonders für Schichtarbeit an Arbeitsplätzen mit hohen Anforderungen an Wachsamkeit und Sicherheit geeignet. Mit einer von der Firma Shift Work Systems Inc. entwickelten Lichtsteuerungs-Software, wird der zirkadiane Rhythmus gezielt verschoben. Das heißt, ein an den Schichtplan gekoppelter Lichtsteuerungsalgorithmus errechnet für jeden Mitarbeiter individuell das optimale Lichtregime, um eine erwünschte Verschiebung der Phasenlage zu erreichen, bzw. eine erreichte Phasenlage stabil zu halten. Durch die Beschränkung bei Verschiebung der zirkadianen Rhythmen auf zwei bis drei Stunden pro Tag, muss für jeden Wochentag ein individuelles Lichtprogramm gefahren werden.

Bei der Einführung von Zirkadianer Licht-Technologie ist eine Begleitung der Mitarbeiter durch einen Chronobiologen bzw. Arbeitsmediziner zwingend erforderlich. Durch das Tragen eines Bewegungsaufnehmers am Handgelenk (Actiwatch von Cambridge Neurotechnology Ltd.) kann das Bewegungsmuster des Mitarbeiters (Aktogramm) sowohl während der Arbeitszeit, als auch in der Freizeit aufgezeichnet werden. Damit kann der Chronobiologe die Wirksamkeit von zirkadian gesteuertem, Hellem Licht überwachen und gezielt Korrekturen im Lichtprogramm vornehmen.

Bei allen aufgeführten Steuerungskonzepten ist zu achten, dass keine abrupten Helligkeitsänderung vorgenommen werden, was in der Regel als sehr störend empfunden wird. Bewährt haben sich Übergangsphasen vom Minimal- zum

Maximalwert der Beleuchtungsstärke von 20 bis 30 Minuten. Diese Übergänge werden nicht bewusst wahrgenommen.

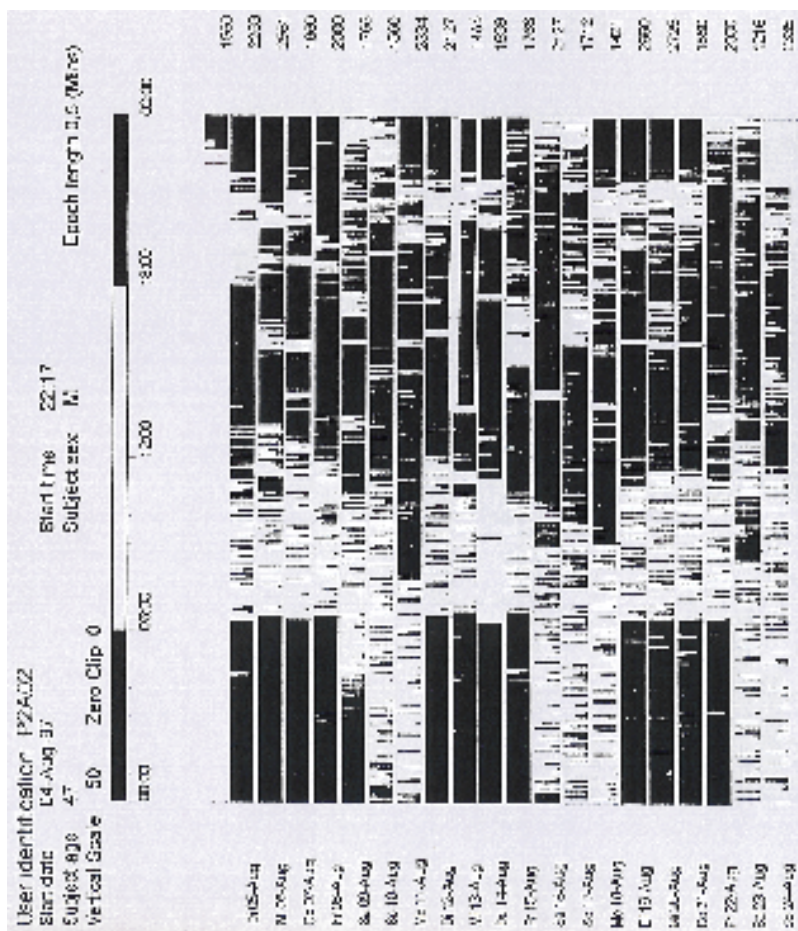


Abb. 2: Bewegungsmuster eines Mitarbeiters



Abb. 3: Qualitätskontrolle von Leiterplatten mit Hellem Licht

10. Die Anwendung von Hellem Licht in der Praxis

Beispiel Leiterplattenfertigung

In einem Produktionsbetrieb müssen die von der automatischen Kontrolle aus-
geschiedenen, defekten Leiterplatten manuell nachkontrolliert werden. Diese
Tätigkeit wird im Dreischichtbetrieb durchgeführt und erfordert hohe Anforderun-
gen an die Sehaufgabe:

- Messpunkte am Bildschirm ablesen
- Messpunkte an der Leiterplatte lokalisieren (häufig mit Mikroskop)
- Messpunkte kontaktieren

Aufgabe: absolute Fehlerfreiheit bei der Kontrolle

Lösung: Helles Licht sorgt für eine höhere Umgebungshelligkeit (reduzierte Ad-
aption), die Unterdrückung von Melatonin unterstützt die Wachsamkeit.

Beispiel Automobilzubehör-Fertigung

Durch die Forderung nach einer Produktionssteigerung ist die Einführung einer
dritten Schicht erforderlich geworden.

Aufgabe: Die Belastung der Mitarbeiter durch die Nachtarbeit soll minimiert wer-
den.

Lösung: durch zeitlich exakt gesteuertes, Helles Licht werden die Zirkadianen
Rhythmen der Mitarbeiter verschoben und dadurch die Nachtarbeit verträglicher
gemacht.



Abb. 4: Schäumenanlage für Kopfstützen mit Zirkadianer Licht-Technologie

Leuchten: zwei Leuchten je Arbeitsplatz, Größe der leuchtenden Fläche: 600 x 1200 mm je Leuchte, max. Beleuchtungsstärke auf Nutzebene: 4800 lx, vertikale Beleuchtungsstärke am Auge: 2700 lx.

Beispiel Vorschaltgerätefertigung

In diesem Produktionsbetrieb werden die von der automatischen Kontrolle ausgedienten, defekten Geräte repariert. Diese Tätigkeit wird im Dreischichtbetrieb durchgeführt und erfordert, hohe Anforderungen an die Sehaufgabe, analog der Leiterplattenkontrolle.

Aufgabe: absolute Fehlerfreiheit bei der Kontrolle

Lösung: Helles Licht sorgt für die Unterdrückung von Melatonin und unterstützt die Wachsamkeit.



Abb. 5: Reparaturplatz für digitale Vorschaltgeräte mit Hellem Licht

Literatur

- Brainard Brainard G. C., Bernecker C. A., „The effects of light on human physiology and behaviour“, 1995 CIE Conference New Delhi
- Czeisler Shanahan TL, Czeisler CA: Light exposure induces equivalent phase shifts of the endogenous circadian rhythms of circulating plasma melatonin and core body temperature in men, 1991 Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism; 73: 227-235
- Ehrenstein Ehrenstein W. „Licht ist der stärkste Zeitgeber des Menschen“, Therapiewoche 43, 21 (1993), S. 1198-1205
 Ehrenstein W. „Circadian lighting systems“, International Lighting Review, 1995, 2, S. 64-67
 Ehrenstein W. Nacht- und Schichtarbeit, A-Kurs für Arbeitsmedizin, München 21.3.2000
- Remé Remé Ch., Rol P., „Bright light therapy in focus: lamp emission spectra and ocular safety, 1996 Technology and Health Care 4: 403-413
- Zulley Zulley J., Knab B., „Unsere Innere Uhr“, 2000

MOSES - Modular Object-specific Evacuation System

Ein System zur dynamischen Evakuierungsplanung und Rettungswegesignalisierung im Gefahrenfall

Uwe Knappschneider

Für Gebäude, Bauwerke und sonstige Objekte, die für eine Nutzung durch große Personenzahlen bestimmt sind, müssen geeignete Maßnahmen baulicher und organisatorischer Art bereitgehalten werden, die eine sichere Evakuierung im Gefahrenfall ermöglichen.

Die von der örtlichen Genehmigungsbehörde bei Gebäuden geforderte und nach DIN/EN genormte Rettungswegebeschilderung mit Piktogrammen

- erlaubt keine Richtungsänderung des Fluchtweges
- hat nur eine statische Beleuchtung
- Auffälligkeit und Sicherheit der Beschilderung sind durch die Montage oberhalb der Türen gering
- Die statische Beschilderung kann die Personen im Einzelfall in den eigentlichen Gefahrenbereich führen (akute Gefährdung der Flüchtenden!)
- Personenströme können sich unkontrolliert im Gebäude verteilen
- Die Zugangsmöglichkeit der Rettungsmannschaften wird durch entgegenkommende Personenströme behindert

Diese Nachteile sollen durch eine dynamische, wissensbasierte Evakuierungsplanung und Rettungswegesteuerung vermieden werden.

Das hier vorgestellte System besteht aus drei Komponenten:

- eine automatische Objektüberwachung mittels Sensoren zur automatischen Erkennung der momentanen, bereichsbezogenen Personenanzahl (Vision-System)
- eine rechnergestützte, wissensbasierte Auswertung aller zur Verfügung stehenden Objektdaten zur automatischen Planung einer risikoangepassten, dynamischen Evakuierung (Neuronales Netz)
- eine dynamische Ansteuerung einer im Boden oder im unteren Wandbereich installierten Rettungswegesignalisierung (Leuchtdioden)

Im Evakuierungsfall sollen die Personenströme so gelenkt werden, daß brand- bzw. rauchbeaufschlagte Bereiche umgangen werden und die Flüchtenden durch das System davon abgehalten werden, verrauchte Rettungswege zu betreten. Die Zugangsmöglichkeiten der Feuerwehr werden verbessert, indem eine Kollision mit den Flüchtenden vermieden wird.

Die Besonderheit dieser Art der Wegweisung besteht darin, daß ein Leuchtband am Boden durch sich in der vorgegebenen Fluchtrichtung bewegende Segmen-

Dipl.-Ing. Uwe Knappschneider
Dinnebier-Licht GmbH
Schloß Lüntenbeck
D-42327 Wuppertal

te eine intuitive Richtungsweisung zu einem sicheren Notausgang ermöglicht. Es entsteht eine virtuelle Bewegung, die sowohl in ihrer Geschwindigkeit als auch in ihrer Richtung gesteuert werden kann.

Durch die Anordnung des Beleuchtungssystems am Boden wird der wesentliche Nachteil der konventionellen Rettungswegeschilder behoben: auch bei Ausbildung einer dichten Rauchschiicht unter der Decke, die konventionell angeordnete Piktogramme mit vergleichsweise niedriger Leuchtdichte in wenigen Sekunden völlig verdecken würde, bleiben die im Boden installierten Leuchtbänder auch bei großen Rauchschiichtdicken sichtbar.

Das Rettungswege-Signalisierungs-System wird durch ein Planungsprogramm (Evakuierungs Management System, EMS) angesteuert. Das System ist mit der Brandmeldeanlage (BMA) gekoppelt und generiert im Gefahrenfall aus den Meldungen der BMA und den statischen und dynamischen Gebäudedaten für jede Gebäudeposition den optimalen Fluchtweg. Entsprechend dem Planungsergebnis werden automatisch die Bodenleuchten angesteuert, so daß jedem Besucher der sicherste Weg zu einem Notausgang gewiesen wird. Die zur Planung einer Evakuierung notwendigen, auf theoretischen Grundlagen und Simulationsergebnissen basierenden Daten werden vom System in einer Wissensbasis gespeichert und stehen gebäudeunabhängig zur Verfügung. Die Daten, die das spezifische Gebäude beschreiben, werden in einer zweiten Datenbank gespeichert, damit eine einfache Adaption des Systems an Veränderungen im Gebäude möglich ist. Dem Betreiber des Gebäudes steht eine CAD-gestützte Schnittstelle zur Verfügung, die eine schnelle Änderung der statischen Gebäudedaten ermöglicht. Das System ist modular aufgebaut, um auch Ereignisse aus benachbarten Gebäudeteilen bei der Evakuierungsplanung berücksichtigen zu können.

Durch exakte Lokalisierung des Brandherdes und Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit kann ein optimierter Feuerwehruzugang unter Berücksichtigung von Gebäudegeometrie, Feuerwehraufzügen, möglichen Schlauchlängen u. ä. geschaffen werden. Im System werden permanent die sich verändernden Daten des Gebäudes (Meldungen der BMA, bereichsbezogene Anzahl von Personen, Zustand der Türen usw.) analysiert und risikoorientiert bewertet.

Die Anzahl der Personen, die sich im Gebäude aufhalten, wird i. a. durch Zähl-einrichtungen an den Eingängen ermittelt. Damit das System auch die Verteilung der Personen im Gebäude berücksichtigen kann, wird eine statistische Personen-Aufenthaltswahrscheinlichkeit ermittelt, die Auskunft über die Anzahl von Personen gibt, die sich zu einer bestimmten Zeit in abgegrenzten Bereichen eines Gebäudes aufhalten, wobei außergewöhnliche Menschenansammlungen, z. B. bei Veranstaltungen, berücksichtigt werden.

Die Ermittlungen der Personen-Aufenthaltswahrscheinlichkeit im Objekt erfolgt durch eine zyklische, statistische Auswertung der aus Videobildern gewonnenen Daten. Durch eine graphische Darstellung dieser Daten ist auch für den Betreiber oder Nutzer jederzeit eine Aussage über die Verteilung von Personen auf Bereiche innerhalb des Gebäudes möglich.

Im Folgenden soll der technische Aufbau der SMARTLINE – die dritte Komponente des oben beschriebenen Systems – dargestellt werden. Es handelt sich um ein modular aufgebautes System. Jedes Grundelement besteht aus 12 Leuchtdiodensegmentgruppen, einem Akustikmodul und einer eignen Steuer-elektronik. Diese Bauweise ermöglicht Verzweigungen in Knotenpunkten in ein-facher Weise.

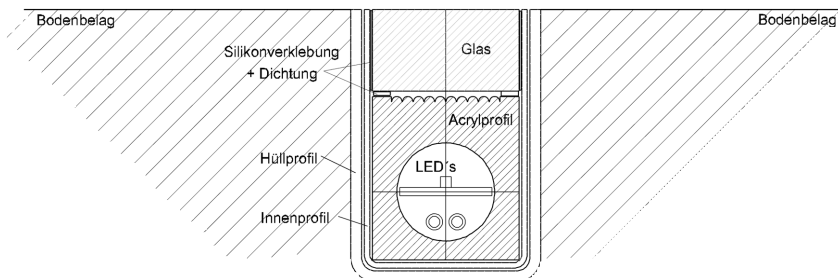


Abb. 1: Schnitt durch das System

Anzeige

Als Leuchtmittel kommen superhelle grüne Leuchtdioden der jüngsten Generation zum Einsatz. Die Anzeige des Fluchtweges erfolgt durch Ansteuerung der Leuchtdioden in Form eines Lauflichtes (definierter Block von gleichzeitig aufleuchtenden Dioden). Die Länge des leuchtenden Blockes und die Laufgeschwindigkeit sind frei über eine Infrarotschnittstelle programmierbar. Eine prismatische Optik fächert den der Leuchtdioden seitlich auf und steigert damit die Wahrnehmbarkeit erheblich. Die visuelle Führung kann durch eine akustisches Leitung unterstützt werden. Jedes Grundelement ist dann mit einem Akustikmodul ausgestattet. Der sehr gut zu ortende Ton wird durch Körperschallwandler synchron zum Lauflicht ausgegeben.

Steuerung und Betriebssicherheit

Verwendung finden jeweils zwei Steuerungsmodule, die über einen Voll-Duplex-Datenbus miteinander verbunden sind und sich in einem Master-Master-Slave Betrieb befinden. Eine permanente gegenseitige Abfrage erkennt Ausfälle und erhöht die Betriebssicherheit. Fehlerzustände können am Steuergerät direkt zur Anzeige gebracht oder an ein übergeordnetes System gemeldet werden. Bei einem Ausfall der Steuerung schaltet die SMARTLINE automatisch auf ein dauerhaftes und durchgehendes Leuchten der gesamten Strecke.

Die SMARTLINE ist sowohl vorgesehen für eine Integration in eine vorhandene Brandmeldeanlage als auch an ein übergeordnetes Fluchtwegesystem. Damit wird, wie vorab beschrieben, eine Eingliederung in die Gebäudeleittechnik erzielt.

Bewertung der Beleuchtungsstärkeverteilung in Verkaufsräumen bei regalgangorientierter Leuchtenanordnung

Alicja Dziedzic-Böttger

In der Verkaufsbeleuchtung setzt sich immer mehr die regalgangorientierte Beleuchtung durch. Der Vorteil gegenüber der Allgemeinbeleuchtung liegt in der Möglichkeit der Lichtkonzentration auf der Verkaufsware durch den Einsatz dafür optimierter Leuchten. Dieser Vorteil kann jedoch mit den Instrumenten der gegenwärtigen Beleuchtungsplanung über die horizontale Gangbeleuchtungsstärke nicht erfaßt werden.

Im weiteren werden Überlegungen für eine geeignetere Beleuchtungsbewertung angestellt, die eine bessere Berücksichtigung der Beleuchtung der Ware im Regal erlaubt und die Basis für den Vergleich unterschiedlicher Beleuchtungslösungen sein kann.

1. Beobachter im Regalgang und Warenpräsentation

Die Beleuchtungs- und Betrachtungssituation der Ware in herkömmlichen Verkaufsregalen ist in Bild 1 mit einem durchschnittlichen Beobachter (Augenhöhe ca. 1,6 m) in einem Abstand zum Regal von 0,6 m (Greifentfernung) aufgezeigt.

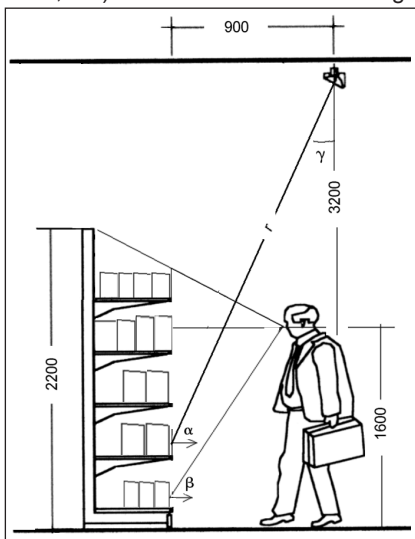


Bild 1: Beobachter im Regalgang mit vertikaler Warenpräsentation

Wegen des größeren Betrachtungsabstands und des größeren Blickwinkel β ergeben sich für die unteren Regalböden die ungünstigsten Beobachtungsbedingungen. Eine Verbesserung der Exposition der Ware im unteren Regalbereich kann durch das Verlassen der vertikalen Ebene der Warenpräsentation erreicht werden – siehe Bild 2.

Die Schrägstellung der Ware verbessert nämlich nicht nur den Blickwinkel β , sondern auch den Lichteinfallswinkel α von der Leuchte – insbesondere für die Regalböden unter der Höhe 1,2 m.

Die durch den Beobachter wahrgenommene Helligkeit der Ware ist in erster Linie durch deren Leuchtdichte

Dipl.-Phys. Alicja Dziedzic-Böttger
AEG Lichttechnik GmbH
Rathenaustraße 2–6
D-31832 Springe

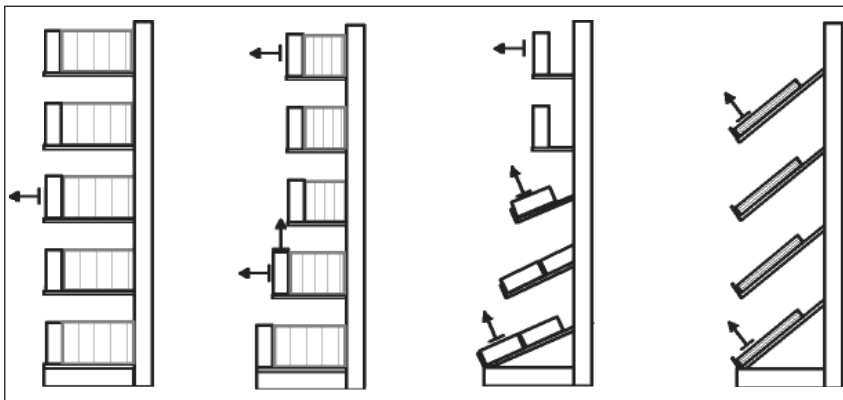


Bild 2: Beispiele der Warenanordnung in den Regalen mit Andeutung der Normalen zu denjenigen Flächen, auf denen die Leuchtdichte bewertet wird.

bestimmt. Bei Annahme von Eigenschaften eines diffusen Sekundärstrahlers (Lambertstrahler) mit dem Reflexionsgrad ρ für die Ware ist die Abhängigkeit zwischen der Beleuchtungsstärke E und der Leuchtdichte L die folgende:

$$L = \frac{\rho E}{\pi \Omega_0} = \frac{\rho}{\pi \Omega_0} E_0 \cos \alpha, \text{ wobei } E_0 = \frac{l(\gamma) \Omega_0}{r^2} \text{ ist}$$

Daraus ergeben sich zwei Möglichkeiten der Beeinflussung der Leuchtdichte der Ware – die Optimierung der Lichtstärkeverteilung $l(\gamma)$ abhängig von der Ganggeometrie und die Veränderung der Position der Ware im Regal ($\cos \alpha$) – welche im folgenden besprochen werden.

Bei der Warenpositionierung können dabei insbesondere drei Spezialfälle betrachtet werden:

- Warenpräsentation auf der orthogonal zur Lichteinfallrichtung orientierten Ebene – also mit $\alpha = 0$, $\cos \alpha = 1$ – woraus $L = \text{const} \times E_0$ folgt,
- vertikale Warenpräsentation mit $\alpha = (90 - \gamma)$ und $\cos \alpha = \cos(90 - \gamma) = \sin \gamma$, woraus $L = \text{const} \times E_0 \sin \gamma = \text{const} \times E_v$ folgt, sowie
- horizontale Warenpräsentation mit $\alpha = \gamma$, $\cos \alpha = \cos \gamma$ und $L = \text{const} \times E_0 \cos \gamma = \text{const} \times E_H$.

2. Berechnung der Beleuchtungsstärke im Regalgang

Die rechnerische Bewertung der Beleuchtungsstärkeverteilung mit den marktüblichen Programmen zur Unterstützung der Beleuchtungsplanung basiert auf der Berechnung der Punktbeleuchtungsstärke auf der Fläche nach dem Fotometrischen Entfernungsgesetz. Die Simulation von mehreren kleineren Bewertungsflächen im Regalgang, wie sie in Bild 2 angedeutet sind, ist in diesen Berechnungsprogrammen aufwendig und die Auswertung der Ergebnisse ist problematisch, weswegen sie selten angewendet wird.

Eine Vereinfachung ist daher die Berechnung der horizontalen Beleuchtungsstärke im Gang (auf dem Boden bzw. auf einer Nutzebene) und die Berechnung der vertikalen Beleuchtungsstärke auf der Regalfont. Beide Ergebnisse liefern jedoch nur unvollständige Informationen über die Beleuchtung der Ware im Regal. Erstens korreliert die Beleuchtungsstärke im Gang nicht mit der Warenbeleuchtung. Insbesondere gilt dies bei Verwendung von Leuchten mit Spiegeloptiken, bei denen die Lichtstärkeverteilung so optimiert ist, daß sich die Beleuchtungsstärke im Gang zugunsten der Beleuchtung auf der Regalfäche reduziert.

Als Illustration kann der in der Tabelle 1 dargestellte Vergleich der Werte der mittleren Beleuchtungsstärken E auf dem Boden bzw. der Nutzebene und der vertikalen Beleuchtungsstärke E_V an der Regalfont für eine Ganggeometrie wie im Bild 1 dienen. Die Werte beziehen sich dabei auf ein mit Leuchtstofflampen 58 W bestücktes Lichtband bei Reflexionsgraden Decke/Regalfont/Boden 70/30/40.

Leuchte mit	mittlere E auf der Nutzebene	mittlere E auf dem Boden	mittlere E_V an der Regalfont
weißem Reflektor	466 lx	343 lx	297 lx
Spiegeloptik	491 lx	348 lx	387 lx

Tabelle 1

Zweitens spiegelt die mittlere vertikale Beleuchtungsstärke E_V zwar den Einfluß der Lichtstärkeverteilung der Leuchte wieder – dies gilt aber nur für den Fall der vertikalen Warenpräsentation.

Aufgrund der Zusammenhänge a) – c) kann man aus dem Verlauf der vertikalen Beleuchtungsstärke an der Regalfont Rückschlüsse über die Größe der Beleuchtungsstärke für die horizontale und die geneigte Warenpräsentation ziehen. In der Tabelle 2 sind die Verhältnisse zwischen E_H , E_0 und E_V für eine typische Ganggeometrie wie in Bild 1 zusammengestellt.

Höhe im Regal	Winkel γ	$E_H = E_V \cdot \cot\gamma$	$E_0 = E_V \cdot \sin\gamma$
0,1 m	16,2°	3,4 · E_V	3,6 · E_V
1,2 m	24,2°	2,2 · E_V	2,4 · E_V
2,2 m	42 °	1,1 · E_V	1,5 · E_V

Tabelle 2

Der Nutzen, welcher sich durch die Änderung der Warenlage im Regal im Bereich bis 1,2 m Höhe ergibt, ist deutlich sichtbar (um den Faktor 2,2 bis 3,6 höhere Werte!)

In Bild 3 ist der Verlauf von E_V , E_H , und E_0 über die Höhe für zwei unterschiedliche Leuchtentypen dargestellt (nur der Direktanteil der Beleuchtung).

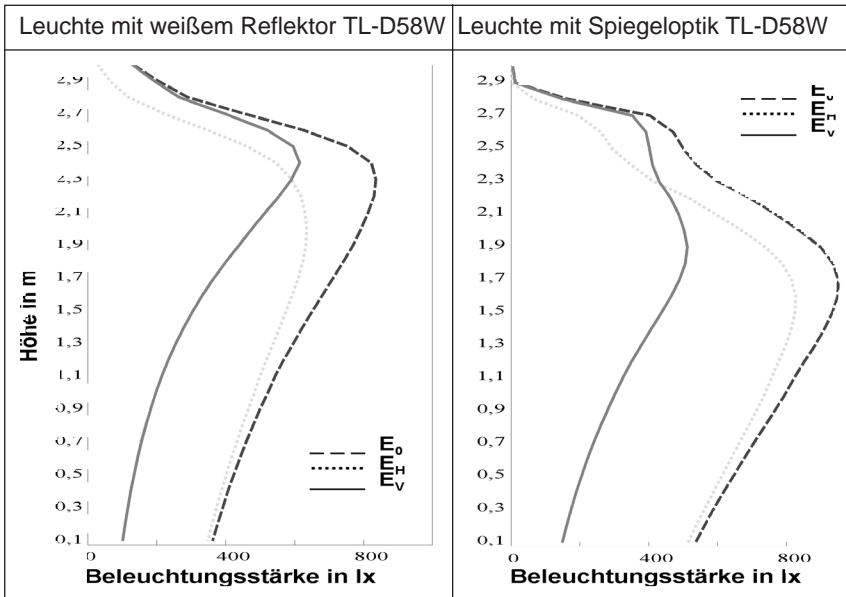


Bild 3. Verlauf der vertikalen und horizontalen Beleuchtungsstärke sowie derjenigen auf der orthogonal zur Lichteinfallrichtung orientierten Ebene für eine Ganggeometrie wie in Bild 1

Die Wirkung der lichtlenkenden Spiegel ist in zwei Punkten ersichtlich: zum Ersten wird das Maximum der Beleuchtungsstärke in den Bereich unter 2,2 m verschoben, also dorthin wo sich die Ware befindet, und zum Zweiten wird das Beleuchtungs-niveau in den unteren Regalhöhen angehoben.

3. Vorschlag für die Praxis

Die Berechnung der vertikalen Beleuchtungsstärke auf der Regalfront liefert Ergebnisse für die ungünstigste Art der Warenpräsentation und kann somit als Grundgröße für die Bewertung der Beleuchtung im Regal dienen.

Höhen-Power-Industrie – HPI – die moderne Industriebeleuchtung

Technische Innovationen und Industrielle Applikationen

Roland Heinz

Metallhalogendampflampen für hohe Lichtleistungen des Typs HPI wurden in den letzten Jahren immer häufiger für industrielle Beleuchtungszwecke eingesetzt (Abb. 1). Gegenüber Quecksilberdampflampen besitzt dieser Lampentyp den Vorzug einer deutlich besseren Farbwiedergabe ($R_a = 65-70$) und eines um ca. 50 % höheren Lichtstroms. Eine spezielle Brennertechnologie sorgt zudem für einen relativ geringen Lichtstromrückgang über die gesamte Lebensdauer der Lampe.

Die Entwicklung des Quarzbrenners moderner HPI-Lampen wird bei Philips heute durch Computersimulationen unterstützt (Abb. 2). Diese können auf der Basis vereinfachter Modelle Temperaturverteilungen sowie Konvektions- und Diffusionsströme visualisieren. Umfangreiche Datenbanken, in denen neben Geometrie der Brennkammer auch die chemische Zusammensetzung der Gasphase hinterlegt ist, helfen den Entwicklungszeitraum für neue Lampengenerationen deutlich zu verringern.



Abb. 1: HPI-Lampen von Philips im Einsatz an ESSO-Tankstellen.

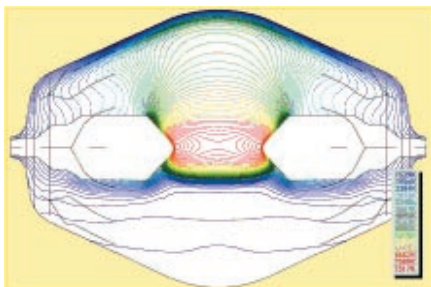


Abb. 2: Computersimulation der Temperaturverteilung in einer Hochdruckentladungslampe.

Die neueste Lampengeneration von Philips des Typs HPI-PLUS in den Wattagen 250 W und 400 W erlaubt einen Betrieb sowohl an Vorschaltgeräten von Quecksilberdampflampen (HPL, HQL etc.) als auch an Vorschaltgeräten von Natriumdampflampen (SON, NAV etc.). Dies ermöglicht häufig eine direkte Aufwertung

Dr. rer. nat. Roland Heinz
Philips Licht Hamburg
Steindamm 94
D-20099 Hamburg

bestehender Lichtanlagen ohne Wechsel von Zünd- oder Vorschaltgerät. Einige Lampen der HPI-PLUS-Produktlinie sind speziell für den Einsatz in offenen Leuchten entwickelt worden: Ein Polymerfilm schützt den äußeren Glaskolben vor einer möglichen Zersplitterung (HPI Plus BU-P; HPI Plus BUS-P).

Referenzen

C. C. Sturm, E. Klein; „Betriebsgeräte und Schaltungen für elektrische Lampen“

ISBN 3-8009-1586-3

F. Nörtemann, Philips Forschungslabor Aachen; interner Report

Die Steuerung der Lichtverteilung im Raum und die Akzeptanz des modernen Büroarbeitsplatzes

Eine Untersuchung im DIAL im Auftrag der Industrie
[Trägersgesellschaft DIAL e.V.]

Dieter Polle, Andreas Pickelein

1. Einleitung

Jeder Fachmann der Lichtplanung weiß, wie schlecht es um Lichtlösungen bestellt ist. Insbesondere im Massenbereich wie zum Beispiel Büroetagen oder Verwaltungsbauten, ist es weit verbreitet, nichts weiter als die preiswerteste Lösung zu verwenden, mit der günstigstenfalls die geforderte Mindestbeleuchtungsstärke der Norm auf der Nutzebene erfüllt werden kann. Jeder qualifizierte Lichtplaner weiß auch, dass Licht viel mehr leisten müsste, als eine Standardlösung leisten kann:

Es gilt Anforderungen zu berücksichtigen, die sich aus der ganz unterschiedlichen und nicht einmal während der gesamten Tageszeit und Tätigkeit gleich bleibenden Nutzung ergeben. Eine Besprechung erfordert beispielsweise ganz anderes Licht als eine Buchhaltungstätigkeit oder das Programmieren einer Webpage.

Architektonische Strukturen müssen beachtet werden, Bereiche wollen erkannt werden und Materialien müssen als solche Materialgerecht wahrnehmbar sein.

Der Mensch, der sich an seinem Arbeitsplatz befindet will Orientierung erhalten, möchte sich vielleicht sicher fühlen, Funktionsbereiche erkennen und mit Freude und ohne vorzeitige Ermüdungserscheinungen seiner Tätigkeit nachgehen.

Was bedeutet das eigentlich?

Es wird auf der Welt ganz viel unternehmerisches Kapital, nämlich die Mitarbeiter eines Unternehmens, damit verschwendet, dass nicht auf die bestehenden Bedürfnisse eingegangen wird. Grund dafür sind wir Fachleute, die nicht ausreichend in der Lage sind, diese Vorteile einer sicherlich erheblich aufwändigeren Beleuchtungsanlage den Investoren deutlich zu machen.

Um einen konstruktiven Beitrag zur Verbesserung dieser Situation zu leisten, führt DIAL seit 1999 eine kleine Untersuchung im Auftrag unseres Gesellschafters (der Trägersgesellschaft DIAL e.V.) durch. Ziel ist es, Erkenntnisse und Regeln für Planer darüber zu liefern, welche Beleuchtungsstrategie zu welchen Wir-

kungen führt und für Bauherren belegbare Aussagen zur Verfügung zu stellen, die dem Planer eine Argumentation erleichtern:

Es soll untersucht werden:

Welche Beleuchtungsstrategien in einem Büroraum zu einer Steigerung der Wohlbefindens führen können. Natürlich völlig losgelöst von Produkten, mit denen das Licht geeignet geführt wird. In einem ersten Schritt wurden etliche Parameter konstant gesetzt und einige Vorversuche durchgeführt, deren Ergebnisse wir im Folgenden darstellen möchten.

2. Aufbau des Versuchsraumes

Der Aufbau des Versuchsraumes wurde an bestimmte Anforderung geknüpft, damit für die Untersuchungen reproduzierbare Rahmenbedingungen eingehalten werden. Nach folgenden Anforderungen entstand dann ein Zwei-Mann-Büro als Untersuchungsraum:

- Arbeitsstättenverordnung § 23 „Raumabmessungen und Luftraum für Arbeitsräume“
- Arbeitsstättenverordnung § 24 „Bewegungsfläche am Arbeitsplatz“
- DIN 4543 Teil 1 „Büroarbeitsplätze“
- ZH 1/535 „Sicherheitsregeln für Büro-Arbeitsplätze“
- DIN 5034 Teil 1 Abschnitt 3 „Tageslicht in Innenräumen“
- Arbeitsstättenverordnung 7/1 §7 „Sichtverbindung nach Außen“. Aus diesen Forderungen resultiert die Raumabmessung gemäß Abb. Nr. 1. Abb. Nr. 2 zeigt die 3D-Ansicht des Versuchsraumes

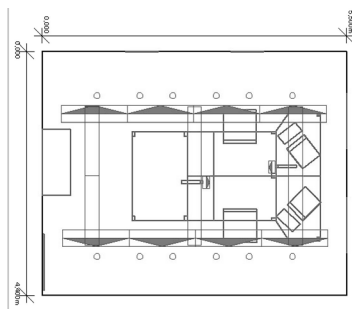


Abb. 1: Grundriss des Versuchsraumes

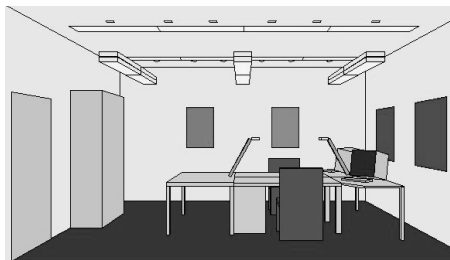


Abb. 2: 3D – Ansicht des Versuchsraumes

- Die gesamte Raummöblierung soll neutral gestaltet sein
- Helle Raumbegrenzungsflächen sind erforderlich
- Die Bleuchtungseinrichtung soll neutral sein, d.h. keine auffällig gestalteten Leuchten
- Prägnante Sehinformationen auf einer Wand einsetzen (Bilder, Pflanze, Flipchart)
- Individuelle Steuerungsmöglichkeit durch den Nutzer gewährleisten
- Frischluftzufuhr durch eine eigene Lüftungsanlage

- In der ersten Versuchsreihe: Lichtfarbe „warmweiß“ verwenden
- Abspeichern und aufrufen eingestellter Beleuchtungssituationen über PC

3. Beleuchtungssituationen

Im Folgenden werden die Beleuchtungssituationen beschrieben, die zu beurteilen waren. Alle Beleuchtungssituationen sind so eingestellt, dass auf der Arbeitsfläche eine Beleuchtungsstärke von 500 lx erreicht wird.

3.1 Direktbeleuchtung (Abb. Nr. 3)

Diese Beleuchtungsvariante besteht aus 3 dimmbaren Lichtbändern mit insgesamt sechs Leuchten. Bei eingeschalteter Direktbeleuchtung wird eine gleichmäßige horizontale Beleuchtungsstärke in Höhe der Arbeitsfläche erzeugt. Die Lichtaustrittsfläche liegt 2,40m über dem Boden. Die Leuchtdichte ist auf 200 cd/m² oberhalb eines Grenzausstrahlungswinkels von 60° begrenzt. Jede Leuchte ist mit zwei Lampen vom Typ T16 54W/830 bestückt.



Abb. 3: Beleuchtungssituation „Direktbeleuchtung“

3.2 Arbeitszonenbeleuchtung

Die installierte Arbeitszonenbeleuchtung besteht aus zwei dimmbaren Lichtbändern mit insgesamt vier Leuchten. Die Lichtaustrittsfläche liegt 2,40m über dem Boden. Diese Beleuchtungsvariante ist Teil der Direktbeleuchtung und lässt sich getrennt von dieser schalten. Beide Lichtbänder sind so angeordnet, dass sich

der Arbeitsplatz genau zwischen diesen Leuchten befindet und dadurch gleichmäßig beleuchtet wird.

3.3 Indirektbeleuchtung (Abb. Nr. 4)

Die installierte Indirektbeleuchtung besteht aus drei dimmbaren Lichtbändern mit insgesamt sechs Leuchten. Die Lichtaustrittsfläche liegt 2,50m über dem Boden. Jede, nach oben offene Leuchte ist mit zwei Lampen vom Typ T16 54W/830 bestückt und erzeugt so über eine gleichmäßige Beleuchtung der Decke, eine diffuse, schattenarme Allgemeinbeleuchtung des Raumes.



Abb. 4: Beleuchtungssituation „Indirektbeleuchtung“



Abb. 5: Beleuchtungssituation „Kombination aus Direkt- und Indirektbeleuchtung“

3.4 Direkt- / Indirektbeleuchtung (Abb. Nr. 5)

Kombination aus der reinen Direktbeleuchtung und der reinen Indirektbeleuchtung. Dabei erzeugt die Direktbeleuchtung 300lx und die Indirektbeleuchtung 200lx auf der Arbeitsfläche.

3.5 Direkt- / Wandbeleuchtung (Abb. Nr. 6)

Kombination aus der reinen Direktbeleuchtung und einer Wandbeleuchtung. Die Wandbeleuchtung des Versuchsraumes besteht aus zwei Reihen mit je vier dimmbaren Einbauwandflutern. Der Wandabstand beträgt 1,15m je Leuchte. Auf diese Weise wird an den Wänden eine gleichmäßige Vertikalbeleuchtung von der Decke bis zum Boden erreicht. Jede Leuchte ist mit zwei Lampen vom Typ TC-



Abb. 6: Beleuchtungssituation „Kombination aus Direkt- und Wandbeleuchtung“



Abb. 7: Beleuchtungssituation „Kombination aus Direkt- und Akzentbeleuchtung“

L 55W/830 und einer asymmetrisch strahlenden Optik ausgerüstet. Bei der eingestellten Kombination erzeugt die Direktbeleuchtung 300lx und die Wandbeleuchtung 200lx auf der Arbeitsfläche.

3.6 Direkt- / Akzentbeleuchtung (Abb. Nr. 7)

Eine gleichmäßige horizontale Beleuchtungsstärke wird durch die direkte Beleuchtung geschaffen. Sehinformationen und Wände werden durch Akzentbeleuchtung beleuchtet. Zur akzentuierten Beleuchtung wurden zwei Reihen mit je sechs dimmbaren Einbaurichtstrahlern installiert. Der Wandabstand beträgt dabei 0,80m je Leuchte. Jeder Strahler ist mit einer Lampe vom Typ QR111 75W/24° bestückt. Dabei erzeugt die Direktbeleuchtung 480lx und die Akzentbeleuchtung ca. 20lx auf der Arbeitsfläche.

3.7 Lokal- / Direktbeleuchtung (Abb. Nr. 8)

Diese Beleuchtungssituation kombiniert eine direkte Allgemeinbeleuchtung mit einer lokalen Arbeitsplatzbeleuchtung. Für diese lokale Beleuchtung wurden an jeden Arbeitsplatz zwei dimmbare Tischleuchten aufgestellt. Diese Leuchten sind mit einer Kompaktleuchtstofflampe 18W warmweißer Lichtfarbe bestückt. Dabei erzeugt die Direktbeleuchtung 300lx und die Lokalbeleuchtung im Mittel 200lx auf der Arbeitsfläche.

3.8 Lokal- / Wandbeleuchtung (Abb. Nr. 9)

Bei dieser Beleuchtungsvariante werden die vertikalen Flächen des Raumes beleuchtet, und reflektieren das Licht in den Raum. Die lokalen Tischleuchten erhöhen die Beleuchtungsstärke auf der Sehaufgabe. Dabei erzeugt die Wandbeleuchtung 300lx und die Lokalbeleuchtung im Mittel 200lx auf der Arbeitsfläche.



Abb. 8: Beleuchtungssituation „Kombination aus lokaler - und direkter Beleuchtung“



Abb. 9: Beleuchtungssituation „Kombination aus lokaler und Wandbeleuchtung“

3.9 Lokal- / Indirektbeleuchtung (Abb. Nr. 10)

Diese Variante kombiniert die indirekte Beleuchtung über die Decke mit den lokalen Tischleuchten. Über die lokale Beleuchtung wird die Sehaufgabe hervorgehoben. Dabei erzeugt die Indirektbeleuchtung 300lx und die Lokalbeleuchtung im Mittel 200lx auf der Arbeitsfläche.



Abb. 10: Beleuchtungssituation „Kombination aus lokaler und indirekter Beleuchtung“

3.10 Fenster (Tageslichtsimulation)

Das Tageslicht wird mit Hilfe von zwei „künstlichen Fenstern“ mit einer Bestückung von jeweils 18 Lampen des Typs T26 58W/865 erzeugt. Beide „künstlichen Fenster“ sind ebenfalls dimmbar. Bei zugezogenen Vertikallamellen lassen sich Beleuchtungsstärken von bis zu 2000 lx auf der Arbeitsfläche einstellen. Für alle Versuchs-Beleuchtungssituationen werden die „künstlichen Fenster“ so weit heruntergedimmt, daß eine mittlere Beleuchtungsstärke von ca. 20 lx auf der Arbeitsfläche gemessen werden kann. Die Leuchtdichte entspricht damit dem Niveau eines nach Süden ausgerichteten Fensters bei bedecktem Himmel und 11:00 MEZ. Die Versuchspersonen beurteilten die Simulation als realistisch und ließen sich von der Simulation „täuschen“.

4. Versuchsbeschreibung

4.1 Fragebogen

Mit Hilfe eines Fragebogens beurteilten die (bisher 20) Testpersonen die Raumeindrücke und Raumwirkungen, die durch die eingestellten Beleuchtungssituationen entstehen. Der Fragebogen besteht aus zehn bipolaren Wortpaaren, die nach dem Empfinden und der Raumwirkung für jede Beleuchtungssituation fragen. Für die Beantwortung der Fragen können die Testpersonen auf einer Bewertungsskala von 1 bis 5 ihr Urteil eintragen. Je sicherer sie sich ihrer Entscheidung sind, desto näher machen die Testpersonen ein Kreuz bei einem der Gegensatzpaare. Kann sich die Testperson nicht entscheiden, so markiert sie die Position 3 auf der Bewertungsskala.

4.2 Versuchsablauf

Bevor ein Versuch durchgeführt wird, erlebt die Testperson den Versuchsraum bei einer „allgemeinen Beleuchtung“ und macht sich mit dem Raum vertraut. Dabei herrscht eine Tageslichtsituation, die einem trüben Herbsttag entspricht. Nach einer kurzen Einweisung in die Thematik und den Ablauf des Versuches werden einige Angaben der Person zum Alter, Beruf, Sehschwäche usw. aufge-

nommen. Danach erhält der Proband die Fragebögen. Vor der ersten Beleuchtungssituation und zwischen allen nachfolgenden Lichtszenen wird die künstliche Beleuchtung bis auf das Tageslicht reduziert. Für die Testperson wird so immer eine neutrale Situation zwischen den jeweiligen Beleuchtungsszenen geschaffen, sie kann sich dann wieder auf die nächste Lichtszene einstellen.

5. Die Ergebnisse der bisherigen Versuche

5.1 Vergleich der Beleuchtungssituationen Direktbeleuchtung mit Direkt-/Indirektbeleuchtung, Direkt-/Wandbeleuchtung, Direkt-/Akzentbeleuchtung, Arbeitszonenbeleuchtung und reiner Indirektbeleuchtung.

Diese Ergebnisse sind in Abbildung 11 dargestellt.

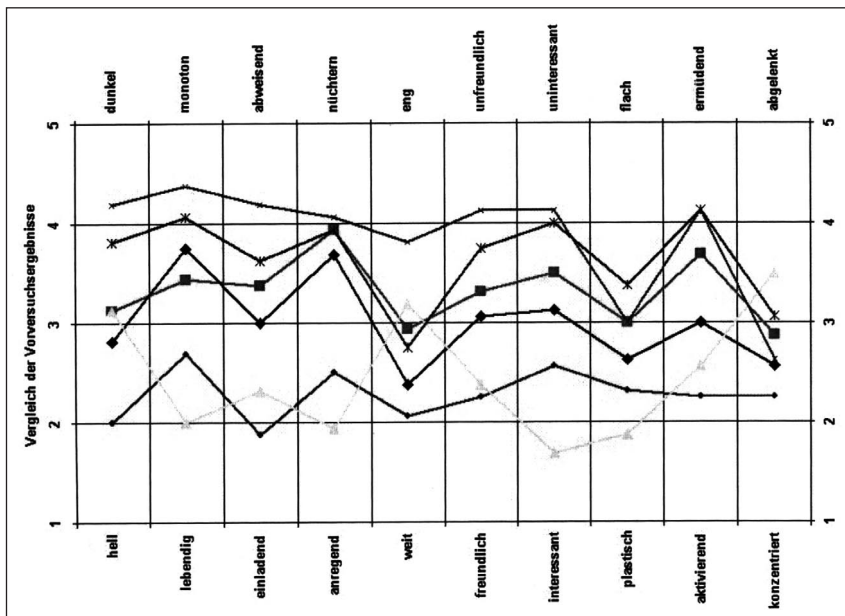


Abb. 11: Vergleich der Ergebnisse



Die größte Akzeptanz wird eindeutig durch die Kombination von Direkt- und Wandbeleuchtung erzielt. Diese Situation wirkt am hellsten und der Raum dadurch auch am weitesten. Die Beleuchtung wirkt dabei auf die Probanden am einladendsten und mit der Direkt- und Akzentbeleuchtung am freundlichsten. Außerdem ist diese Kombination Spitzenreiter beim Fördern von Konzentration und sie wirkt in höchstem Maße aktivierend.

Die Kombination von Direkt- und Akzentbeleuchtung zeigt ihre Stärke (Spitzenposition) bei der Schaffung einer lebendigen Atmosphäre. Außerdem ist sie am

besten geeignet einen Raum interessant und anregend erscheinen zu lassen. Allerdings fühlten sich die Versuchspersonen bei dieser Beleuchtung auch am ehesten abgelenkt.

Die Direkt- und Indirektbeleuchtung bewegt sich im Mittelfeld der Versuchsergebnisse. Auffällig ist die Erzeugung eines ziemlich monotonen und nüchternen Raumeindrucks. Wie die Direkt- und Wandbeleuchtung schafft sie eine relativ helle Atmosphäre und erzeugt eine weite Raumwirkung. Die Plastizität der Einrichtung wird schlechter, aber die Testpersonen können sich wie bei der reinen Arbeitszonenbeleuchtung relativ gut konzentrieren.

Die reine Arbeitszonenbeleuchtung wird wie die reine Indirektbeleuchtung von den Testpersonen insgesamt am schlechtesten beurteilt. Diese Lichtszenen lassen den Raum am dunkelsten, monotonsten, abweisendsten und nüchternsten erscheinen. Beim Erleben der Raumweite schneidet die Indirektbeleuchtung um einiges besser ab als die Arbeitszonenbeleuchtung. Beide Beleuchtungsvarianten sind uninteressant, ermüdend und unfreundlich.

5.2 Vergleich der Beleuchtungssituationen Direktbeleuchtung mit Lokal-/ Direktbeleuchtung, Lokal-/ Wandbeleuchtung und Lokal-/ Indirektbeleuchtung

Diese Ergebnisse sind in Abbildung 12 dargestellt.

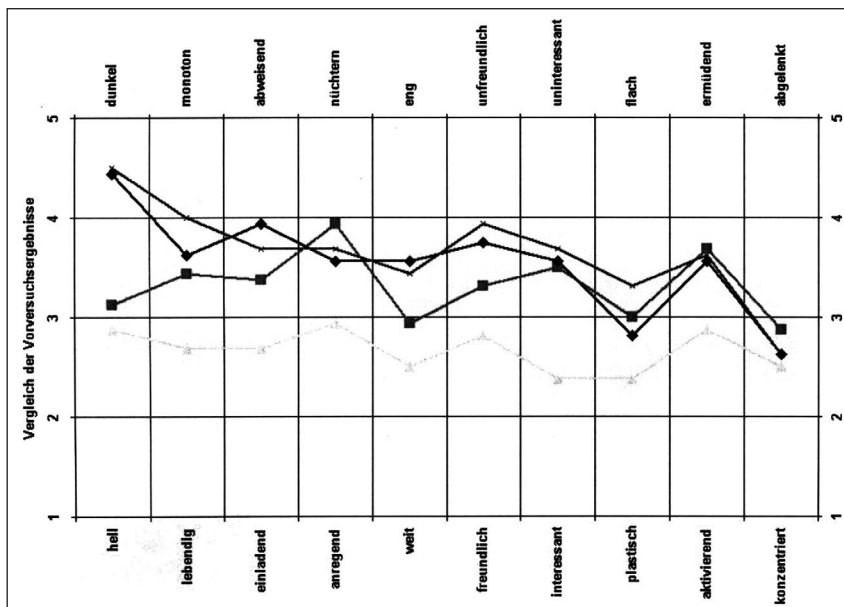


Abb. 12: Vergleich der Ergebnisse



Die größte Akzeptanz dieser Beleuchtungssituationen findet eindeutig die Kombination aus Lokal- und Wandbeleuchtung. Diese Beleuchtungsvariante ist hier der absolute Spitzenreiter und bei allen Kriterien weit überlegen.

Die Direktbeleuchtung schneidet bei diesem Vergleich als zweitbeste Situation ab, da sie heller, einladender und noch lebendiger wirkt als die Lokal- und Direktbeleuchtung bzw. Lokal- und Indirektbeleuchtung. Außerdem wirkt der Raum weiter und freundlicher. Allerdings sollte man eher von drittschlechtester Lösung sprechen, da die Bewertung dieser Situation allgemein im eher schlechten Bereich zwischen 3 und 4 liegt. Bei den übrigen Kriterien ist die Direktbeleuchtung genauso nüchtern, uninteressant und ermüdend wie die Lokal- und Direktbeleuchtung bzw. Lokal- und Indirektbeleuchtung.

Die Lokal- und Direktbeleuchtung bzw. Lokal- und Indirektbeleuchtung lassen den Raum am dunkelsten, monotonsten und abweisendsten erscheinen. Der Versuchsraum wirkt dabei sehr unfreundlich und erzeugt eine beengende Wirkung bei den Probanden.

6. Ausblick

Schon diese ersten „Ergebnisse“ zeigen, wie unterschiedlich ein jeweils mit 500 lx beleuchteter Raum wirken kann. Die Urteile für bestimmte Beleuchtungssituationen liegen weit auseinander, wodurch eindrucksvoll deutlich wird, wie mächtig das Instrument Licht in einem Innenraum ist und wie stark ein Lichtplaner Einfluss auf das Befinden der Beschäftigten an einem Arbeitsplatz hat. Diesen Einfluss muss auch der Investor erkennen.

DIAL sieht sich nicht nur am Anfang von Untersuchungen, die im DIAL und an vielen Orten der Welt notwendig sind, durchgeführt zu werden, sondern auch am Anfang eines breiten Aufklärungsprozesses von Planern und Investoren. Nicht zuletzt um einen Beitrag hierzu zu leisten wurde DIAL gegründet.

Zur Information:

DIAL GmbH, eine Gründung der Licht- und gebäudetechnischen Industrie hat seit der Gründung vor 11 Jahren die Aufgabe, das Wissen um Licht- und Gebäudetechnisches Wissen zu verbreiten und Gemeinschaftsinteressen der Industrie zu erkennen und als neutraler Dienstleister Lösungen hierzu anzubieten.

Büro-Lichtsysteme mit lichtlenkenden, transparenten Medien

Ottokar Schütz

Die Bürobeleuchtung in neuen oder renovierten Bürobauten ist durch die Anforderungen bezüglich der Entblendung aus der Sicht des Mitarbeiters ganz wesentlich geprägt. Darüber hinaus gibt es gewisse Grundanforderungen, etwa gekennzeichnet durch die Formulierung: Beim Betreten eines Raumes muß dieser hell, offen, großzügig und damit einladend sein.

Voraussetzungen: Bei Raumbeluchtungen, insbesondere bei Bürobeleuchtungen mit den üblicherweise geforderten Raumhelligkeiten, ist die Leuchte aus der Arbeitsposition eines Büroangestellten so zu entblenden, daß keine Störung (beim Blick zur jeweiligen Arbeitsvorlage im Gesichtsfeld des Arbeitenden) durch Blendung im Arbeitsablauf eintritt. Dies bedeutet, die (vom Arbeitenden wahrgenommenen) Leuchtdichten, die mittelbar durch die Lichtquelle entstehen, sind so zu verändern, daß man einerseits keine Störung wahrnehmen kann und andererseits eine behagliche Raumbeluchtung erhält. Insbesondere sind bei Büroarbeitsplätzen, die nahezu immer mit Bildschirmen ausgestattet sind, Direktblendung und Reflexblendung zu vermeiden. Direktblendung tritt dabei auf, wenn beim Blick zur Arbeitsfläche, beispielsweise zum Bildschirm oder zur Papiervorlage, im Gesichtsfeld große Helligkeit erzeugt wird. Grundsätzlich muß dabei ein direkter Blick (aus der Arbeitsposition) auf die Lampe ausgeschlossen werden. Bei langgestreckten Lampen sind Entblendungsmaßnahmen vornehmlich in Querrichtung, teilweise auch in Längsrichtung der Lampe bekannt.

Situation: Zur Entblendung einer Leuchte sind innerhalb des direkten Lichtabstrahlbereichs transparente Lichtlenkelemente mit Prismenstruktur (Entblendungstransparente) bekannt, die sich i. a. über die Länge der Leuchte erstrecken [1, ..., 4].

So gibt es lichtdurchlässige Leuchtenabdeckung zur Entblendung von Leuchten mit langgestreckten Lampen und einem oberhalb der Lampe angeordneten Reflektor, welche die Reflektoröffnung abschließt und auf der der Lampe abgewandten Seite gestreckte Prismen aufweist, welche das durchtretende Licht streuen sollen. Die gestreckten Prismen liegen etwa parallel zueinander und verlaufen quer zur Lampenlängsachse, wobei unter Berücksichtigung des Brechungsindex des Materials des Entblendungstransparentes der Abstrahlwinkel der Lampe längs der Lampenachse begrenzt werden soll. Der Prismenquerschnitt hat dabei die Form eines gleichschenkligen Dreiecks, wobei die Form des Prismenquerschnitts so gewählt sein muß, daß eine Totalreflexion ausgeschlossen wird, um so die Lichtverteilung der Leuchte quer zur Lampenachse möglichst

Dr. Ottokar Schütz
LiD · Köpenicker Weg 1
D-78056 Villingen-Schwenningen

wenig zu beeinflussen. Auf diese Weise wird die Lampe auf der sichtbaren Oberfläche des Entblendungstransparentes abgebildet, wobei das überaus helle Abbild der Lampe oft als störend empfunden wird [1]. Dabei treten Leuchtdichten von etwa 80 % bis zu 100 % der Lampenleuchtdichten auf, gemessen im Gesichtsfeld (Blickwinkel) eines Betrachters aus (sitzender) Arbeitsposition beim Blick zur Arbeitsfläche. Diese Leuchtdichten treten etwa bei einem Winkel von ca. 60° zwischen Leuchte und der Vertikalen auf. Eine Entblendung des Lampe in Querrichtung strebt die bekannte Anordnung nicht an.

Weiterhin gibt es eine lichtdurchlässige Lampenabdeckung zur Entblendung von Leuchten mit langgestreckten Lampen und einem oberhalb und seitlich der Lampe angeordneten Reflektor [2]. Das Prismenprofil ist radial um die Lampe gelegt. Dabei sind aber die einzelnen Prismen mehr oder weniger zufällig, ohne gezielte erkennbare Lichtlenkungsabsicht, um die Lampe angeordnet. Es werden auch die charakteristischen Größen der Prismen (z.B. die Prismenwinkel) nicht genannt.

Darüber hinaus sind ebenfalls eine lichtdurchlässige Lampenabdeckung zur Entblendung bzw. Leuchtdichtereduktion von Lampen und Leuchten mit langgestreckten Lampen und einem oberhalb und seitlich der Lampe angeordneten Reflektor bekannt [3]. Das Prismenprofil, das radial um die Lampe gelegt ist, wird in verschiedene Sektoren unterteilt. Dabei können die Sektoren verschiedene Anordnungen von Prismen und verschiedene Prismaabmessungen je Sektor tragen.

Im unteren Sektor sind die Prismen von der Lampe weg angeordnet. Der Lichtstrahl fällt also auf die Prismabasis und wird von dort durch (Mehrfach-)Brechung in den seitlichen Winkelbereich abgelenkt. Dabei wird eine radiale, zylindrische Anordnung der Prismen um die Lampe gewählt. Durch die Einzelgeometrie des Prismas wird die Lichtlenkung spezifiziert. Die Kontur, der die aneinander gereihten Prismen folgen, ist ein kreisförmiges Gebilde, dessen Achse mit der Lampenachse zusammenfällt. Durch die Form des Einzelprismas und die Prismenkontur der aneinander stoßenden Prismen wird eine Totalreflexion ausgeschlossen.

Im oberen Sektor werden die Prismen in ähnlicher Weise angeordnet. In den mittleren Sektoren werden die Prismen so angeordnet, daß die Prismabasis nach außen, von der Lampe weg zeigt. Dadurch werden die auf die Prismenschenkel von der Lampe auftreffenden Strahlen von beiden Schenkeln so auf die Basis gebrochen, daß diese letztendlich totalreflektiert werden. Diese totalreflektierten Strahlen werden dann wieder auf die Lampe zurückgeworfen. Alternativ können die Prismen völlig entfallen. An ihre Stelle tritt dann eine (transparente oder opale) Platte.

Außerdem sind eine Reihe von Rohrsystemen bekannt [4], bei denen Prismen zur Lichtlenkung verwendet werden. Es gibt eine Reihe von Patenten, bei denen Prismenfolien eingesetzt werden. Dabei ist die Prismenfolie i.a. senkrecht oder parallel zur Längsachse der Austrittsfläche der Leuchtgehäuse (nicht jedoch der Lampen!) angeordnet. Es werden i.a. Lichtrohre gebildet, an deren mindestens an einer Stirnseite die Lichtquelle (Lampe) angebracht ist.

Aufgabe: Es soll gezielt ein Entblendungskonstrukt bzw. Entblendungstransparent so entwickelt werden, daß eine für den Arbeitsplatz völlig blendfreie und für den Raumeindruck gleichmäßig erscheinende Raumausleuchtung erfolgt. Die aus der Lampe austretenden Strahlen, die nicht in den unteren Halbraum gelenkt werden, werden so in den oberen Halbraum umgelenkt, daß sie gerade nicht auf die Lampe zurückgeworfen werden. So soll einerseits eine sehr gleichmäßige und breite Lichtverteilung im oberen Halbraum erzeugt und andererseits der Wirkungsgrad der Leuchte gesteigert werden.

Lösung: Es wird eine gleichmäßige Lichtabstrahlung vom Lichtlenkelement (Entblendungstransparent) durch eine derartige Anordnung der Prismen relativ zur Lampe erreicht, daß die radial von der Lampe abgegebenen Lichtstrahlen und die in das jeweilige Prisma eingetretenen Lichtstrahlen an mindestens einer der Prismenschenkelflächen total reflektiert werden. Das Entblendungstransparent wird dabei von einem Teil der in die Prismen eintretenden Lichtstrahlen durchdrungen, während der andere Teil des Strahlenbündels durch Totalreflexion zurückgeworfen wird, und so das ganze von der Lampe radial abgestrahlte Lichtbündel, das zur Prismenfolie gelangt, gestreut wird. Mit der Ausrichtung der Prismen längs der Lampe wird insbesondere auch in den seitlichen Bereichen der Lampe eine vollständige Entblendung erreicht und der Raum gleichmäßig ausgeleuchtet. Die Prismen sind dabei entsprechend ihrer Querschnittsform und dem Brechungsindex des Materials relativ zum Leuchtenkörper so anzuordnen, daß durch Totalreflexion an einer Prismaschenkelfläche Teilbündel der auftreffenden Lichtstrahlen vom Durchtritt des Transparentes abgehalten werden.

Lösungsverfahren: Betrachtet man beispielsweise ein Prisma mit den Prismawinkeln α , der Winkel zwischen dem einen (linken) Prismaschenkel und Basis, und β , der Winkel zwischen dem anderen (rechten) Prismaschenkel und Basis, und betrachtet man die von der Basis gebrochenen Strahlen, die auf den (o.B.d.A. linken) Prismaschenkel auftreffen, so werden nur diejenigen auf die Basisfläche auftreffenden Strahlen mit einem Neigungswinkel ϵ zur Basis am (linken) Prismaschenkel totalreflektiert, die die nachfolgende Ungleichung erfüllen:

$$\epsilon \leq \epsilon_{\text{tg}} := \arccos[\sin(\alpha)\sqrt{n^2-1} + \cos(\alpha)]$$

Beschränken wir uns auf den für uns technisch relevanten Winkelbereich von $15^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$, so kann die Gleichung sehr gut durch die nachfolgende Gleichung approximiert werden:

$$\epsilon \leq \epsilon_{\text{tg}} := \frac{\pi}{2} + n[\alpha - \alpha_{\text{tg}}] \left\{ 1 + [n^2-1] \frac{[\alpha - \alpha_{\text{tg}}]^2}{6} \right\}$$

Mit den Bezeichnungen:

- α : Prismawinkel zwischen (linkem) Prismaschenkel und Basis
- ϵ : Einfallswinkel des Lichtes, bezogen auf die Basisneigung
- $\epsilon = \delta_q - \delta_b$, wobei
- δ_q : die Neigung des einfallenden Strahls zur Horizontalen
- δ_b : die Neigung der Basis zur Horizontalen

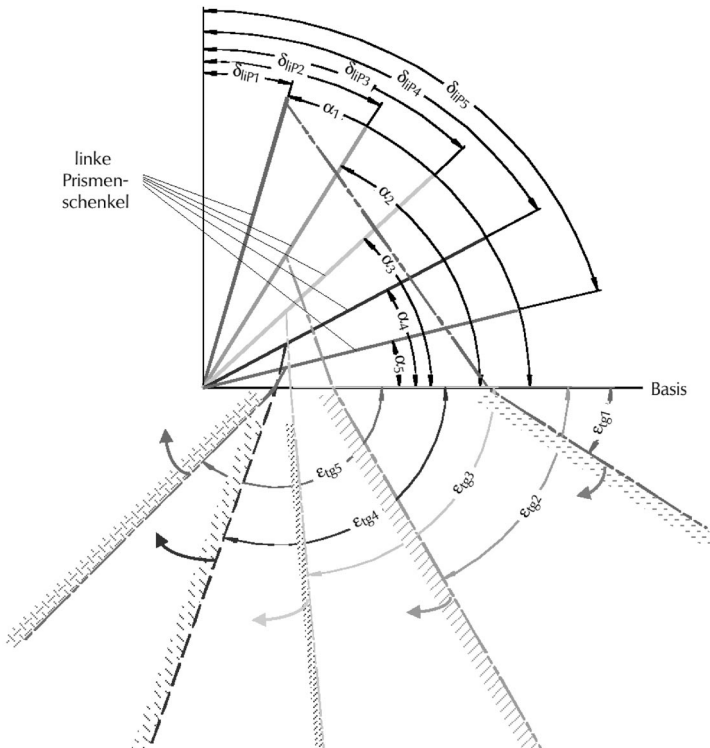
n : Brechungsindex des Prismas
 α_{tg} : Brewsterwinkel, genügt der Gleichung:
 $n \sin(\alpha_{tg}) = 1$

In Worte gekleidet besagt die Formel:

Bei (o.B.d.A.) senkrechter Ausrichtung der Prismabasis werden nur all die auf die Basis auftreffenden Strahlen am linken Prismaschenkel totalreflektiert, die oberhalb, also im Uhrzeigersinn gemessen, jenseits, des Grenzstrahls auffallen.

Bei (o.B.d.A.) horizontalem Lichteinfall werden nur all die auf die Basis auftreffenden Strahlen am linken Prismaschenkel totalreflektiert, bei denen die Neigung der Prismabasis, gegen den Uhrzeigersinn gedreht, vor dem Grenzneigungswinkel oder unterhalb des Grenzwinkels der Prismabasis liegt.

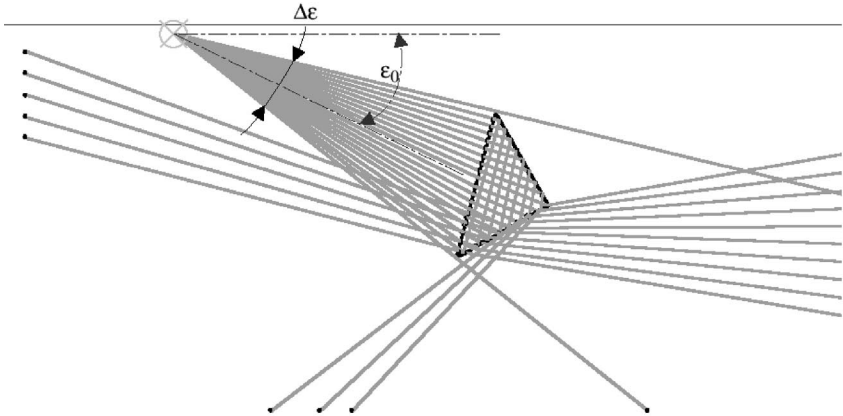
Eine graphische Darstellung des Besagten wird in Fig. 1 erläutert. Die Prismenwinkel α_1 bis α_5 zeigen verschieden geneigte linke Prismaschenkel, gemessen jeweils von der Basis, hier als Horizontale gezeichnet. Dabei wird die Neigung des linken Prismaschenkels δ_{lIP1} bis δ_{lIP5} hier von der Vertikalen aus gemessen.



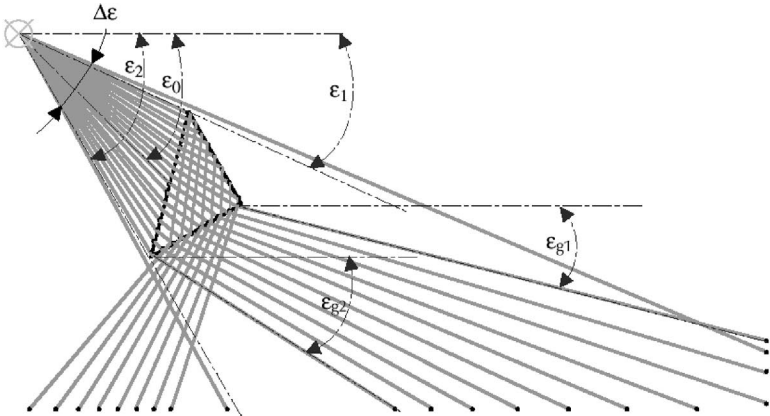
Figur 1: Variation der Neigung des linken Prismaschenkels

Die Grenzwinkel ϵ_{tg1} bis ϵ_{tg5} , bei denen die Totalreflexion beginnt, werden auch von der Basis aus gemessen. Da ϵ_{tg} im Uhrzeigersinn gemessen wird, ist der Winkel negativ. Alle Winkel $\epsilon \leq \epsilon_{tgi}$, mit $(i = 1 \dots 5)$, werden also am linken Prismaschenkel, mit der Neigung α_i , total reflektiert, die im Uhrzeigersinn („links“) von dem Grenzwinkel ϵ_{tgi} liegen, hier durch den schraffierten Bereich mit dem gekrümmten Pfeil angedeutet.

Die Figuren 2 und 3 zeigen die Brechungsverhältnisse der Lichtstrahlen an den Prismen am Beispiel eines einzeln dargestellten Prismas. Die Prismenfolie wird derart angeordnet, daß die Basisfläche entsprechend der Grundfläche des Dreiecksquerschnittes (Hypotenuse beim rechtwinkligen Prisma) der Lampe zugewandt liegt. Im vorliegenden Fall liegen die Prismaschenkeflächen des gleichschenkligen Dreiecksquerschnittes des Prismas in einem Winkel von $\alpha = \beta = 45^\circ$



Figur 2: 45°-Prisma; Neigung Prismabasis – Vertikale: 15



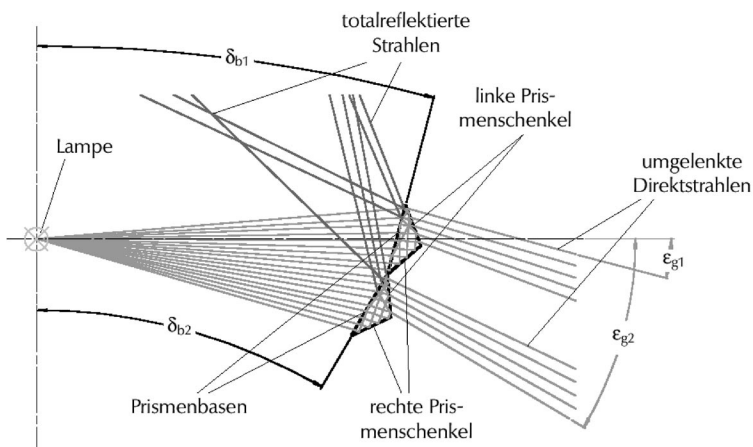
Figur 3: 45°-Prisma; Neigung Prismabasis – Vertikale: 30°

zur Basisfläche, wobei unter Berücksichtigung des Abstandes des Prismas zur Lampe in einem bestimmten Bereich des Anstellwinkels der Basisfläche zu den Radialen der Lampe die angestrebte Totalreflexion an einer der Prismaschenkelflächen eintritt. Jedes Prisma der Prismenfolie liegt in einer derartigen Winkellage zur Lampe, daß die Lichtstrahlen im Abstrahlsektor $\Delta\epsilon = \epsilon_2 - \epsilon_1$ der Lampe durch die Basisfläche in das Prisma eintreten. Dabei sind ϵ_1 und ϵ_2 jeweils die an den Grundflächenspitzen einfallenden Grenzeinfallswinkel der Grenzlichtstrahlen. Die Lichtablenkung der direkten Strahlen erfolgt dabei in dem Winkelbereich zwischen ϵ_{g1} und ϵ_{g2} .

Es ist sinnvoll, die der Lampe zugewandt liegende Seite des Entblendungstransparentes aus (nahezu) ebenen Basisflächen der Prismen zu bilden, wobei die Totalreflexion an einer der Prismenflächen auf der jenseits der Lampe liegenden Seite des Transparentes erfolgt. Dabei sind die Basisflächen nicht vollständig plan, weil die Krümmung des Prismentransparentes selbst auch zu einer, wenn auch geringen, Krümmung der Basisfläche führt.

Die total reflektierten Lichtbündel werden nach dem Austritt aus den Prismen jenseits der Lampe überwiegend vom Auftreffen auf dieselbe abgehalten. Das Entblendungstransparent besteht vorteilhafterweise aus einer Prismenfolie mit einseitig prismatischer Oberfläche, welche abdeckend vor der Lampe angeordnet wird. Entsprechend der Querschnittsform der Prismen, das heißt, der Breite der Basisflächen auf der prismatischen Oberfläche, ist die Prismenfolie in einem solchen Abstand zur Lampe anzubringen, daß die angestrebte Totalreflexion an den Prismenflächen entsteht.

In Fig. 4 sind zwei zueinander und zur Horizontalen geneigte symmetrische $\alpha = \beta = 35^\circ$ -Prismen gezeigt. Durch die gezeigte Anordnung werden die von der Lampe kommenden Strahlen, nach der Brechung an der Basis, zunächst am linken Prismenschenkel, danach am rechten Prismenschenkel totalreflektiert und



Figur 4: 2 x 35°-Prismen, Prisma 1 um $\delta_{b1} \approx 15^\circ$, Prisma 2 um $\delta_{b2} \approx 30^\circ$ zur Vertikalen geneigt

dann wieder durch die Basis umgelenkt, um zur Lampenseite zurückgeworfen zu werden. Allerdings werden diese Strahlen um die Lampe herumgelenkt und gelangen so auf die der ursprünglichen Ausstrahlungsseite entgegengesetzte Richtung.

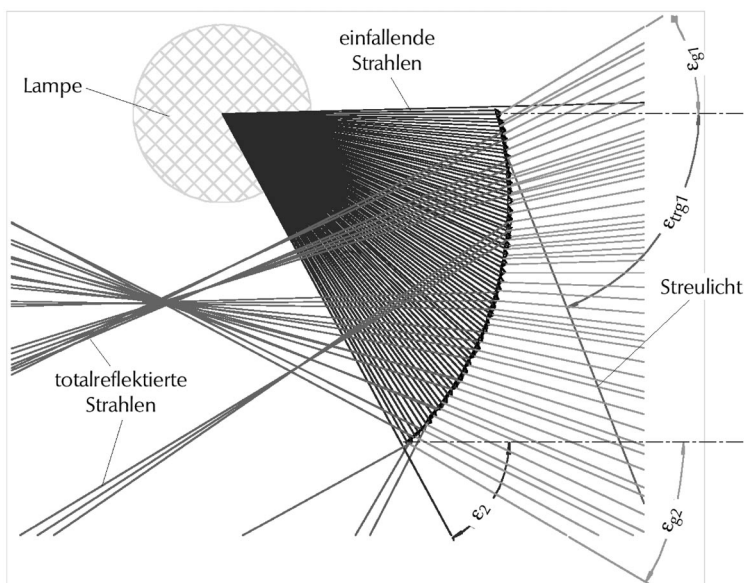
Die direkt durch die Prismen gelenkten Strahlen, die nach der Brechung durch die Basis auf die linken Prismenschenkel gelangen, werden nur umgelenkt. Durch eine geeignete Wölbung der Prismenfolie um die Lampe können die Prismen auf einfache Weise in die vorgesehene Lage gebracht werden und sie erzeugen so die gewünschte direkte Lichtverteilung.

Fig. 5 zeigt einen Querschnitt durch die Leuchte und die Strahlengänge der auf die Prismenfolie auftreffenden Lichtstrahlen, sowie die durch die Prismen umgelenkten Strahlen.

Die einfallenden Strahlen unterteilen sich in folgende Gruppen:

- die totalreflektierten Strahlen werden um die Lampe herumgelenkt,
- die direkt hindurchtretenden Strahlen werden in die Winkelbereiche $\epsilon_{g1} \geq \epsilon \geq \epsilon_{g2}$ gelenkt,
- ein (geringer) Teil wird zur Aufhellung der Prismenfolie genutzt (Streulicht)

Je nach Wunsch kann man nun diese Teile unterschiedlich zu einem Ganzen zusammenfügen. Man kann den direkten Winkelbereich festlegen, also ϵ_{g1} und ϵ_{g2} , oder man legt den Streulichtbereich, ϵ_{trg1} , fest.



Figur 5: Prismenkontur 1 {1,5; -15} aus 45°-Miniprismen, gedreht; gemäß Konstruktionsvorschrift

Literatur:

- [1] DE 34 20 414 C2
- [2] DE 41 15 836 A1
- [3] DE 38 41 518 A1
- [4] DE 41 27 784 A1, DE 44 38 062 A1 und DE 94 21 685 U1, DE 196 10 250 A1, DE 196 23 166, DE 34 30 191 C2, DE 42 22 897 A1, DE 196 40 325 A1, DE 28 07 441 C2 sowie die US 4,805,984 , US 5,363,470, US 5,771,328

Superhydrophile photokatalytische Oberflächen – oder ein Lotus-Effekt in der Lichttechnik?

Jürgen Ewald

Zusammenfassung

Zunächst stellt sich jeder die Frage, was denn eine superhydrophile photokatalytische Oberfläche ist, und welche Bedeutung dies für die Lichttechnik hat. Hier die Erläuterung: Lichttechnische Bauelemente, die mit dieser Beschichtung versehen sind, haben die Eigenschaft, daß durch Einwirkung des UV-Anteils des Sonnenlichtes eine chemische Reaktion an der Oberfläche stattfindet (Photokatalyse) und die bewirkt, daß die Oberfläche wasseranziehend (hydrophil) wird. Oder einfach gesagt: eine Tröpfchenbildung auf einer optischen Oberfläche wird verhindert.

Diese Beschichtungen finden bereits als sogenannte Anti-Tau-Folien ihre Anwendung im Bereich der Verkehrslichttechnik. Nahezu alle Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen werden mit retroreflektierenden Materialien hergestellt. Bedingt durch den Aufbau dieser retroreflektierenden Materialien und durch den Einfluß des Wechsels in Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit kann sich Tau auf der Oberfläche bilden. Der Effekt der Retroreflektion wird durch die Wassertröpfchen behindert und die Erkennbarkeit der Verkehrszeichen verschlechtert sich erheblich. Durch die spezielle Oberflächenbeschichtung wird diese Tröpfchenbildung verhindert – es entsteht eine Art Wasserfilm, so daß die Wirkung der Retroreflektion erhalten bleibt. Ein weiterer Nebeneffekt ist eine Selbstreinigung der Oberfläche.

Neben diesem Anwendungsbeispiel bieten sich weitere Applikationen im Bereich der Lichttechnik. Überall dort, wo durch Wassertropfen (Kondenswasser, Tau oder ähnliches) ein optisches System gestört wird.

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Funktionsweise dieser Materialien, und Ergebnissen aus Untersuchungen zu den lichttechnischen Eigenschaften. Am Beispiel von Verkehrszeichen, die mit dieser Oberfläche versehen sind, werden anhand von Rückstrahlwert- und Leuchtdichtemessungen die Vorteile dargestellt. Weiterhin zeigt dieser Beitrag neue Anwendungen für die Technologie der Leuchtdichtemessung mit Hilfe bildauflösender Systeme im Bereich der Verkehrslichttechnik.

1. Einleitung

Der Begriff „Lotus-Effekt“ ist in der Öffentlichkeit sehr bekannt geworden durch die Arbeiten von Prof. Dr. Wilhelm Barthlott, der durch diese Leistung mehrere

Dipl.-Ing. Jürgen Ewald
Nippon Carbide Industries (Netherlands) B.V.
Eisterweg 5
NL-6422 PN Heerlen

Auszeichnungen erhalten hat. Unter anderem 1998 wurde Prof. Barthlott für den Deutschen Zukunftspreis des Bundespräsidenten nominiert und erhielt 1999 den Philip-Morris-Forschungspreis sowie den „Deutschen Umweltpreis 1999“. Weltweit hat diese Entdeckung für Aufsehen gesorgt und fast jeder kennt den Lotus-Effekt auch mit der Umsetzung in eine alltägliche Anwendung, als Fassadenfarbe, die dafür sorgt, daß unsere Häuser lange Jahre schön und trocken erscheinen /1/, /10/.



Abb. 1: Die Lotuspflanze (*Nelumbo nucifera*) /1/.

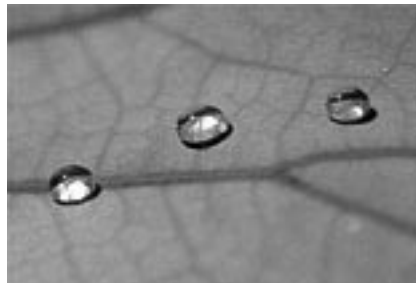


Abb. 2: Wassertropfen perlen von der Blattoberfläche ab /1/.

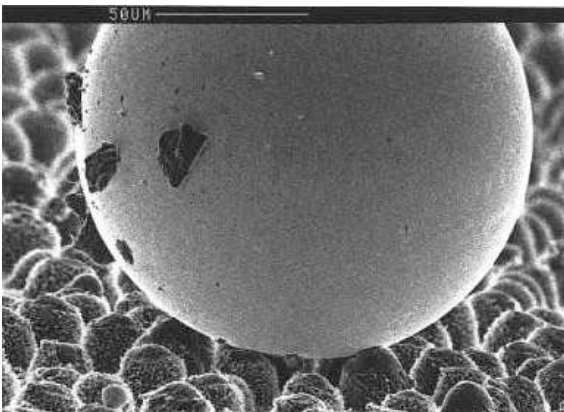


Abb. 3: Vergrößerte Darstellung der aufgerauhten, hydrophoben Blattoberfläche. Schmutzpartikel werden durch den Wassertropfen weggetragen /1/.

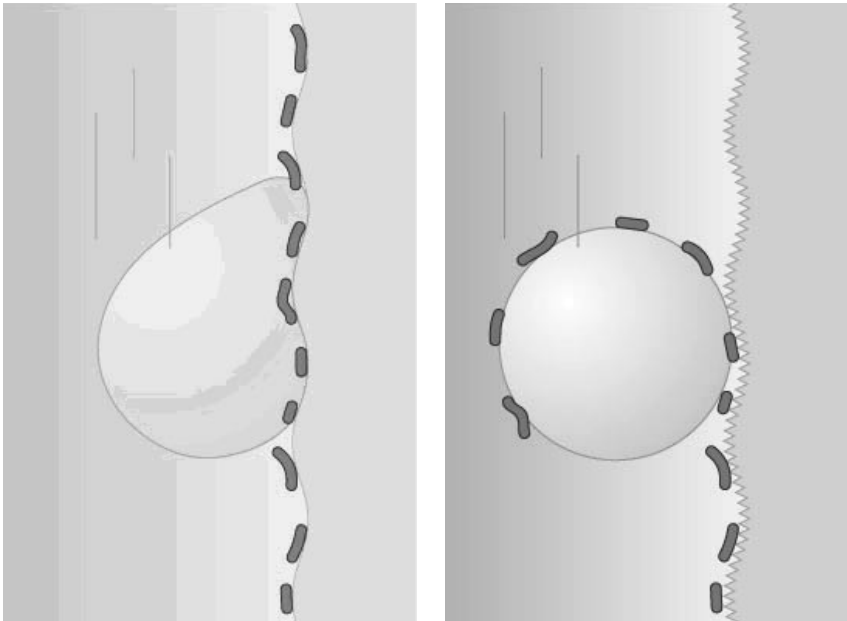
2. Der Lotus-Effekt

Die Lotuspflanze (vgl. Abb. 1) steht in asiatischen Religionen als Symbol für Reinheit. Wasser, das auf das große schildförmige Blatt dieser Pflanze gelangt, perlt sofort ab (vgl. Abb. 2). Wenn dieser Wassertropfen über das Lotuspflanzenblatt rollt, nimmt dieser auch kleinste Staub- und Schmutzpartikel mit, und entfernt diese von der Blattoberfläche.

Grundlage dieses Mechanismus ist die extrem aufgeraute Oberflächenstruktur, die einen hydrophoben oder Wasser abstoßenden Effekt bewirkt (vgl. Abb. 3).

3. Superhydrophobe Oberflächen

Bei superhydrophoben Oberflächen ist eine gewollte Tröpfchenbildung erwünscht.



a) Herkömmliche Oberfläche

b) Superhydrophobe Oberfläche

Abb. 4: Verhalten eines Wassertropfens auf unterschiedlichen Oberflächen /10/.

Herkömmliche Oberflächen sind weniger hydrophob und können daher stärker mit Wasser benetzt werden. Die Schmutzpartikel bleiben auf der Oberfläche haften. Durch eine Mikrostrukturierung der Oberfläche wird die Kontaktfläche von Schmutzpartikeln und Wassertropfen extrem reduziert. Der Wassertropfen reißt die nur lose haftenden Partikel mit. Es tritt ein Selbstreinigungseffekt ein.

4. Superhydrophile photokatalytische Oberflächen

Wenn eine Titanoxid-Oberfläche (TiO_2) mit dem ultravioletten Anteil des Lichtes (UV) bestrahlt wird, werden freie Sauerstoffradikale freigesetzt. Die aktivierten

Sauerstoffmoleküle sind so stark, daß diese die Molekülbindungen von organischen Materialien aufspalten können. Dieser Prozess ist vergleichbar mit der Photosynthese, bei der das Chlorophyll mit Hilfe der Sonneneinstrahlung (photokatalytischer Prozess) Wassermoleküle (H_2O) und Kohlendioxid (CO_2) in Glukose verwandelt /9/.

Auf gewöhnlichen Oberflächen wird ein Wassertropfen unterschiedlich verformt. Hierzu kann man den Kontaktwinkel φ definieren, der angibt, wie stark der Wassertropfen an der Oberfläche anhaftet. Der Kontaktwinkel von Wasser auf einer anorganischen Oberfläche beträgt 20° - 30° . Bei Oberflächen mit einer Silikonbeschichtung oder Fluorcarbon Polymeren beträgt der Kontaktwinkel 70° - 90° . Bei einer superhydrophoben Oberflächeneigenschaft geht der Kontaktwinkel über 90° hinaus.

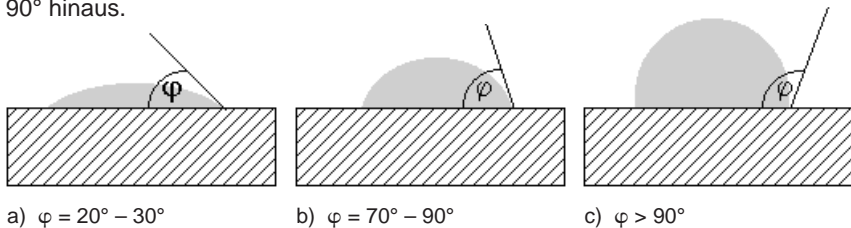


Abb. 5: Definition des Kontaktwinkel eines Wassertropfens auf einer Oberfläche.

Um nun eine Oberfläche mit superhydrophilen Eigenschaften zu erlangen, muß der Kontaktwinkel kleiner als 10° sein. Das geht soweit, das dieser 0° erreichen sollte, also einen Wasserfilm auf der Oberfläche bildet.

Die nachfolgende Grafik zeigt das Verhalten des Kontaktwinkels eines Wassertropfens auf einer superhydrophilen Oberfläche. Nach einer Expositionszeit von 3 Stunden mit UV-Licht mit einer Strahlleistung von $0,4 \text{ mW cm}^{-2}$ hält die Wirkung bis zu 2 bis 3 Wochen in der Dunkelheit an. Ist eine Oberfläche einem täglichen Wechsel (Tag – Nacht) ausgesetzt, ist die Wirkung der Oberflächeneigenschaft stets gewährleistet.

5. Retroreflektierende Oberflächen

Wie wird nun eine solche superhydrophile Oberfläche im Bereich der Lichttechnik praktisch genutzt? Dies soll am Beispiel von retroreflektierenden Materialien gezeigt werden. Diese sind, wenn man so will, optische Systeme mit einer speziellen Oberflächeneigenschaft.

Es gibt viele unterschiedliche Prinzipien, retroreflektierende Materialien herzustellen. Seit langen Jahren werden retroreflektierende Materialien in Form von Folien verwendet. Man unterscheidet hier nach den Prinzipien der Reflexfolien auf Basis von Mikroglasskugeln und von Mikroprismen. Die Retroreflektion der Materialien auf Basis von Mikroprismen wird durch das Prinzip der totalen Reflexion an Grenzflächen erzeugt. Ausgangspunkt hierzu war das Prinzip des Trippelspiegels. Werden 3 Flächen jeweils senkrecht zueinander angeordnet,

wird der auf die erste Fläche auftreffende Lichtstrom jeweils auf die beiden nächsten reflektiert und dann annähernd in die gleiche Richtung zurück reflektiert. Abb. 7 gibt einen Überblick über die existierenden retroreflektierenden Folien /4/, /5/, /6/.

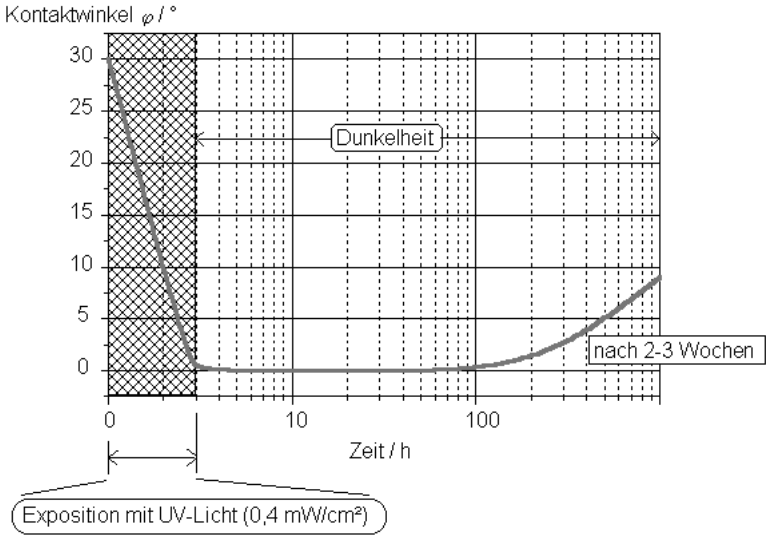


Abb. 6: Charakteristik der superhydrophilen photokatalytischen Oberfläche /9/.

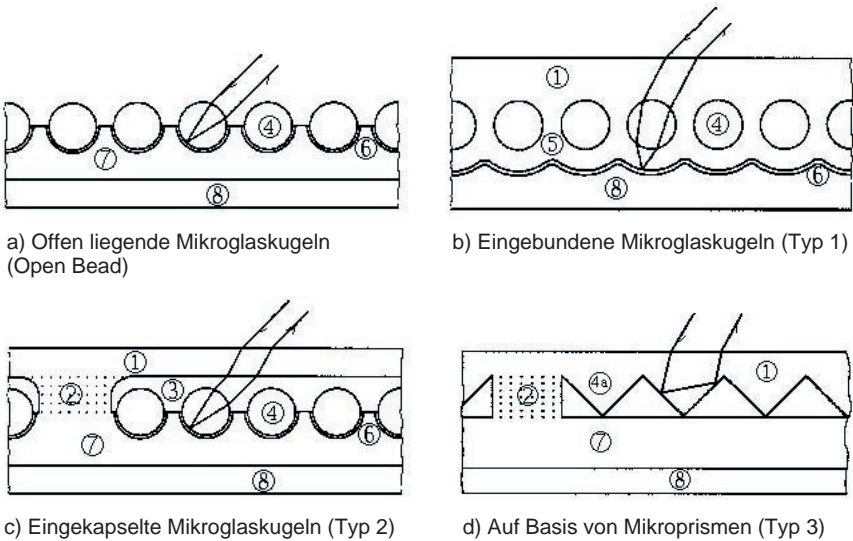
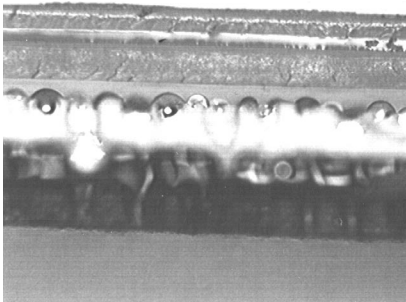
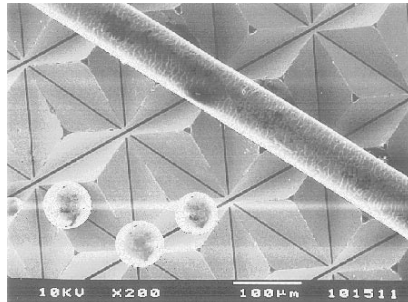


Abb. 7: Prinzipien der Konstruktion von retroreflektierenden Folien. Legende: 1 Witterungsbeständige Deckschicht, 2 Verschweißung, 3 Luftkapseln, 4 Mikroglassperlen, 4a Mikroprismen, 5 Abstandsschicht, 6 Aluminium-Bedampfung, 7 Trägerschicht, 8 Klebeschicht

Reflexfolien werden in großindustriellen Prozessen gefertigt. Die Dicke der Folien beträgt je nach Typ und Ausführungsform ca. 100 µm bis 500 µm. Abbildung 8 zeigt Beispiele zweier Folientypen in der Vergrößerung 7/.



a) Schnitt durch eine Reflexfolie mit eingekapselten Glasperlen.



b) Oberflächenstruktur einer mikroprismatischen Folie.

Abb. 8: Mikroskopische Darstellung von retroreflektierenden Folien.

6. Retroreflektierende Materialien und Taubildung

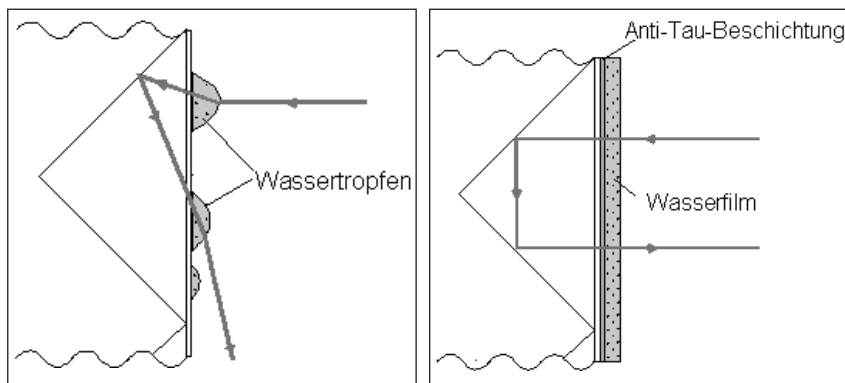
Zum Einsatz kommen diese retroreflektierenden Folien in der Hauptsache für Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen. Aufgrund der Konstruktion der Folien, die unter anderem eine Luftschicht besitzen, kann sich durch Temperaturunterschiede und Veränderungen der Luftfeuchtigkeit Tau auf der Oberfläche bilden. Auch die Trägerkonstruktion des Zeichens selbst kann einen Einfluß auf die Taubildung haben. Ein solches Verkehrszeichen sieht dann so aus, wie in der nachfolgenden Abbildung 9 gezeigt. Die Erkennbarkeit und auch die Lesbarkeit verringert sich erheblich, was zu einer Gefährdung der Verkehrssicherheit führen kann.



Abb. 9: Beispiel eines Wegweisers mit Taubildung auf der Oberfläche.

Beschichtet man nun eine retroreflektierende Folie mit einer superhydrophilen photokatalytischen Folie oder kurz Anti-Tau-Folie genannt, kann der Effekt der Taubildung weitgehend verringert oder auch verhindert werden.

Wie in Abb. 10a dargestellt, wird das Licht aufgrund der Wassertropfen auf der Folienoberfläche gestreut, so daß der beabsichtigte Strahlenverlauf durch die Prismenstruktur gestört wird. Dies ist bedingt durch die unterschiedlichen Brechungsindizes von Wasser und der in der Folie verwendeten Kunststoffe. Wird die Reflexfolie nun mit der Anti-Tau-Folie beschichtet (vgl. Abb. 10b), bildet sich aus den Wassertropfen ein Wasserfilm, der sich dann wie eine zusätzliche Schicht auf dem Reflexfoliensystem verhält und das Licht nicht mehr streuen kann.



a) Tropfenbildung auf einer mikroprismatischen Folie

b) Mikroprismatische Folie mit Anti-Tau-Beschichtung

Abb. 10: Schnitt durch ein Prismenelement einer mikroprismatischen Reflexfolie.

7. Meßtechnische Untersuchung der Taubildung

Um die Funktionsweise und den Effekt genauer zu untersuchen, wurde ein Zeichen hergestellt, das zur einen Hälfte mit und zur anderen Hälfte ohne die Anti-Tau-Folie beschichtet war. Als retroreflektierendes Material wurde hierzu eine Folie auf Basis von Mikroprismen mit der Aufsichtfarbe Weiß verwendet. Mit Hilfe der bildauflösenden Leuchtdichtemeßtechnik wurde das Zeichen im Verlauf mehrerer Nächte beobachtet und vermessen.

Die Untersuchungen wurden am Fachgebiet Lichttechnik der Technischen Universität Ilmenau durchgeführt /8/. In einem zweiten Untersuchungsabschnitt wurden zusätzlich die Veränderungen der Lufttemperatur, der Temperatur auf der Zeichenoberfläche und die relative Luftfeuchte in ihrem zeitlichen Verlauf erfaßt. Dies erfolgte mit Hilfe eines Taupunktmeßgerätes. In Abb. 11 sind die ersten Ergebnisse der Untersuchung dargestellt. Die rechte Hälfte des Zeichens war mit der Anti-Tau-Folie beschichtet. Die linke, unbehandelte Zeichenoberfläche zeigt eine starke Taubildung. Die Leuchtdichteunterschiede werden mit der Falsch-

farbendarstellung deutlich gemacht. Es zeigt sich, daß die betaute Hälfte um den Faktor 3 bis 5 geringer ist, als die beschichtete Seite. Für den Kraftfahrer zeigt sich hier in einer Konsequenz, daß die Verkehrssicherheit mit stets gleich gut erkennbaren Verkehrszeichen erhalten werden kann.

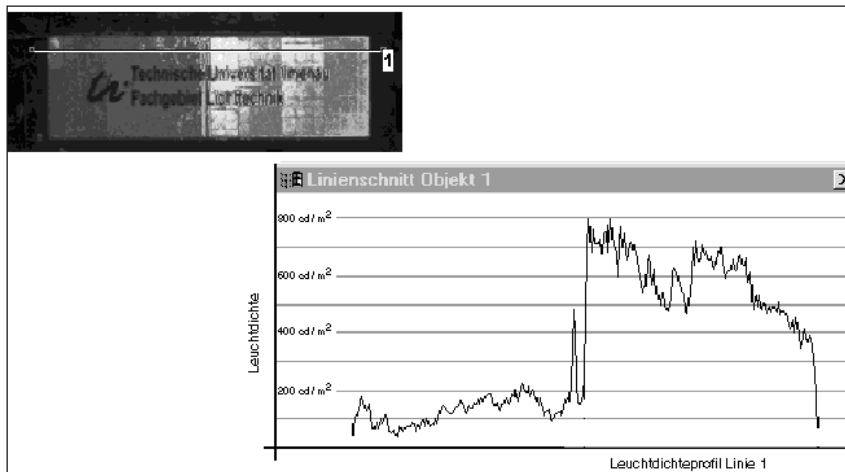


Abb. 11: Leuchtdichteanalyse des Zeichens mit und ohne Anti-Tau-Folie.

Einen weiteren, nicht um so weniger erwähnenswerten Effekt besitzt diese Spezialbeschichtung. Dadurch, daß der Wasserfilm an der senkrechten Zeichenfläche herablaufen kann, tritt eine Selbstreinigung ein. Man kann hier sagen, daß diese superhydrophilen photokatalytischen Oberflächen auch dem Effekt der Reinhaltung von optischen Oberflächen dienen und somit wieder der Lotus-Effekt in Erinnerung gebracht wird, da dieser für saubere Oberflächen steht. Der gewünschte Effekt auf Verkehrszeichen bedeutet, daß diese nicht mehr verschmutzt werden und aufwendige und kostenintensive Reinigung entfallen kann. Da durch eine verschmutzte Oberfläche die Rückstrahlwirkung gesenkt wird, besteht auch hier eine Beeinträchtigung der Erkennbarkeit. Bleiben die Verkehrszeichen jedoch sauber, so bleiben die hohen Rückstrahlwerte erhalten und die Verkehrssicherheit gewährleistet.

Literatur

- /1/ Barthlott, W., Neinhuis, C.: Der Lotus-Effekt. HYPERLINK „<http://www.botanik.uni-bonn.de/system/bionik.htm>“
- /2/ DIN 6171 Teil 1: Aufsichtfarben für Verkehrszeichen. Farben und Farbgrößen bei Beleuchtung mit Tageslicht. Beuth Verlag, Berlin, 1989.
- /3/ DIN 67520 Teil 1: Retroreflektierende Materialien zur Verkehrssicherung, Lichttechnische Bewertung, Messung und Kennzeichnung von Rückstrahlern und Reflexstoffen. Beuth Verlag, Berlin, 1994.
- /4/ DIN 67520 Teil 2: Retroreflektierende Materialien zur Verkehrssicherung, Lichttechnische Mindestanforderungen an Reflexstoffe für Verkehrszeichen. Beuth Verlag, Berlin, 1994.

- /5/ DIN 67520 Teil 3: Retroreflektierende Materialien zur Verkehrssicherung. Lichttechnische Mindestanforderungen an Nachtkennzeichen für Leitpfosten und an Fahrbahnmarkierungen im Straßenverkehr. Beuth Verlag, Berlin, 1994.
- /6/ DIN 67520 Teil 4: Lichttechnische Mindestanforderungen an Reflexstoffe mikroprismatischer Materialien. Beuth Verlag, Berlin, 1999.
- /7/ Ewald, J.: Retroreflektierende Materialien. Tagungsband zur LuxJunior 1999, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik, 1999.
- /8/ Gall, D., Slabke, U.: Vermessung von retroreflektierenden Materialien mit superhydrophilem photokatalytischem Effekt. Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik, 1999.
- /9/ TOTO Ltd., Japan: Super-hydrophilic photocatalyst and its applications. „<http://www.toto.co.jp>
- /10/ Ispo: Lotusan – Schmutz perlt mit dem Regen ab. „<http://www.lotusan.de/>

Messung ultraschwacher Photonenströme

Karin Bieske, Joachim Fisch, Dietrich Gall

1. Einführung

Typische Meß- und Untersuchungsaufgaben im Bereich der Lichttechnik beinhalten die visuelle Wahrnehmung des Menschen und die Bewertung von Beleuchtungssituationen. Der Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 780 nm und Beleuchtungsstärken von minimal 10^{-3} lx stellen dafür Grenzbereiche dar.

Es gibt Strahlungsphänomene – aktiv oder induziert – die sich der Wahrnehmung mit dem bloßen Auge entziehen, bei denen es sich jedoch aufgrund der spektralen Strahlungscharakteristik um Licht handelt. Diese ultraschwachen Lichtphänomene liegen etwa zehn Zehnerpotenzen unterhalb der Wahrnehmungsgrenze des menschlichen Auges.

Erste Beiträge, die von ultraschwachen Strahlungsphänomenen berichten, wurden bereits Mitte des 20. Jahrhunderts veröffentlicht/1/. Aufgrund fehlender technischer Möglichkeiten konnten solch kleine Photonenströme erst in den letzten Jahren untersucht werden/2/. Die ultraschwache spezifische Photonenstrahlung ist ein allgemeines Phänomen lebender Organismen. An lebenden Geweben, Zellen und Molekülen läßt diese sich nachweisen. Die spezifische Photonenstrahlung reicht im Spektralbereich von 200 nm bis 800 nm von einigen wenigen bis zu einigen hundert Photonen/s · cm². Es ist bekannt, daß diese Strahlung mit verschiedenen biologischen Vorgängen korreliert, so beispielsweise mit der DNS-Vervielfachung, der Zellteilung, der Photosynthese, Photorepair-Prozessen, Reaktionen auf äußere Umwelteinflüsse, Erkrankungen und dem Sterben eines Organismus. Die emittierte Strahlung reagiert sehr sensibel auf innere Vorgänge und äußere Einflüsse. So erlaubt die Messung dieser Strahlung möglicherweise Aussagen zum Zustand des Organismus und in den Bereichen der Diagnostik und Therapie von Erkrankungen – z.B. Erkrankungen des Immunsystems und Krebserkrankungen – die Forschung über die Medikamentenwirksamkeit. Desweiteren ist die Kontrolle der Lebensmittelqualität, die Indikation von Verunreinigungen und die Untersuchung von Umwelteinflüssen möglich /3/. Für den Bereich der Lichttechnik ergibt sich daraus möglicherweise die Chance, objektive Parameter für die Beurteilung der Güte von Beleuchtungssystemen hinsichtlich der physiologischen Lichtwirkung auf den Menschen neben der visuellen Wahrnehmung und der Akzeptanz zu gewinnen.

Dipl.-Ing. Karin Bieske
Dr.-Ing. Joachim Fisch
Prof. Dr.-Ing. Dietrich Gall
Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau
Fachgebiet Lichttechnik
Postfach 10 05 65
D-98684 Ilmenau

Darüber hinaus sind Biolumineszenzerscheinungen (Glühwürmchen/ Leucht-bakterien) nachweisbar, die vom Luciferin – Luciferase – System stammen und deutlich größere Meßsignale verursachen /4/.

Auch im Bereich der nichtorganischen Werkstoffe ist es denkbar, daß aus dem Lichtspeicherverhalten auf die Struktur und Stoffeigenschaften geschlossen werden kann. Die von der Materie emittierte Photonenströme und die Art und Weise, wie implizierte Strahlung absorbiert und reemittiert wird, erlaubt Aussagen über Stoffeigenschaften, Stoffzustände, Wechselwirkungsprozesse und darüber, wie Veränderungen erfolgen. Auf diese Weise ist es möglich, Prozesse (z.B. Materialalterung) zu beobachten. Über die Messung von Chemolumineszenzerscheinungen ist ebenfalls die Existenz von Stoffen nachweisbar (z.B. Ozon, Stickoxide u.a.) /5/, /6/.

Die Untersuchung ultraschwacher Photonenströme bietet damit in vielen Bereichen Ansätze für neue Verfahren in Medizin und Technik. Die rasante Weiterentwicklung von Strahlungsempfängern und Meßverfahren, mit denen kleinste Photonenströme nachweisbar sind, eröffnen einen ganz neuen Zweig im Bereich der Lichttechnik.

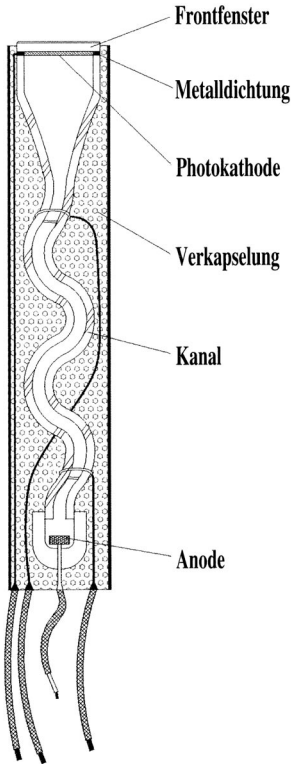


Abb. 1: Schematische Darstellung des Channel-Photomultipliers CPM /7/

2. Anforderung an die Meßtechnik

Die Messung ultraschwacher Photonenströme erfordert strahlungssensitive Empfänger, setzt hohe Verstärkungsfaktoren voraus und stellt hohe Anforderungen hinsichtlich Stabilität, Linearität, Eigenrauschen und Störnempfindlichkeit. Aufgrund der großen Empfindlichkeit beeinflusst Störstrahlung der Meßumgebung durch Überlagerung das Meßsignal wesentlich. Der Streulichtanteil der Meßumgebung und die Strahlungsspeichereigenschaften der Meßprobe selbst können sich dem Meßsignal problematisch überlagern. Die Güte des Meßergebnisses wird sowohl von den Systemparametern des Meßgerätes als auch von der Streulichtfreiheit und Stabilität der Meßumgebung bestimmt.

3. Sensoren zur Messung ultraschwacher Photonenströme

Neben Photomultipliern finden heute auch Microchannel Plates (MCP), Multianode Photomultiplier Tubes, Channeltrons, CCD-Matrizen und Channel-Photomultiplier Anwendung. Die Abbildung 1 zeigt schematisch einen Channel-Photomultiplier, einen neuartigen ultra-sensitiven und rauscharmen Photodetektor /7/.

Bestimmende Systemparameter der Empfängersysteme sind:

- Quantenausbeute
- Verstärkungsfaktor
- Signal-Rausch-Verhältnis
- Stabilität und
- Auflösungsvermögen

Die Quantenausbeute und die spektrale Quanteneffizienz wird durch die Materialeigenschaften des Eintrittsfensters und der photosensiblen Schicht (Kathodenmaterial) bestimmt.

Für die Gleichmäßigkeit der Empfängerfläche ist der Herstellungsprozeß entscheidend. Der Verstärkungsfaktor bestimmt die Empfindlichkeit des Meßsensors und nimmt Einfluß auf das Signal-Rausch-Verhältnis. Er ist abhängig vom jeweiligen angewendeten photoelektrischen Prinzip und der Vervielfachungstechnik, die im Sensor zum Einsatz kommt. Durch die Wahl der Betriebsspannung wird der Verstärkungsfaktor entscheidend beeinflusst.

Interne Rauschprozesse im Sensorelement sowie Rauschteile nachgeschalteter Baugruppen bestimmen das Gesamttrauschen. Eine Kühlung des Sensorelements kann eine Rauschminderung bewirken.

Einfluß auf die Stabilität können Temperaturschwankungen, Störeinkopplungen und Überlagerungen mit Störstrahlung haben /5/.

Das örtliche Auflösungsvermögen wird durch die Größe der Empfängerfläche festgelegt und verhält sich umgekehrt proportional zur Empfindlichkeit. Die zeitliche Auflösung wird zum einen durch die Meßzeit festgelegt und minimal durch die Impulsbreite bestimmt. Geeignete Meßmethoden (z.B. Photon Counting) und Verstärkungsverfahren sowie die Wahl von Discriminatorschwellen führen zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses und ermöglichen auf diese Weise die Messung kleinster Signale. Stand der Technik sind Meßsysteme, die es erlauben Photonenbestrahlungsstärken von weniger als 100 Photonen/s cm² zu messen und damit Photonenströme in Größenordnungen von 10⁻¹⁸ W nachzuweisen.

Im Fachgebiet Lichttechnik wurde ein Meßsystem in einem speziellen Dunkellabor aufgebaut, das Untersuchungen in diesem Bereich erlaubt.

4. Technische Parameter und Aufbau des Meßsystems

Für die Aufbereitung der Meßsignale findet das Photon Counting als Meßverfahren Anwendung. Gegenüber dem Analogverfahren ist bei diesem Verfahren die Meßimpulsamplitude ohne Bedeutung. Die eigentliche Meßgröße ist die Anzahl der Impulse je Zeiteinheit. Unabhängig von möglichen Schwankungen der Betriebsspannung und der Verstärkung sind auf diese Weise hohe Meßgenauigkeiten erreichbar. Als Erweiterung des Meßmoduls wurde eine Schutz- und Steuereinrichtung entwickelt. In Abbildung 2 ist der prinzipielle Aufbau des Meßsystems schematisch dargestellt.

Parameter	
Sensor	Sekundärelektronenvervielfacher (SEV/ Photomultiplier) Typ EMI 9235 QA
Detektorfläche	45 mm
Meßprinzip	äußerer photoelektrischen Effekt
Kathodenmaterial	Bialkali CsSb
Fenstermaterial	Quarz
Spektralbereich	200nm < λ < 650 nm, max. 420 nm
Quanteneffizienz	durchschnittlich 20%, max. 33%
Dynodenanzahl	13
Verstärkungsfaktor	25*10 ⁶
Typ. Kühltemperatur	-30 °C
Dunkelzählrate	20 cps
Nachweisgrenze	6 cps
Betriebsspannung	1000 V

Tab. 1: Technische Parameter des Meßsystems

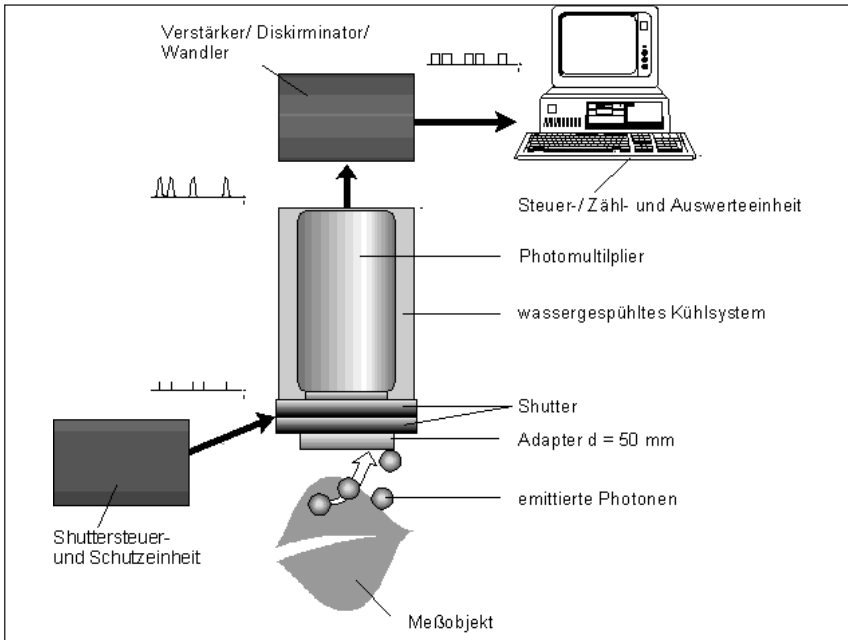


Abb. 2: Schematischer Aufbau des Meßsystems

Der Photomultiplier ist der Meßsensor und dient der Signalerfassung, Wandlung und Verstärkung. Über die Wahl der Betriebsspannung wird die Empfindlichkeit bestimmt und das Signal-Rausch-Verhältnis optimiert. Verstärker/Diskriminator und Wandler dienen der Signalaufbereitung für die weitere Verarbeitung im Auswertemodul. Die Steuer-/ Zähl- und Auswerteeinheit übernimmt die Ablaufsteuerung für die Messung und ermittelt die Zählraten. Mit Hilfe der Kühlkammer und des Rückkühlsystems wird der Arbeitspunkt des Photomultipliers stabilisiert und die Empfindlichkeit erhöht, da das Eigenrauschen deutlich minimiert werden kann. Das Shutterssystem dient dem Schutz des Photomultipliers vor zu hohen Bestrahlungsstärken. Es wird über eine Steuereinheit betrieben, in die eine Fremdlichtüberwachung integriert ist.

5. Systemeigenschaften

– Linearität

Mit Hilfe eines entwickelten Referenzstrahlers konnte nachgewiesen werden, daß das Meßsystem linear arbeitet und die Zählraten tatsächlich von Photonen stammen /8/.

– Empfindlichkeit

Zählraten, die größer als 24 cps sind, können sicher mit dem Meßsystem nachgewiesen werden /5/.

– Stabilität

Die Messungen ließen sich gut reproduzieren. Das Signal-Rausch-Verhältnis blieb im Untersuchungszeitraum stabil. Änderungen während Langzeitmessungen betragen weniger als 2 %. Die Temperaturstrahlung beeinflusst die Zählrate durch Wirkung auf die Empfängerkathode erst bei Temperaturen ab 42 °C deutlich. Für übliche Versuchsbedingungen kann damit eine Temperaturbeeinflussung ausgeschlossen werden/8/.

– Streulichtanteil des Meßraums

Durch Optimierungen konnte die Strahlungsimmission im Meßlabor auf Werte unter 2 cps minimiert werden.

6. Erste Messungen

Im Rahmen mehrerer Meßreihen wurden Probanden an unterschiedlichen Meßorten der Hände und Unterarme untersucht. In Abbildung 3 ist die gemessene Spontanemission an unterschiedlichen Meßorten der Hände und Unterarme eines 31-jährigen Probanden (nach 20 min Dunkeladaptation) dargestellt.

Die Eigenemission stellt ein nahezu statisches Signal dar, dessen Meßwerte sehr nahe an der Nachweisgrenze des Meßsystems liegen. Innerhalb der Probandengruppe streuen die Meßwerte stark. Zur Verstärkung des Meßsignals kann das Meßgebiet angeregt werden. Dies ist z.B. optisch möglich, indem mit einer Lichtquelle über einen definierten Zeitraum und in einer festgelegter Entfernung Strahlung appliziert wird. Im Ergebnis kann ein Abklingverhalten beobachtet werden. In Abbildung 4 ist ein entsprechendes Diagramm dargestellt.

Messung unterschiedlicher Hautareale Eigenemission des Menschen P06/1

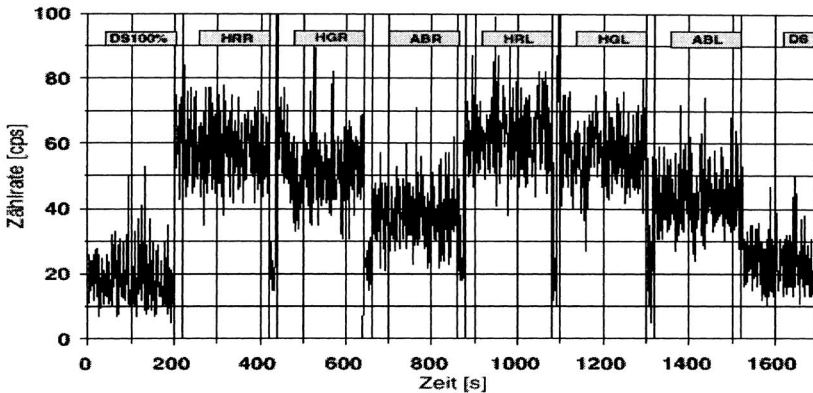


Abb. 3: Messung der Eigenemission an unterschiedlichen Meßorten der Hände und Unterarme eines Probanden

DSZ	Dunkelsignal des Meßsystems bei vollständig geschlossenem Photomultiplier
HRR/ HRL	Signal des rechten/ linken Handrückens
HGR/ HGL	Signal des rechten/ linken Handgelenks innen
ABR/ ABL	Signal des rechten/ linken Unterarms, innen unterhalb der Armbeuge
DS	Dunkelsignal bei offenem Photomultiplier ohne Probe

Für die Reproduzierbarkeit der Messung ist eine Festlegung des Meßareals und der Distanz des Meßortes zum Meßkopf notwendig. Das Abklingverhalten spiegelt das Lichtspeichervermögen am Untersuchungsort wieder. Mit Hilfe mathematischer Analysen der Abklingkurven lassen sich Eigenschaften und Zusammenhänge untersuchen.

Gegenüber Chemolumineszenzerscheinungen in Gasen ist der Photomultiplier sehr empfindlich. In einem Provokationstest mit natürlichem und künstlichen Ozon konnte dies gezeigt werden (Abbildung 5).

7. Grenzen und Probleme

Typische Signale der Eigenemission von Oberflächen liegen nur wenig über der Nachweisgrenze. Die Zählraten stellen Summensignale für den Spektralbereich des Photomultipliers dar und erlauben damit keine eindeutige Beschreibung des Meßsignals. Eine Zählrate kann durch unterschiedliche spektrale Verteilungen gebildet werden. Wesentliche Informationen sind aus der spektralen Analyse der Photonenströme zu erwarten. Untersuchungen mit üblichen Filterverfahren sind nicht anwendbar. Absorption schwächt die ultraschwachen Signale stark und läßt sie unter die Nachweisgrenze des Meßsystems absinken. Mögliche Eigenemissionen der Filtermaterialien führen zu Überlagerungen mit Störsignalen. Für Interferenzverfahren fehlen bisher theoretische Betrachtungen, die klären, inwieweit sich die physikalischen Gesetzmäßigkeiten für elektromagnetische Wellen auf die Strahlung, die aus einzelnen Photonen besteht, übertragen lassen.

Abklingkurve nach 20 s Anregung
Handrücken rechts, P6/1

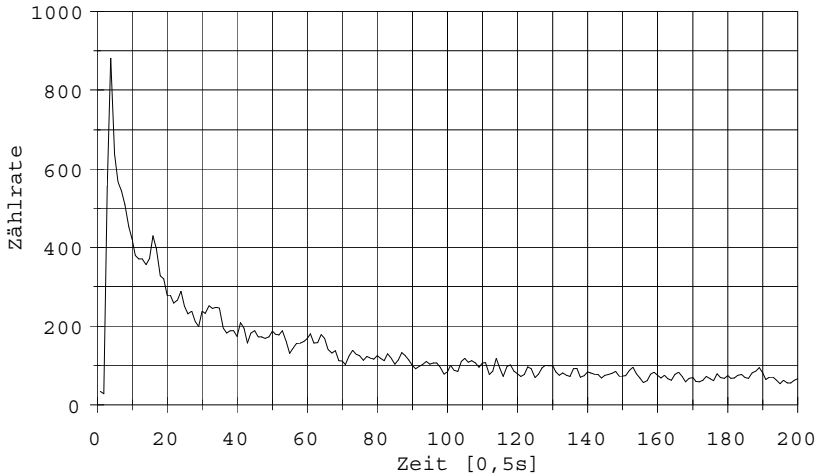


Abb. 4: Abklingverhalten nach definierter Anregung, Signal des rechten Handrückens

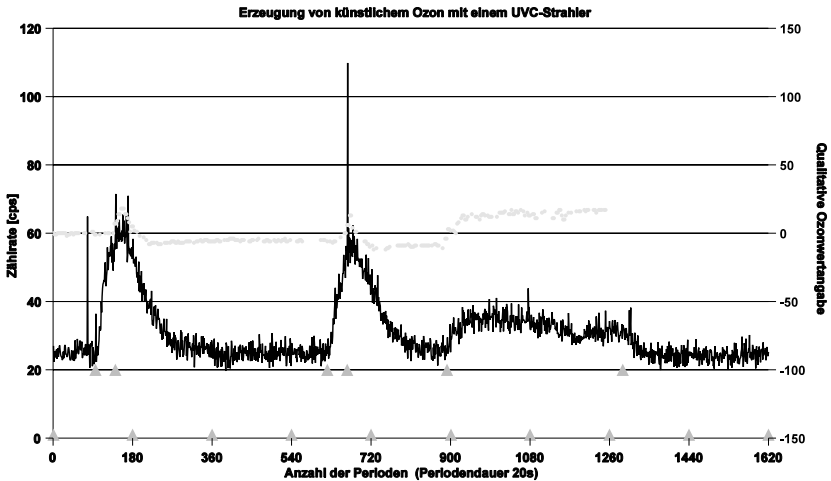


Abb. 5: Einfluß von Ozon auf das Dunkelsignal

Als problematisch erwies sich bei den bisherigen Untersuchungen die mit der Arbeitspunktstabilisierung verbundene notwendige Kühlung ($-30,0\text{ }^{\circ}\text{C}$), die zur Betauung des Gehäusefensters und des Photomultipliers führt und damit die Empfindlichkeit des Meßsystems beeinträchtigt. Eine Minimierung des Eigenrauschens durch konstruktive oder prinzipielle Weiterentwicklungen ließe eine größere Empfindlichkeit des Meßsystems zu.

Ein wesentliches Problem bei der Messung ultraschwacher Photonenströme ist das Fehlen von Strahlungsnormalen, von denen die spezifische Photonenabstrahlung und die spektrale Zusammensetzung der Strahlung bekannt und konstant sind. Eine explizite Kontrolle der Empfindlichkeit des Meßsystems ist auf diese Weise nicht möglich. Sie ist bei der Bewertung und dem Vergleich von Meßergebnissen jedoch wesentlich.

8. Ausblick

Es wird deutlich, daß zukünftig noch eine Reihe von Problemfeldern bei der Messung ultraschwacher Photonenströme bearbeitet werden müssen. Die bisher international durchgeführten Untersuchungen zeigen die hohe Empfindlichkeit solcher Meßsysteme und weisen nach, daß die Untersuchung organischer und anorganischer Materialien möglich ist und für die Zukunft viele neue Verfahren erwarten lassen. Auf die Bedeutung und Chancen der optischen Meßtechnik in den kommenden Jahren wurde deutlich im Konferenzbericht zur Deutschen Agenda „Optische Technologien für das 21. Jahrhundert“ verwiesen. Es ist zu erwarten, daß in den nächsten Jahren im Rahmen von Miniaturisierungen verstärkt auf solche Systemlösungen zurück gegriffen werden wird /8/.

Literatur:

- /1/ Gurwitsch, A. G. und Gurwitsch L. D.: Die mitogenetische Strahlung, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1959
- /2/ Ruth, B.: Experimenteller Nachweis ultraschwacher Photonenemission aus biologischen Systemen; Dissertation – Philipps-Universität Marburg/Lahn, Marburg/Lahn 1977
- /3/ Popp, F. et al.: Recent Advances in Biophoton Research and its Applications, Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., S. V-VI
- /4/ Souren, J.; Van Wijk, R.: Luminometry in Cellular Stress Research, in: Chang, J.; Fisch, J.; Popp, A.-P.: Biophotons, Kluwer Academic Publisher: Dordrecht, Boston, London 1992, S. 65-78
- /5/ Biekse, K.; Fisch, J.: Anwendung von bildaufgelösten Sensoren zur Licht- und Strahlungsmessung; Abschlußbericht der Technischen Universität Ilmenau, Ilmenau 1999, S. 17 ff.
- /6/ Photomultiplier Tubes; Firmenkatalog - HAMAMATSU PHOTONICS K.K., Japan 1998, 19
- /7/ Barden, R.: Der CPM Channel-Photomultiplier – Einneuartiger ultra-sensitiver und rauscharmer Photodetektor, in: Photonik 1/2000, S. 32-35
- /8/ Gall, D. et al.: Measurement of low-level emission under lab conditions, in: Chang, J.; Fisch, J.; Popp, A.-P.: Biophotons, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, Boston, London 1998, S. 159-181
- /9/ Optische Technologien für das 21. Jahrhundert - Deutsche Agenda, Düsseldorf 2000

Ein neues lichttechnisches Konzept zur Inspektion der Farbe und Oberflächenbeschaffenheit fertig lackierter Karosserien in der Automobilindustrie

Achim Willing

1. Einführung

Farbarmusterung unter künstlicher Beleuchtung ist eine in den meisten Automobilfabriken bisher nicht befriedigend gelöste Aufgabenstellung der Qualitätskontrolle an Karosserien.

Zwar lassen sich Farben und Farbunterschiede auch unter einer herkömmlichen Beleuchtung in der Karosseriefertigung erkennen, aber die so gewonnenen Qualitätsbeurteilungen stimmen sehr häufig nicht mit den Beurteilungen in natürlicher Umgebung bei Tageslicht überein, weil Farbabweichungen unter der üblichen künstlichen Beleuchtung in einer Fertigungskontrolle sich gravierend anders darstellen als bei Betrachtung in natürlicher Umgebung.

Durch die komplizierte und unregelmäßige Lichtstruktur der Fertigungsumgebung, die sich auf der Karosserie abbildet, sowie durch vom Tageslicht abweichende Lichtfarben werden Fehler oft kaschiert und nicht entdeckt, so daß eine hohe Fehlbeurteilungsquote entsteht.

Auch die Lichtrichtungen der Beleuchtung und die damit erzwungenen Blickrichtungen wechseln je nach Beobachterstandort und betrachtetem Oberflächenbereich der Karosserie und stellen eine weitere Fehlerquelle dar.

Herkömmliche, derzeit in Produktionsräumen genutzte Beleuchtungsanlagen zur Erkennung von Oberflächenfehlern sind für die Farbarmusterung deshalb nicht geeignet.

Auch die physikalische Farbmeßtechnik löst das Problem nicht befriedigend, weil besonders im Grenzbereich geringer Farbabweichungen und an nicht völlig planen Oberflächen die allein aus den Meßergebnissen abgeleiteten Beurteilungen zu wenig mit den Beobachtungen unter freiem Himmel übereinstimmen. Verstärkt wird die Notwendigkeit einer Farbarmusterung durch die sich aus wirtschaftlichen Gründen immer mehr durchsetzende Modulbauweise in der Karosseriefertigung. Anbauteile wie beispielsweise Stoßfänger, Türen oder Motorhauben werden in unterschiedlichen Fertigungsstätten und gegebenenfalls aus unterschiedlichen Materialien gefertigt und an einer Karosserie zusammengeführt.

Dr.-Ing. Achim Willing
Dr. Ing. Willing GmbH
Schonath-Straße 4
D-96110 Schesslitz-Burgellern

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Farbfehlern hierbei ist wegen der Kompliziertheit des Lackierprozesses groß. So können unterschiedliche Trägermaterialien z.B. Metall oder Kunststoff bei Applikation desselben Lackes den Farbort verändern oder Anbauteile unakzeptable Farbabweichungen von der übrigen Karosserieoberfläche besitzen.

Die sichtbare, visuell empfundene Güte der Oberflächengestaltung eines Automobils ist jedoch ein wichtiger Parameter zur Vermittlung eines hohen Qualitätsstandards an den Endverbraucher, deshalb ist eine Farbarmusterung zur Sicherung dieses Standards unabdingbar.

Die Oberfläche muß fehlerfrei erscheinen, d.h. Fehler bei der Fertigung sowie Toleranzen bei der Fertigung müssen so gering sein, daß sie in natürlicher Umgebung entweder unterhalb der Erkennungsschwelle liegen oder zumindest als nicht störend empfunden werden und somit keine negativen Rückschlüsse auf die Qualität des Fahrzeuges möglich sind.

Aus diesem Grunde müssen strittige Karosserien häufig ins Freie geschafft werden, um eine verbindliche Beurteilung zu ermöglichen.

Aber sogar bei einer Beurteilung in natürlicher Umgebung bei Tageslicht sind die Armusterungsergebnisse nicht hinreichend konstant, weil sich die Lichtverhältnisse abhängig von der Tageszeit und Jahreszeit ständig ändern und auch die Beobachtungsverhältnisse wegen der sich ständig ändernden Lichteinfallrichtungen kaum zu definieren sind.

2. Entwicklungsprogramm

Auf Grund der Problematik der Farbarmusterung wurde ein mehrjähriges Entwicklungs- und Erprobungsprogramm in Kooperation der DaimlerChrysler AG und den Firmen Dr.-Ing. Willing GmbH sowie Forchheim & Willing GmbH durchgeführt.

Die Ergebnisse und praktischen Erfahrungen haben zu dem hier vorgestellten neuen System der visuellen Farbarmusterung geführt, so daß basierend auf den gefundenen Prinzipien bei DaimlerChrysler ein Werkstandard zur visuellen Farbarmusterung definiert werden konnte.

3. Visuelle Farbarmusterung

3.1 Beurteilung von Farbunterschieden

Die wichtigste Anforderung der visuellen Farbarmusterung ist die Beurteilung von Farbunterschieden.

Hier hat sich ein Schema bewährt, bei dem entsprechend der Systematik von Farbsystemen die Farbdifferenzen als Unterschiede der Helligkeit, Buntheit und Farbrichtung beschrieben werden.

Hinzu kommt die Beurteilung des Metallikeffektes, sowie des Flops, die vom Beobachtungswinkel abhängige Veränderung der Farbe, insbesondere der Helligkeit.

Bei der visuellen Farbbeurteilung wird die Farbabweichung zwischen einer Referenz (Farbvorlage, Originalvorlage) und einer Probe (Vorstellmuster, Karosserieteil, Anbauteil oder sonstiges) bestimmt. Die Definitionen der Farbbeurteilung sind der Farbmetriek angepaßt. Hierzu sind folgende Begriffe zu benutzen:

- Beschreibung der Helligkeit
Heller: die Probe ist heller zur Referenz
Dunkler: die Probe ist dunkler zur Referenz
- Beschreibung der Buntheit
Bunter: die Probe ist bunter zur Referenz
Unbunter: die Probe ist unbunter zur Referenz
- Beschreibung der Farbrichtungen
Rot: die Probe ist roter zur Referenz
Grün: die Probe ist grüner zur Referenz
Blau: die Probe ist blauer zur Referenz
Gelb: die Probe ist gelber zur Referenz
- Beschreibung des Metallikeffektes
Gröber: der Metallikeffekt der Probe ist gröber als auf der Referenzoberfläche
Feiner: der Metallikeffekt der Probe ist feiner als auf der Referenzoberfläche
- Beschreibung der Beurteilung
Beurteilt wird die Probe zur Referenz bei einer Beleuchtung unter 45° in der senk-rechten Aufsicht der Oberfläche zur Erkennung der Farbe und in der Schrägsicht zur Erkennung der Wirkung der Flops. Die Aufsicht entspricht etwa dem 45°-Winkel vom Glanz (senkrecht zur Probenoberfläche) in der Farbmetriek, die Schrägsicht etwa dem 75°-Winkel vom Glanz. Zur Erkennung von Asymmetrien im Lackaufbau wird die Lichtrichtung gewechselt.
- Beschreibung der Kennwerte:
Die Farbabweichung wird gemäß DIN 53218 durch Noten von 0 bis 5 definiert. Die maximal zulässige Abweichung beträgt Note 3 bis 4 zur Referenz.

Note 0: kein Farbunterschied
Note 1: Spur eines Farbunterschiedes
Note 2: kleiner Farbunterschied
Note 3: mittlerer Farbunterschied
Note 4: großer Farbunterschied
Note 5: sehr großer Farbunterschied

Die Bewertung der Farbe durch Vergleich mit Referenzmustern hat sich in der Praxis der visuellen Farbabmusterung gut bewährt. Nach einiger Übung sind

selbst skalierte Aussagen unterschiedlicher Beobachter reproduzierbar und nur wenig – maximal um eine halbe bis eine Note (s.o.) – unterschiedlich.

3.2 Strahlengang

Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, müssen in der visuellen Farbabmusterung sowohl die Beleuchtungs- als auch die Beobachtungsbedingungen genau und wiederholbar für alle abzumusternden Partien der Karosserie sowie auch der Anbauteile und Lacktafeln in gleicher Weise definiert werden.

Eine Schlüsselstellung hierzu nimmt die Zuordnung der Richtungen von Beleuchtung und Beobachtung ein (siehe Bild 1 – Beobachtungsgeometrien zur Farbabmusterung).

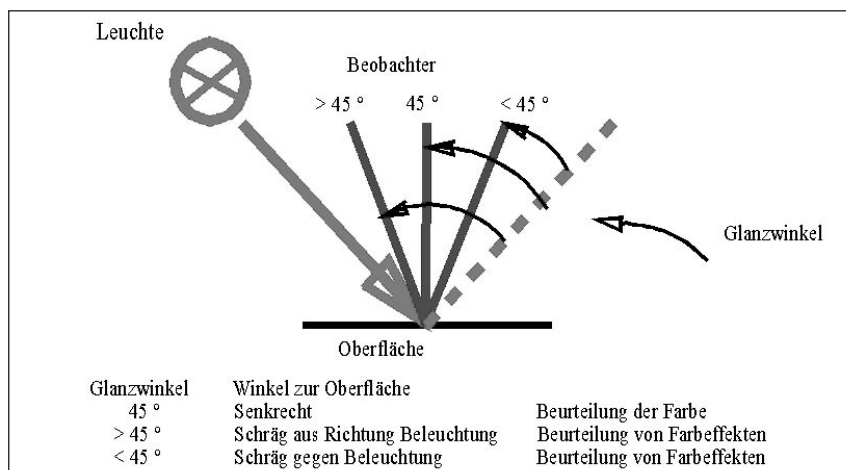


Bild 1: Beobachtungsgeometrien zur Farbmusterung

Zur Unterscheidung der verschiedenen Strahlengänge ist deren winkelmäßiger Abstand vom Glanzwinkel geeignet, dieser Abstand wird in DIN 6175-2 als Effektwinkel bezeichnet.

Der Effektwinkel ist der Winkel zwischen der gespiegelten Lichteinfallrichtung und der Beobachtungsrichtung.

3.3 Oberflächenreflexe

Eine reproduzierbare Farberkennung und Farbabmusterung einer Fläche ist nur möglich, wenn diese frei von störenden Reflexen und Fremdlicht ist. Störende Reflexe können durch eine Abbildung heller Flächen der Umgebung entstehen, diese können insbesondere an dunklen Oberflächen eine Farberkennung vollständig unmöglich machen.

Fremdlicht stört durch die nicht definierten Einfallrichtungen und eine nicht kontrollierte spektrale Verteilung.

3.4 Spektrale Verteilung des Lichtes

Die spektrale Verteilung des Lichtes zur Farbabmusterung muß dem Tageslicht bei 6500 K entsprechen und einen möglichst kleinen Metamerie-Index ($< 0,6$) besitzen.

3.5 Vergleich der visuellen Farbabmusterung in Beleuchtungsanlagen mit künstlichem Licht zu Abmusterungen unter freiem Himmel

Wichtigste Anforderung der visuellen Farbabmusterung ist die Übereinstimmung der in der Beleuchtungsanlage und in natürlicher Umgebung bei Tageslicht gefundenen Beurteilungsergebnisse.

Als Referenz sind Beobachtungen ohne direkte Sonneneinstrahlung heranzuziehen, weil unter diesen Beobachtungsbedingungen Farbfehler am deutlichsten erkennbar sind. Hierbei sollen sowohl Farbe als auch Farbeffekte, z.B. an Effektlacken erkennbar werden. Mindestanforderung ist, daß die Rangfolge einer Farbabweichung, also heller/dunkler, farbiger sowie in welche Richtung sich die Farbveränderung bei der Abmusterung im Freien und in der Anlage auswirkt, erhalten bleibt. Möglichst sollten die Farbfehler in der Abmusterungsanlage deutlicher erkennbar sein als im Freien. Mindestens müssen Fehler, die zu einer Bemängelung führen können und die im Freien erkennbar sind und dort zu einer Reklamation führen würden, auch in der Anlage erkannt werden.

4. Visuelle Abmusterung von farbusabhängigen Oberflächeneigenschaften

Man unterscheidet zwischen topografischen und nicht-topografischen Oberflächenfehlern.

Nicht-topografische Oberflächenfehler sind solche, die keine erkennbare Verformung der Oberfläche bewirken, z.B. Farbfehlstellen, Polierfehler, Wolkigkeit usw.

Derartige Fehler werden erkennbar unter ähnlichen Beleuchtungsbedingungen wie in der Farbabmusterung. Insbesondere müssen Reflexe durch überlagerte Abbildungen der Leuchten der Beleuchtungsanlage vermieden werden.

Topografische Fehler sind durch die durch sie bewirkte Verformung der glänzenden Oberfläche erkennbar, z.B. Beulen, Dellen, Pickel usw.

Zur Erkennung topografischer Fehler werden ganz im Gegensatz zur Farbabmusterung Abbildungen von definierten Hell-Dunkel-Kanten benötigt, deren Verzerrung ein Maß für die auftretenden Fehler ist.

Die Hell-Dunkel-Kanten können durch die Leuchtenstruktur der Beleuchtungsanlage zur Verfügung gestellt werden, jedoch muß die Abbildung dieser Strukturen bei der Farbabmusterung unterbunden werden.

Die Bewertung der sog. Orangenhaut und des Glanzes beruht ebenfalls auf der Bewertung der Abbildung von Leuchtdichtestrukturen.

Bild 2 stellt die Beobachtungsgeometrie zur Erkennung topografischer Oberflächenfehler dar.

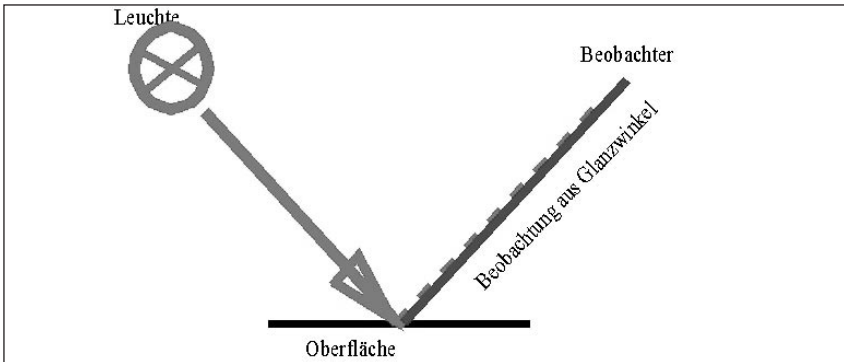


Bild 2: Beobachtungsgeometrie zur Erkennung topografischer Fehler

5. Zusammenfassung der Voraussetzungen und Anforderungen an Beleuchtungsanlagen zur visuellen Abmusterung

Zur visuellen Farbmusterung muß das Beleuchtungskonzept der Anlage geometrisch so gestaltet sein, daß die Beurteilungsergebnisse im Einklang sind mit Beurteilungen in natürlicher Umgebung.

Wenn zusätzlich topografische Oberflächenfehler erkannt werden sollen, eine Helligkeitsstruktur abgebildet werden muß, so ist dafür zu sorgen, daß beide Abmusterungsarten sich nicht gegenseitig stören.

Die Wiederholbarkeit der Farbmusterung durch unterschiedliche Personen an unterschiedlichen Orten muß – bei entsprechender Schulung – zu gleichen oder zumindest nur gering unterschiedlichen Beurteilungen führen.

Hierfür sind folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

- Das beobachtete Feld, in der die Farbe abgemustert wird, muß frei von störenden Reflexen sein.
- Die Lichtrichtungen an jeder zu beurteilenden Stelle müssen einander ähnlich sein.
- Die Lichtfarbe (spektrale Verteilung) muß repräsentativ für die entsprechenden Verhältnisse im Freien sein.
- Die Lichtrichtung muß so verändert werden können, dass Unsymmetrien im Lackaufbau erkennbar werden.
- Die Umgebung muss eine Helligkeitsstruktur besitzen, die einerseits eine Farbmusterung nicht verfälscht, andererseits die Erkennung topografischer Oberflächenfehler ermöglicht.
- Fremdlicht muß ausgeschlossen werden.

Lacktafeln, Anbauteile und ganze Karosserien oder Automobile als unterschiedliche Stufen der Herstellung erfordern unterschiedlich dimensionierte Beleuchtungsanlagen. Um eine ununterbrochene Beurteilungs- und Qualitätskette von der Lackherstellung bis zur Schlußabnahme der fertigen Karosserie sicherzustellen, sind in allen Anlagen die gleichen Beleuchtungsprinzipien und gleichartige Methoden sowie Beurteilungskriterien der Farbmusterung anzuwenden.

6. Das neue lichttechnisches Konzept zur Farbabmusterung

6.1 Allgemein

Auf Grund der beschriebenen Problematik der Farbabmusterung wurde ein Prinzip der Farbabmusterung erprobt, bei dem alle Bereiche der Karosserie – bezogen auf die Ausrichtung der Oberfläche – aus ähnlichen Lichtrichtungen beleuchtet werden.

Störende Reflexe durch die Abbildung der Beleuchtungsstruktur auf der Karosserieoberfläche, wie sie bei herkömmlicher Beleuchtung auftreten, werden auf Grund der optischen Eigenschaften der neuen Farbabmusterungsleuchte in den zur Farbabmusterung benötigten Blickrichtungen verhindert. In nicht zur Farbabmusterung benötigten Blickrichtungen werden topografische Oberflächenfehler erkennbar.

Außerordentlich vorteilhaft ist, daß die Abmusterung unterschiedlicher Fehlerarten in der gleichen Anlage ohne Änderung der Beleuchtung, lediglich durch Einhaltung einer bestimmten Blickrichtung der abmusternden Person möglich ist. Das Verhalten zur Abmusterung ist sehr einfach zu erlernen und zu reproduzieren und somit können sowohl die Farbe, die Farbeffekte, als auch topografische und nicht-topografische Fehler abgemustert werden, ohne daß die Erkennbarkeit der einen Fehlerart Einfluß auf die Erkennung der anderen Fehlerarten nimmt.

6.2 Die Farbabmusterungsleuchte

Basiskomponente der Beleuchtungsanlage, durch welche die grundlegenden Voraussetzungen für die visuelle Abmusterung geschaffen werden, ist die Farb-abmusterungsleuchte.

Ein Querschnitt durch die Farbabmusterungsleuchte ist in Bild 3 dargestellt.

Als Lichtquellen werden röhrenförmige Niederdruck-Leuchtstofflampen verwendet, deren spektrale Verteilung an jeder einzelnen Lampe zertifiziert wird.

Die Lichtverteilung ist in Ebenen quer zur Lampenachse stark gebündelt – siehe Bild 4 – und besitzt nach einer Seite einen ausgeprägten Cut-off, während nach der anderen Seite in einem weiten Winkelbereich die Lampe sichtbar bleibt.

Aufgrund einer speziellen Blenden/Reflektorgestaltung erscheint die Leuchte aus Blickrichtungen außerhalb des Cut-off Winkels dunkel, so daß die Farbabmusterung nicht durch störende Reflexe gestört werden kann.

6.3 Das Beleuchtungsprinzip

Mit Hilfe dieser Farbabmusterungsleuchte können nun beliebig große Flächen aus immer der gleichen Beleuchtungsrichtung ausgeleuchtet werden, ohne daß jeweils störende Reflexe auftreten.

Das Beleuchtungsprinzip kann deshalb beispielsweise zur Abmusterung der Seitenflächen einer Automobilkarosserie genutzt werden.

Durch die Hauptbeleuchtungsrichtung von 45° auf die Seitenflächen einer Karosserie können ohne Veränderung der Beleuchtungsverhältnisse auch die

im wesentlichen senkrecht zu den Seitenflächen stehenden Front- und Heckpartien einer Karosserie beleuchtet und abgemustert werden.

Eine außerordentlich gute Übereinstimmung der Beurteilungen an den Seitenwänden, Front- und Heckpartien mit Abmusterungen in natürlicher Umgebung wird durch die senkrechte Anordnung der Leuchtenachsen bewirkt.

Allgemein bedeutet dies, dass die Farbalmusterungsleuchten mit ihren Achsen parallel zur abzumusternden Oberfläche anzuordnen sind und die Blickrichtungen in Ebenen senkrecht zur Leuchtenachse zu legen sind.

Dementsprechend sinngemäß können über Kopf angeordnete Leuchten zur Abmusterung der übrigen Flächen einer Karosserie genutzt werden.

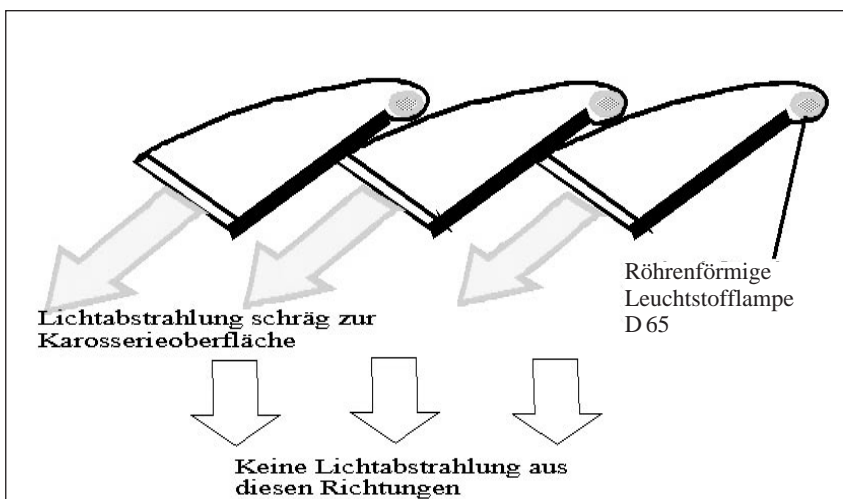


Bild 3: Schnitt durch Farbalmusterungsleuchte

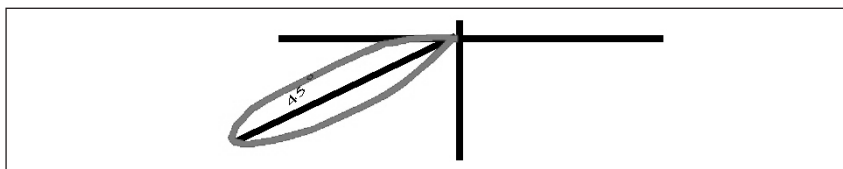


Bild 4: Lichtstärkeindikatrix mit Hauptausstrahlrichtung 45°

Wie oben beschrieben, sind die Leuchten so aufgebaut, daß in Blickrichtungen entgegen der Farbbeobachtung die Lampen und leuchtenden Reflektorteile der Farbmusterungsleuchten als Hell-Dunkel-Struktur erkennbar werden, so dass für diese Blickrichtungen eine Erkennung topografischer Fehler ermöglicht wird. Die prinzipielle Beleuchtungsanordnung ist in einem horizontalen Schnitt in Bild 5 dargestellt.

7. Beispielhafte Layouts von Lichtstudios zur Beleuchtung von Karosserien und Anbauteilen

Die Bilder 6 bis 9 zeigen beispielhaft die unterschiedlichen Layouts von Beleuchtungsanlagen für einzelne Anwendungsfälle:

8. Studio-Kabine

Zur häufigen und reproduzierbaren Abmusterung von Lacktafeln wurde eine begehbare Studio-Kabine entwickelt. Ein horizontaler Schnitt durch solch eine Kabine ist in Bild 9 dargestellt.

Unter Beibehaltung der Beleuchtungsrichtung wird die Beobachtungsrichtung, die sich ausgehend von einem fixen Beobachterstandort ergibt, durch eine horizontale Verschiebung der Proben gemeinsam mit den Referenztafeln verändert, so dass unterschiedliche Effektwinkel eingestellt bzw. durchfahren werden können.

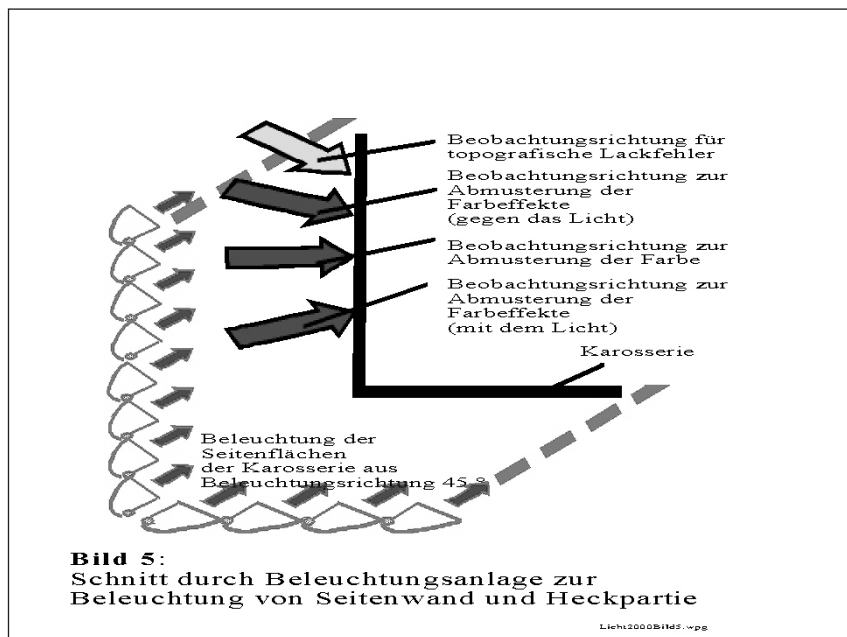


Bild 5: Schnitt durch Beleuchtungsanlage zur Beleuchtung von Seitenwand und Heckpartie



Bild 6: Lichtstudio für Mercedes A-Klasse

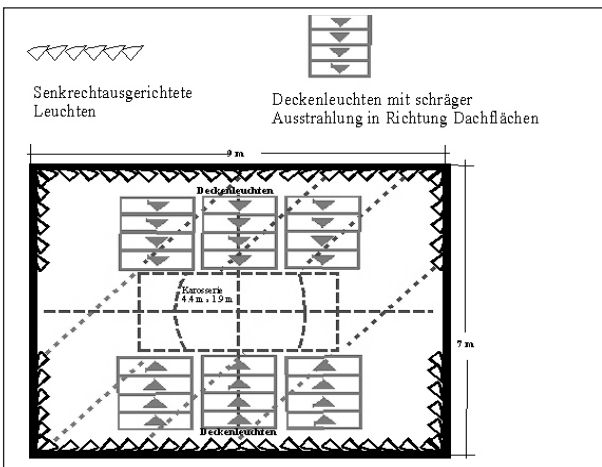


Bild 7: Beleuchtungsanlage zur Abmusterung einer Karosserie

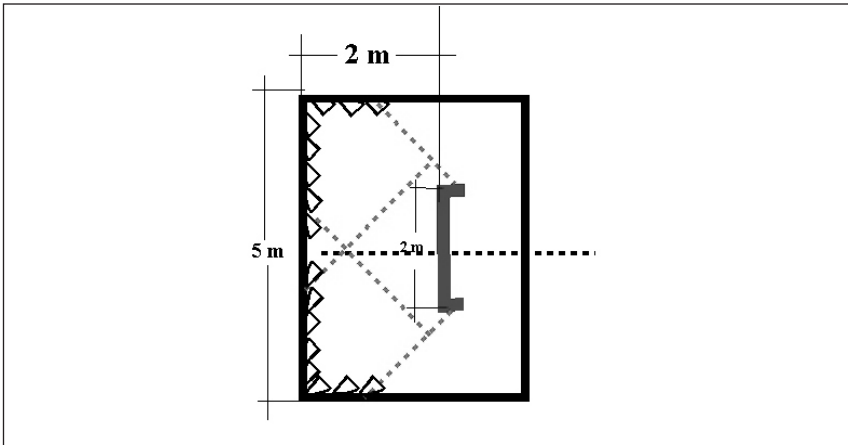


Bild 8: Beleuchtungsanlage zur Abmusterung von Anbauteilen

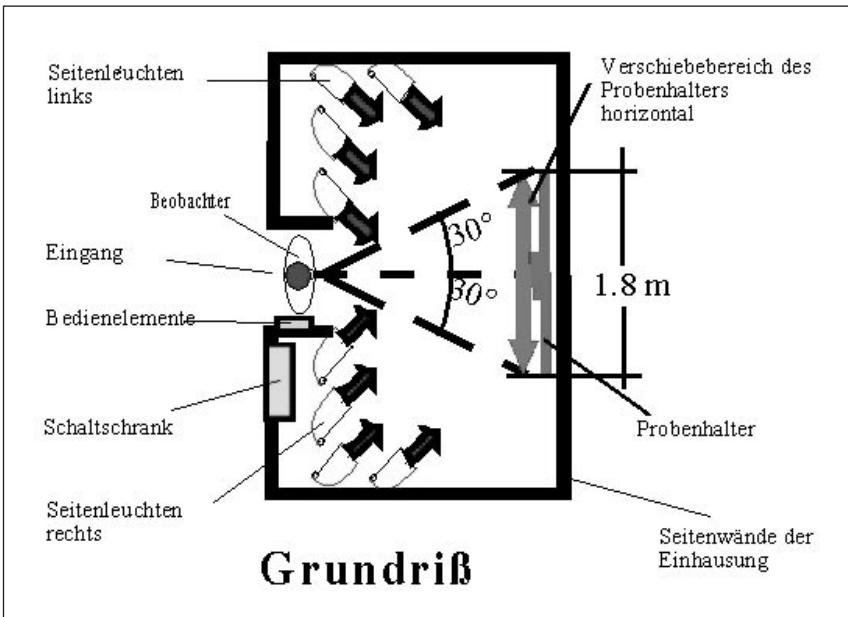


Bild 9: Begehbare Studio-Kabine

Aluminium-Reflektorband mit hoher, spektral gleichmäßiger Reflexion im UV

Harald Küster

Mit fortschreitender Entwicklung der angewandten Plasmatechnik stehen immer leistungsfähigere, effizientere und kompaktere UV-Lichtquellen zur Verfügung. Während früher überwiegend Entladungen in Quecksilber (Hg) und / oder Xenon (Xe) für intensive UV-Erzeugung genutzt wurden, ist die Varianz inzwischen deutlich gestiegen. Der Bedarf u. a. in der Halbleiterindustrie (Belichtung) oder die Ansprüche der Polymerchemie (Härtung) haben die Entwicklungen beflügelt. Während im sichtbaren Spektralbereich Planck'sche Strahlungsquellen mit ihrem Kontinuum weite Verbreitung durch die Halogentechnologie finden, sucht man eine ähnlich einfache kontinuierliche Quelle im UV vergeblich. Die handelsüblichen UV-Quellen weisen alle eine mehr oder weniger ausgeprägte linienförmige spektrale Emissionscharakteristik auf. Speziell die neuen Excimer-Quellen liefern ein Linienspektrum. Weil die Quellen räumlich ausgedehnt sind und in alle Raumrichtungen emittieren, besteht Bedarf an verlustarm reflektierenden Materialien, damit die Strahlung auf den zu bestrahlenden Bereich gelenkt werden kann.

Bekannt sind UV-Spiegel auf Glassubstraten, die ihre Reflexionsbeschichtung durch PVD-Batchprozesse erhalten. Weil für etliche Anwendungen der von der Entladung erzeugte infrarote Anteil stark störend wirkt, werden diese Beschichtungen überwiegend als reine dielektrische Systeme ausgelegt. Damit ist zwar die spektrale Breite des UV-Reflexionsbandes eingeengt ($R > 96\%$ über 80 nm), aber der IR-Anteil wird nicht reflektiert. Aufgrund der speziellen Auslegung von Substrat und Beschichtung passend zur Lichtquelle handelt es sich hierbei immer um eine aufwendige Speziallösung.

Alternativ setzen Anwender, die mit verschiedenen Quellen für unterschiedliche Zielsetzungen UV-Reflektoren bauen, gern auch Aluminiumband als Reflektor ein. Dabei handelt es sich um ein Standardprodukt, welches kostengünstig im kontinuierlichen Eloxalprozeß hergestellt wird. Im Unterschied zu den Spiegeln auf Glas ist die Reflexion nicht ganz so hoch, reicht spektral aber vom UV bis NIR (siehe Abbildung 1). Auch bei der Ebenheit der Oberfläche können nicht die für Glas typischen Werte erreicht werden, sondern man muß mit mindestens ca. 3% diffusem Reflexionsanteil rechnen. Dafür ist das Material formbar und leicht. Für viele Anwendungen ist der Verlauf der spektralen Reflexion kritisch. Durch Interferenz an den beiden Grenzflächen der Eloxalschicht (zum metallischem Aluminium des Bandes; zu Luft) ergibt sich die oszillierende Form der spektralen Reflexion.

Dr. Harald Küster
Alanod Aluminium Veredlung GmbH & Co. KG
Egerstr. 12
D-58256 Ennepetal

Der Hub zwischen Minima und Maxima beträgt im spektralen Bereich von 300nm bis 320nm etwa 13 Prozentpunkte (Abb. 1). Nun ist das Problem der Anwendung dieses Materials weniger die spektrale Abhängigkeit der Reflexion, weil die UV-

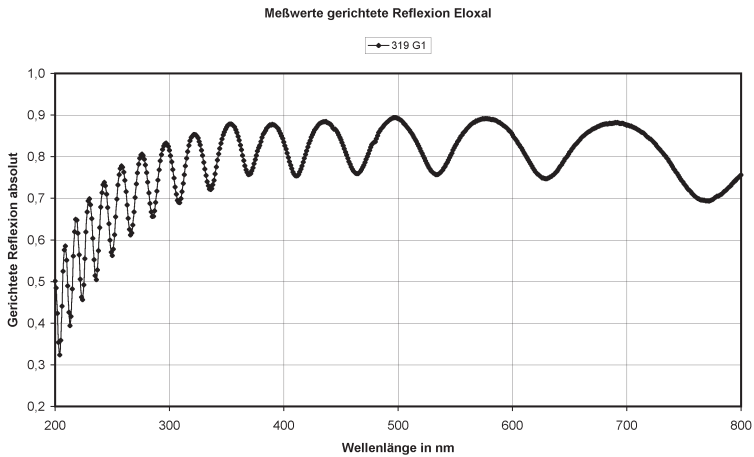


Abbildung 1

Quellen eher Linienstrahler sind. Wohl aber stellt die Vielzahl der Einfallswinkel, unter denen der Reflektor ein gleichmäßig gutes Reflexionsverhalten zeigen sollte ein Problem dar (siehe Abb. 2). Berechnet wurde die Abhängigkeit der Reflexion bei 308 nm (Excimer-Lampe) für ein typisches Standard-UV-Reflektormaterial (319 G1 der Fa. Alanod) in Hochglanz-Qualität. In Anwendungen, die ein homogen erhelltes Feld benötigen, ist eine Änderung des Reflexionsfaktors um ca. 10 Prozentpunkte mit dem Einfallswinkel nicht tragbar.

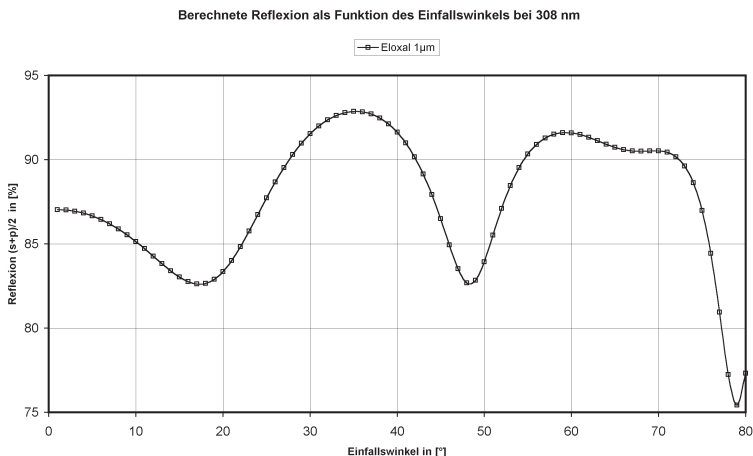


Abbildung 2

Als Lösungsansatz bietet sich auch hier die PVD-Vakuum-Beschichtungstechnik im kontinuierlichen Banddurchlauf an. Im Unterschied zum Schichtsystem für den sichtbaren Spektralbereich muß man jedoch auf eine Schicht aus TiO_2 wegen deren Absorption im UV verzichten. Als Ersatz stehen eine Reihe von Oxiden zur Verfügung, deren UV-Eignung aus anderen Anwendungen belegt ist. Zu diesen gehören: HfO_2 , ZrO_2 , MgO , La_2O_3 und Al_2O_3 oder deren Gemische. Natürlich möchte man eine möglichst hohe Brechzahl mit der äußersten Schicht realisieren und niedrige Absorption möglichst bis herab zu 200nm darstellen. Allerdings darf auch die Verfügbarkeit und Kostenseite nicht unbeachtet bleiben.

Unter diesen Gesichtspunkten haben wir ein Al_2O_3 -Gemisch gewählt. Bei geschickter Wahl der PVD-Prozeßparameter sollte eine Brechzahl von 1,63 (bei 500nm) und eine kurzwellige Grenze des Anwendungsbereiches von ca. 220nm entstehen. Der Schichtaufbau gestaltet sich wie folgt:

- Träger / Substrat Hochglanz – Aluminiumband, Eloxalschichtdicke ca. 1,5µm
 Schichtsystem:
1. Aluminium, optisch dicht, ca. 70nm bis 80nm Dicke als gleichmäßig spektral breitbandig reflektierende Basis;
 2. SiO_2 , als niedrigbrechende Interferenzschicht, optische Dicke etwa $\lambda / 4$ für 350nm;
 3. Al_2O_3 -Gemisch, als hochbrechende Interferenzschicht, optische Dicke etwa $\lambda / 4$ für 350nm.

Natürlich kann das UV-Schichtsystem auch auf einem Band mit rauer Oberfläche für diffuse Reflexionscharakteristik abgeschieden werden. Das Ergebnis der Messung der gerichteten Reflexion im Vergleich zu Bandeloxal zeigt Abbildung 3. Zwar werden von UV-MIRO nicht ganz die Maximalwerte von Eloxal erreicht,

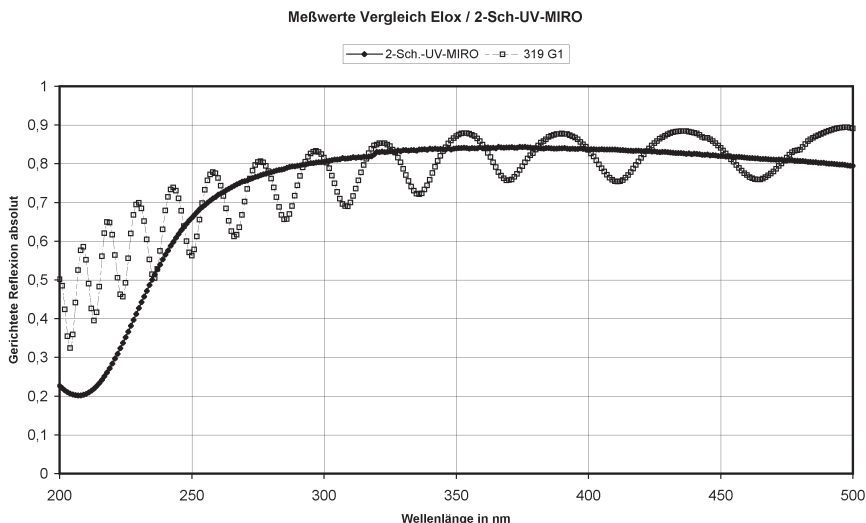


Abbildung 3

aber im Bereich von 270nm bis etwa 400nm (also UV-B und UV-A-Bereiche) wird eine gleichmäßige Charakteristik erzielt, deren Niveau über dem Mittelwert von Eloxal liegt. Damit stellt sich auch die für Linien – strahleranwendungen kritische Winkelabhängigkeit der Reflexion besser dar. Die dazu rechnerisch ermittelten Werte sind im Vergleich in Abbildung 4 dargestellt. Man erkennt deutlich den Vorteil anhand des Niveaus und der Gleichmäßigkeit. Mit diesem Material ist eine homogene Ausleuchtung wesentlich einfacher realisierbar.

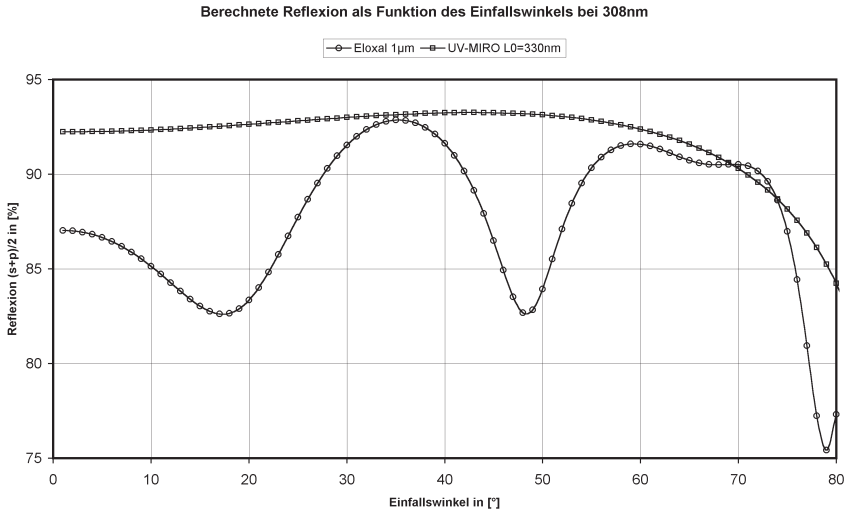


Abbildung 4

Durch Anwendung der kontinuierlichen PVD-Beschichtungstechnik von Aluminiumband ist es gelungen, ein UV-Reflektormaterial herzustellen, welches sich durch einen breiten spektralen Reflexionsbereich von ca. 270nm bis 400nm bei ca. 85% gerichteter Reflexion auszeichnet. Die annähernd konstante Reflexion bei Variation des Einfallswinkels lässt das UV-MIRO besonders geeignet erscheinen für Linienstrahler. Erste Rückmeldungen von Excimer – Lampen – Anwendung beim IOM e.V. / Leipzig bestätigen dies. Durch weitere Optimierung der Prozessparameter und Auswahl anderer Oberflächen sollte es möglich sein, den Anteil der gerichteten Reflexion bis 90% zu steigern. Darüber wird an anderer Stelle zu berichten sein.

Nahfeldfotometrie – Neue Wege zur Spezifikation lichttechnischer Objekte

Franz Schmidt, Ingo Fischbach

Zusammenfassung

Nahfeldgoniometer sind Goniometer auf der Basis einer bildauflösenden Leuchtdichtemesskamera und dienen der Vermessung von Leuchten und Lampen.

Anders als mit allen anderen Typen von Goniometern zur Erfassung von Leuchten-/Lampendaten basiert ein Nahfeldgoniometer auf der Erfassung von 4D- Leuchtdichteverteilungen der Messobjekte. Damit löst sich das Nahfeldgoniometer von der starren Annahme über Leuchten/Lampen als Punktlichtquelle. Es stellt Messdaten zur Verfügung, die vor allem im Nahfeld von Leuchten/ Lampen für die exakte Bewertung von lichttechnischen Baugruppen und für die Beleuchtungsplanung notwendig sind.

Solche Messdaten sind mit konventioneller punktförmig messender Messtechnik nicht erfassbar.

1. Goniometer zur Vermessung lichttechnischer Objekte

Die Messung von lichttechnischen Objekten ist für verschiedene Aufgabenstellungen notwendig:

- Im Rahmen der Entwicklung ist der Einfluss von Modifikationen zu beschreiben. Ziel ist hier die Optimierung der lichttechnischen Parameter.
- Leuchten und Lampen sind selbst nur Komponenten von einer kompletten Beleuchtungsanlage oder von Geräten. Zur Berechnung solcher Geräte oder Anlagen sind Daten notwendig, die die Leuchten/Lampen möglichst umfassend beschreiben.
- Für das Marketing der Produkte sind entsprechend beschreibende Daten der Leuchten/Lampen zur Verfügung zu stellen.

1.1 Lichttechnische Messdaten

Zur Beschreibung von lichttechnischen Objekten sind neben Simulationsdaten verschiedene Typen von Messdaten notwendig:

1. Ausstrahlcharakteristika von punktförmigen Leuchten/Lampen (LVK's, spektrale Charakterisierung)
2. Beschreibung der leuchtenden Flächen von Leuchten/Lampen (Leuchtdichteverteilungen)

PD Dr.-Ing. habil. Franz Schmidt
TU Ilmenau, Fak. Elektrotechnik und Informationstechnik
Postfach 10 05 65, D-98684 Ilmenau

Dipl.-Ing. Ingo Fischbach
TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH
Ehrenbergstrasse 11, D-98693 Ilmenau

3. Ausstrahlcharakteristika von geometrisch ausgedehnten Leuchten/Lampen (4D-Leuchtdichteverteilung)
4. Energetische Beschreibung der Leuchten/Lampen (Wirkungsgrad, Leistungsaufnahme, Temperaturverhalten)

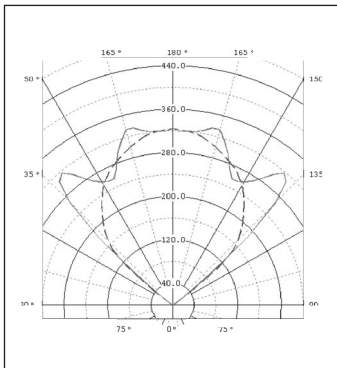


Abb. 1: LVK

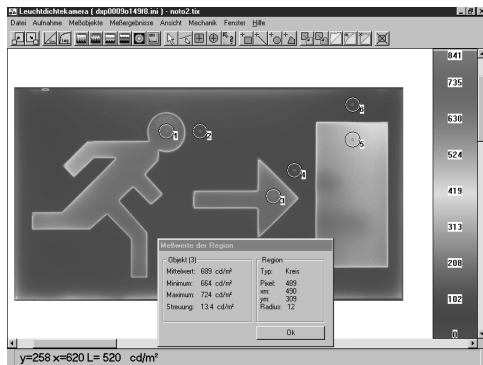


Abb. 2: L-Verteilung

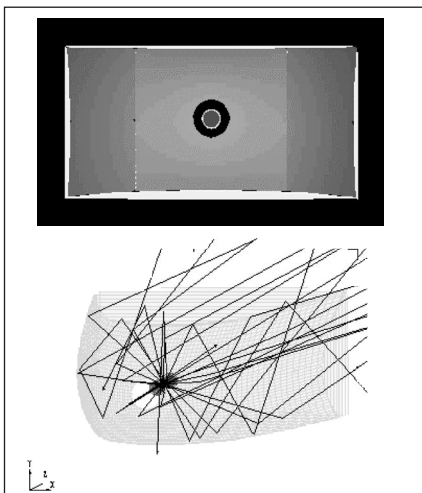


Abb. 3: Strahlenmodell



Abb. 4: Wirkungsgrad

1.2 Nahfeldgoniometer – Einordnung in die Lichtmesstechnik

Die lichttechnischen Messdaten von Leuchten/Lampen werden von verschiedenen Typen von Messapparaten gemessen. Dabei wird die Lichtausstrahlung von Leuchten durch Bewertung aus unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen erfasst.

Die verschiedenen Messapparaturen unterscheiden sich in folgenden Punkten:

- Entweder wird das Messobjekt bewegt, um bezüglich dem fotometrischen Empfänger eine definierte Ausstrahlrichtung einzustellen oder der fotometrische Empfänger wird bewegt, wobei eine definierte Beobachtungsrichtung eingestellt wird.
- Es wird nur der fotometrischer Empfänger bewegt, der sich in entsprechend großer Messentfernung (außerhalb der fotometrischen Grenzentfernung) befindet, bzw. es werden orts- oder richtungsauflösende Empfänger in kurzer Messentfernung genutzt.

Folgende gebräuchliche Typen von Messapparaturen zur Erfassung von lichttechnischen Parametern lassen sich unterscheiden:

- A. Drehspiegelgoniofotometer
- B. Goniofotometer auf der Basis von Leuchtdichtemesskameras
- C. Goniofotometer mit langem Messarm
- D. Leuchtenwender

Nur der Typ B., Goniofotometer auf der Basis von Leuchtdichtemesskameras, ist in der Lage Messdaten für die Ausstrahlcharakteristika geometrisch ausgedehnter Messobjekte für Berechnungen im Nahfeld (Datentyp 3) und für die Bewertung von Leuchtdichteverteilungen an Objekten (Datentyp 2) zur Verfügung zu stellen.

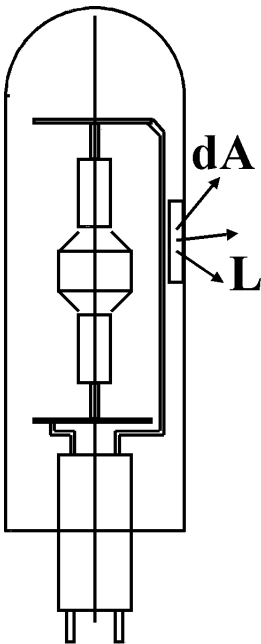


Abb. 5: Beispiel einer zu vermessenden Lampe/Leuchte

Die gewonnenen Messdaten für die LVK's (Datentyp 1.) werden meist in standardisierten Datenformaten zur Verfügung gestellt. Neben dem in Europa weit verbreiteten Datenformat EULUMDAT wird im US-Markt das Format EIS bevorzugt unterstützt. Für die Daten nach Typ 2 und Typ 3 (siehe Abschnitt „1.1 Lichttechnische Messdaten“) existieren Modelle auf der Basis von Strahlen. Datenstrukturen für Strahlenmodelle wurden erstmals in Simulationsprogrammen auf der Basis von theoretischen Modellen realisiert und stehen heute von verschiedenen Softwareanbietern zur Verfügung (s.u.). Ein Standard dafür existiert jedoch nicht.

2. Strahlenmodell – Basisdaten eines Nahfeldgoniofotometers

Für Leuchtensimulationen (z.B. Berechnung von Reflektoren in Scheinwerfern), für Beleuchtungsplanungen oder für Raytracing-Verfahren (Computersimulation von Wohnräumen o.ä.) sind die Daten der strahlenden/leuchtenden Objekte erforderlich. Die vollständige Beschreibung der Ausstrahlungsverhältnisse eines Körpers erfordert die Angabe der Leuchtdichteverteilung $L_{x,y,z,\lambda}(\Theta\phi)$ an allen Oberflächenpunkten $(x,y,z) \in$ Oberfläche des Körpers. (In den folgenden Betrachtungen soll die

spektrale Verteilung in Abhängigkeit von der Oberfläche außer Acht gelassen werden). Da sich eine Oberfläche durch zwei Parameter beschreiben lässt $z = f(x,y)$ ergibt sich ein 4-dimensionales Datenfeld $L_\lambda(\theta, \phi, x,y)$. Diese Daten können aus der Vermessung der Objekte oder aus Rechnersimulationen (aufgrund unterschiedlich mächtiger Modelle, die die Objekte mehr oder weniger genau beschreiben) gewonnen werden.

Dafür und zum Umgang mit solchen beschreibenden Datensätzen sind eine Reihe von Programmen entwickelt worden.

Beispiele für existierende Simulationsprogramme sind:

Firma		Produkt
Optis	http://www.optis.fr	Speos
BRO (Breault Research Organisation)	http://www.bro-optics.com	ASAP
Focus Software		ZEMAX / ZELUM
Lambda Research		TracePro
O++		ApiLux
Opticad Corporation		OptiCAD
Optical Research Associates		LightTools
Sinclair Optics		OSLO

3. Anwendung der Messdaten

Auf der Basis der mit einem Nahfeldgoniometer ermittelten Messdaten (z.B. 4D-Leuchtdichteverteilung oder Strahlendateien) lassen sich eine Vielzahl von lichttechnischen Parametern von Leuchten/Lampen ableiten. Wie oben schon erwähnt, eröffnet die Vermessung der 4D-Leuchtdichteverteilung von Messobjekten neue Wege, lichttechnische Objekte zu beschreiben, in Simulationsprogramme einzubinden und Daten für Dokumentation und Planung abzuleiten:

1. Standard-LVK für die konventionelle Lichtplanung,
2. Nahfeld-LVK Daten für Nahfeldanwendungen,
3. Leuchtdichteverteilung von leuchtenden Objekten/Flächen,
4. Datensätze für die rechnergestützte Simulation komplexer lichttechnischer Baugruppen.

3.1 Beleuchtungsplanung

3.1.1 Fernfeldberechnungen auf der Basis von Fernfeld-LVK's

Ein Nahfeldgoniometer stellt konventionelle Lichtstärkeverteilungskörper (LVK) von Leuchten/Lampen zur Verfügung.

Standardprogramme zur Beleuchtungsplanung nutzen heute meist die Lichtstärkeverteilungskörper (LVK's) von Leuchten als Ausgangsdaten. Die Bewertung mit einer LVK betrachtet die Leuchten/Lampen jedoch nur als punktförmige Messobjekte. Für viele Anwendungsfälle ist dies auch ausreichend, weil dort die Leuchte/Lampe auch in großen Montagehöhen eingesetzt wird und deshalb als Punktlichtquelle angesehen werden kann.

3.1.2 Nahfeldberechnungen auf der Basis von Fernfeld-LVK's

Spezielle Aufgaben, vor allem Beleuchtungsplanungen im Nahfeld von Leuchten/Lampen können jedoch nur mit unzureichender Genauigkeit auf der Basis der Daten einer punktförmigen Lichtquelle (Fernfeld-LVK) durchgeführt werden.

Teilweise wenden Planungsprogramme hier verteilte LVK's an. Dabei wird die Fernfeld-LVK der gesamten Leuchte auf eine Vielzahl von Teil-LVK's aufgeteilt, die angebunden an geometrisch aufgeteilte Bereiche der Leuchte die gleiche Ausstrahlcharakteristik beschreiben. Berechnungsfehler liegen dabei trotzdem oft über 10%, weil eben nicht überall die gleiche Verteilung vorliegt.

Aufbauend auf den Daten eines Nahfeldgoniophotometers können solche Teil-LVK's generiert werden.

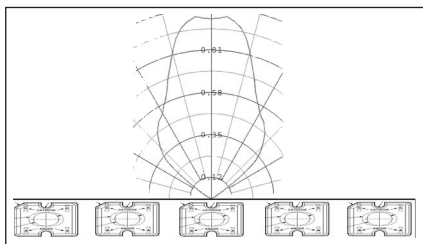


Abb. 6: Beschreibung mit einer einzigen Fernfeld-LVK

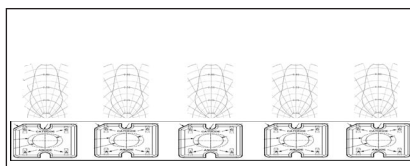


Abb. 7: Beschreibung mit verteilten LVK's

3.1.3 Nahfeldberechnungen auf der Basis von Beleuchtungsstärkeverteilungen

Auf Grund der unzureichenden Beschreibung der Wirkungsweise von Leuchten/Lampen im Nahfeld durch der Fernfeld-LVK wurde in der Lichttechnik eine Nahfeld-LVK eingeführt. Diese soll für den konkreten Anwendungsfall der Leuchten/Lampen die korrekte Berechnung der Verteilung der Beleuchtungsstärken im Nahfeld ermöglichen.

Eine übliche, jedoch aufwendige Möglichkeit besteht darin, Nahfeld-LVK's aus der Beleuchtungsstärkeverteilung auf einer Zielebene abzuleiten. Dafür ist jedoch die sehr aufwendige Vermessung der Beleuchtungsstärkeverteilung notwendig. Ein weiterer Nachteil ist, daß die Nahfeld-LVK für unterschiedliche Anordnungen (z.B. unterschiedliche Höhen von abgehängten indirekt strahlenden Leuchten) neu zu vermessen ist.

Solche Nahfeld-LVK's können mit einem Nahfeldgoniophotometer direkt zur Verfügung gestellt werden.

So können z.B. für abgehängte indirekt strahlende Leuchten Beleuchtungsstärkeverteilungen in der Deckenebene berechnet werden. Diese Berechnung kann für verschiedene Höhen abgehängter Leuchten realisiert werden und basiert immer auf ein und dem selben Messdatensatz der 4D-Leuchtdichteverteilung. Aus den berechneten Beleuchtungsstärkeverteilungen lassen sich dann äquivalente LVK's berechnen. Diese realisieren wiederum in einer Beleuchtungsplanung die tatsächliche Beleuchtungsstärkeverteilung, wenn man die indirekt strahlende Leuchte als Punktlichtquelle ansieht. Die so zur Verfügung stehenden LVK's kön-

nen also in existierenden Standardprogrammen für die Beleuchtungsplanung eingesetzt werden.

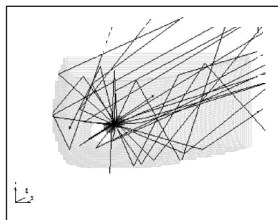


Abb. 8: Strahlenmodell

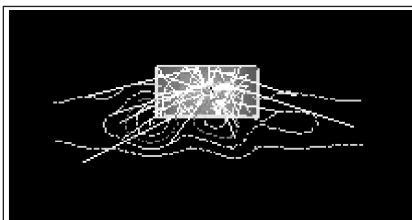


Abb. 9: Beleuchtungsstärkeverteilung

3.2 Bewertung von Leuchtdichteverteilungen
 Interne Datenbasis eines Nahfeldgoniometers ist das 4D-Leuchtdichtedatenfeld, das aus 2D-Leuchtdichtedaten an den jeweiligen Beobachterspositionen (Kamerapositionen durch Goniometersteuerung) entstanden ist. Damit stehen natürlich auch diese ursprünglichen Leuchtdichtebilder zur Verfügung und können mit der Funktionalität der bildauflösenden Leuchtdichtemesssoftware bewertet werden.

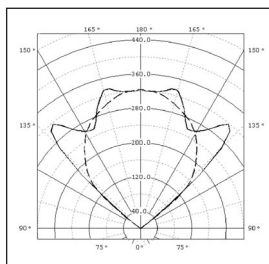


Abb.: 10 Nahfeld-LVK

Dazu zählen auch die Erfassung und Messung geometrischer Größen (Längen, Winkel, Raumwinkel) und vieler abgeleiteter Parameter.

3.3 Ableitung von Daten für die Simulation

Für alle Aufgaben, wo die genannten abgeleiteten Daten nicht ausreichen, können die vollständigen Messdaten genutzt werden. Dies betrifft z.B. Raytracingverfahren für Reflektorberechnungen an Down-Lights oder Scheinwerfern, die Strahldurchrechnung komplexer Beleuchtungssysteme (z.B. Projektoren) o.a. Die nach der Messung zur Verfügung stehenden Datensätze können in die Formate konvertiert werden, die die nachfolgenden Simulations- bzw. Auswerteprogramme (z.B. die in Pkt. 2 aufgeführten) benutzen.

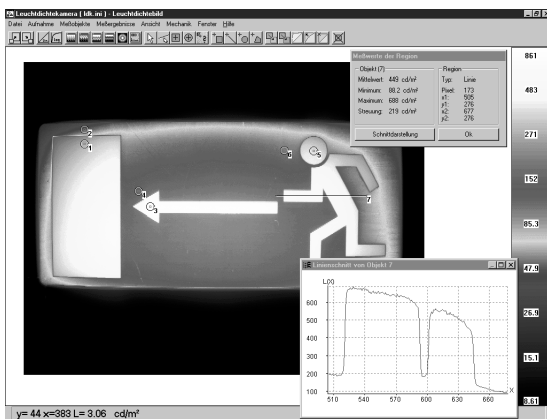


Abb. 11: Bewertung einer Leuchtdichteverteilung

Damit sind Nahfeldgoniofotometer die derzeit leistungsfähigsten Messsysteme für lichttechnische Baugruppen oder Systeme.

4. Prinzip der Erfassung lichttechnischer Parameter mit bildauflösender Lichtmesstechnik

4.1 Prinzip

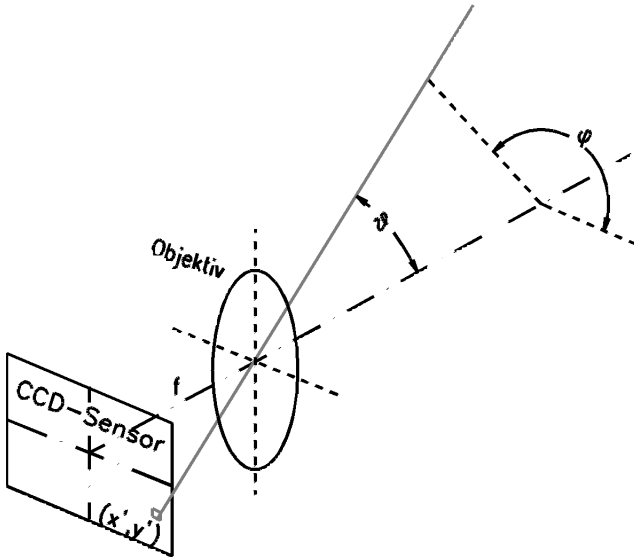


Abb. 12: Zuordnung Kamerapixel zu Leuchtdichtrichtung

Eine Kamera erfasst mit jeder Aufnahme ein Leuchtdichtbild. Dabei wird von jedem Bildpunkt (x', y') eine Leuchtdichtrichtung (Θ, ϕ) im Raum mit

$$\theta = \arctan\left(\frac{\sqrt{x'^2 + y'^2}}{f}\right)$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{y'}{x'}\right)$$

und einer dem Pixelgrauwert entsprechenden Leuchtdichte $L = f \cdot (GW)$ erfasst. Alle von der Aufnahme erfaßten „Leuchtdichtstrahlen“ gehen durch einen Punkt im Raum (Eintrittspupille des Objektivs, i.a. die Blende).

In einem Nahfeldgoniofotometer wird die Kamera oder das Messobjekt von der Goniometermechanik bewegt und an mehreren Punkten ein Kamerabild aufgenommen.

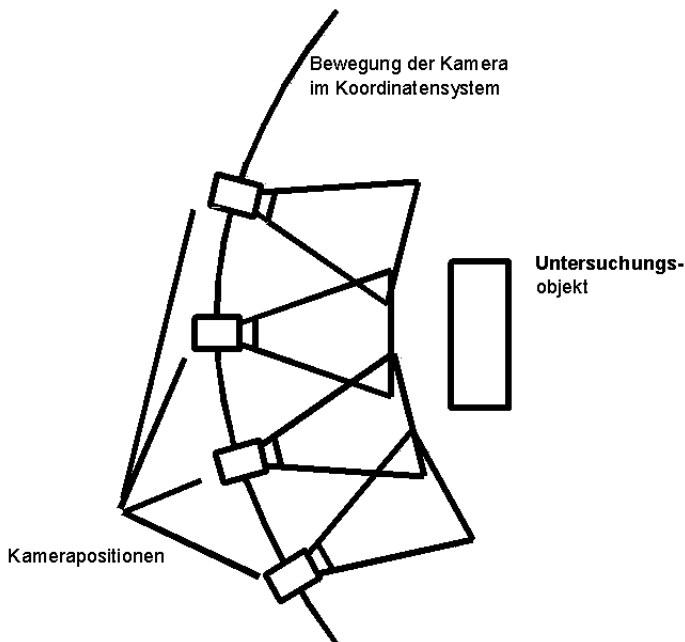


Abb. 13 Kamerapositionen zur Erfassung von Leuchtdichtebildern in einem Goniometer

Bei entsprechend kalibrierter Kamera ist die gemessene physikalische Größe das Leuchtdichtebild. Die Menge aller erfassten Leuchtdichtebilder ergibt eine vierdimensionale Leuchtdichtevertellung $L(\Theta, \phi, x, y)$, aus denen weitere lichttechnischen Größen im Raum oder auf Flächen bestimmt werden können.

Die Rohdatenmenge (Leuchtdichtenverteilung) nach der Messung ist sehr hoch. Zum Beispiel müssen bei einer Bewegung des Goniometers in 1° -Schritten um das gesamte Objekt $360 \cdot 180 = 64.800$ Bilder zu je $250 \cdot 250$ Bildpunkten (Ausnutzung etwa der halben Bildauflösung in beiden Richtungen) gespeichert werden, was ca. 16 GByte Speicher erfordert. Eine verlustfreie Kompression der Leuchtdichtedaten erlaubt die Reduktion der Datenmenge auf etwa die Hälfte bis ein Drittel (ca. 5 .. 8 Gbyte). In diesen Daten sind alle Informationen enthalten, die die Lichtausstrahlung der Lampe betreffen.

Werden unmittelbar im Anschluss an die Bildaufnahme lichttechnische Größen berechnet, kann der Speicherbedarf auf das für diese benötigte Maß verringert werden.

Drastische Reduzierungsmöglichkeiten sind die Berechnung des Lichtstroms (4 Byte für einen Float-Wert), des LVK_∞ (Lichtstärkeverteilungskörper) (ca 260 Kbyte bei 1° -Auflösung und 4Byte-Floatzahlen) oder die Berechnung von Beleuchtungsstärken auf ausgewählten Flächen (4 Byte je Punkt).

Ein vernünftiger Kompromiss ist die Übergabe der Daten als

- lokale Lichtstärkeverteilungskörper LVK_j (θ, φ) auf dA_j, bzw. als weitere Datenreduktion die Beschreibung durch
- Einheitslichtstrahlen φ(x, y, z, θ, φ) = const.
An eine Fläche angebunden reduziert sich auch dieses Datenfeld auf ein vierdimensionales φ(x, y, θ, φ) mit z = f(x, y).

4.2 Berechnung reduzierter Datenfelder
4.2.1 Lokale Lichtstärkeverteilungskörper

Die Lampenoberfläche oder eine andere beliebige Fläche um die Lampe herum wird in hinreichend kleine Flächenelemente zerlegt. Für jede Teilfläche dA wird ein eigener Lichtstärkeverteilungskörper I_j (θ, φ) berechnet. Der Speicherbedarf ist dann proportional zur Anzahl der Flächen und dem Speicherbedarf für einen LVK. Der LVK wird an den jeweiligen Flächenschwerpunkt angebunden.

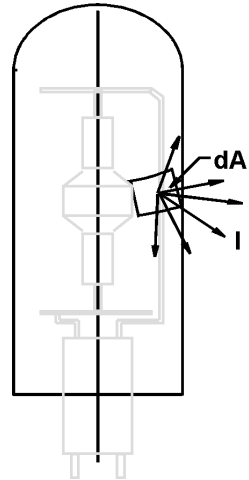


Abb. 14 Flächenelement dA auf der Lampenoberfläche mit eigener LVK

Dies bedeutet algorithmisch:

- eine Umsortierung der erfassten Leuchtdichten aus den Leuchtdichtebildern und
- Wichtung mit Raumwinkeln und Aufsummierung über solch eine Oberfläche j

$$I(\theta, \phi)_j = \sum_{\forall (x,y) \in \text{Oberfläche } j} L(\theta, \phi)|_{(x,y) \text{ Oberfläche } j} \cdot \Omega_{(x,y)}$$

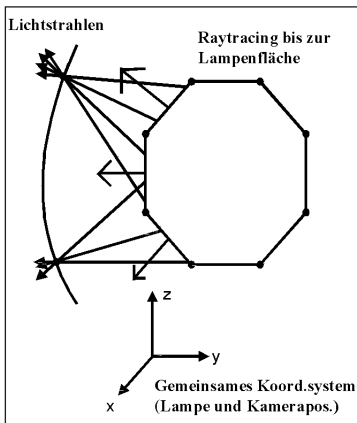


Abb. 15 Zusammenfassung von Lichtstrahlen aus unterschiedlichen Leuchtdichtebildern zu Lichtstärkeverteilungen auf den Teilflächen

Nebenstehendes Bild veranschaulicht den Algorithmus zur Berechnung der lokalen LVK:

- den Leuchtdichten in jedem Kamerabild werden Lichtstrahlen berechnet (Lichtstromanteil je Kameraposition und Raumrichtung).
- Diese Strahlen werden durch Strahlverfolgung bis auf eine der Teilflächen dA_j zurückgeführt. Sie tragen jeweils zum lokalen Lichtstärkeverteilungskörper ihrer Durchstoßungsfläche mit der Teilfläche bei.

Voraussetzung ist die exakte Kenntnis der Lage der Kamera und der Teilflächen (bzw. seiner Flächen) in einem gemeinsamen Koordinatensystem.

4.2.2 Liste von Einheitslichtstrahlen

Eine weitere Möglichkeit ist die Festlegung der erwähnten Lichtstrahlen als Einheitsstrahlen. Dann sind in jedem Kamerabild jeweils so viele Leuchtdichten gewichtet mit entsprechenden Raumwinkeln aufzusummieren, bis sich ein vorher festgelegter Einheitslichtstrom ϕ ergibt. Diese Einheitsstrahlen ergeben ebenfalls eine Liste vierdimensionaler Größen $\phi(\Theta, \phi, x, y)$. Diese Lichtstrahlen können determiniert oder über ein stochastisches Modell aus den Leuchtdichtedaten der einzelnen Bilder erzeugt werden. Die Größe des Datenfeldes ist über die Vorgabe der Größe des Einheitslichtstromes der Lichtstrahlen in weiten Grenzen steuerbar und damit einfach an die jeweilige Problemstellung anpassbar.

Für den Einsatz eines Nahfeldgoniometers für ein spezielles Messproblem sind weitere Zusammenhänge zu beachten, die sich aus den Eigenschaften der zu vermessenden Lichtstärkeverteilungskörper und den eingesetzten Geräten (Leuchtdichtemesskamera und Goniometermechanik) ergeben. Sie erfordern letztendlich ein an das Messproblem angepasstes Gerätedesign.

4.3 Diskretisierung des 4D-Leuchtdichte-Feldes

Physikalisch gesehen, ist das Leuchtdichtefeld eine stetige Funktion über einem vierdimensionalen Definitionsbereich. Im Nahfeldgoniometer werden von der Kamera an vorher festgelegten Orten (Goniometer-Winkel) Bilder aufgenommen. Die Bilder selbst repräsentieren Leuchtdichtedaten an diskreten Orten, Pixel (x, y) und zugehörigen diskreten Winkeln Θ, ϕ im Raum. In Bezug auf das kontinuierliche Leuchtdichtefeld bedeutet das die Entnahme von Messwerten an diskreten „Stützstellen“, die kontinuierliche Funktion wird durch Abtastwerte ersetzt. Die Lage der Stützstellen im vierdimensionalen Definitionsbereich wird bestimmt durch:

- die Orte im Raum, an denen eine Kameraaufnahme erfolgt,
- die Lage der Bildpunkte im Kamerabild.

Bei der Festlegung der Abstände der Kamerapositionen und der Diskretisierungsabstände der Leuchtdichtedaten in den Leuchtdichtebildern $(\Delta x', \Delta y') = f(\Delta\Theta, \Delta\phi)$ ist das Abtasttheorem zu beachten. Grob kann man angeben, daß die Abstände der Kamerapositionen von der Gestalt der LVK der Oberflächen $f(\Theta, \phi)$ kontinuierlicher Verlauf (Lambert-Strahler) oder hohe Sprünge im LVK bestimmt werden. Die Abstände der Stützstellen im Bild zur Beschreibung der Leuchtdichtebildedaten hängen von deren Verteilung ab $f(x', y')$ – gleichmäßige Verteilung oder Kanten und Sprünge).

Durch die Festlegung der Geräteparameter

- Abstand zwischen Kamera und Goniometerdrehpunkt
- Winkelschrittweite des Goniometers zwischen zwei Kameraaufnahmen (umgekehrt proportional zur Anzahl der aufzunehmenden Bilder)
- Öffnungswinkel des Objektivs

nimmt man unter Beachtung des tatsächlichen Funktionsverlaufs der Leuchtdichteverteilung unmittelbar Einfluss auf die Größe der verbleibenden Messfehler. Eine (gegenüber den tatsächlichen Verhältnissen natürlich stark übertriebene) anschauliche Darstellung der Ursache der Messfehler zeigt die folgende Abbildung.

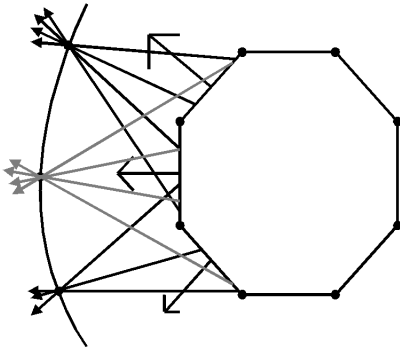


Abb. 16 Einbeziehung unterschiedlicher Kamerapositionen in einen LVK

Wird die rot gezeichnete Kameraposition berücksichtigt, dann sind die für die drei Teilflächen berechneten LVK wesentlich genauer als ohne Berücksichtigung, weil mehr Lichtstrahlen je Fläche zur Bestimmung des lokalen LVK herangezogen werden können. Umgekehrt beeinflussen natürlich solche Größen, wie die Anzahl der aufzunehmenden und zu verarbeitenden Bilder die Messzeit.

4.4 Messszenarien

Bei der Erfassung von Leuchtdichteverteilungen und daraus der Ermittlung von Lichtstärkeverteilungen auf Teilflächen oder zur Generierung von Einheitslichtstrahlen sind folgende wesentliche Arbeitsschritte im Algorithmus notwendig:

Bildaufnahme:	Bewegung des Goniometers Aufnahme von Bildfolgen der Messobjekte an spezifizierten Kamerapositionen
Bildkorrektur:	Umrechnung der Kamerabilder in Leuchtdichten, dabei u.a. Korrektur des Dunkelstroms, der Nichtlinearität und des Shadings
Lichtstärkeberechnung:	Umrechnung der Leuchtdichten in Lichtstärkeanteile Berechnung der resultierenden LVK
Generierung von Lichtstrahlen	Umrechnung der Leuchtdichten in Lichtstrahlen Strahlverfolgung der Lichtstrahlen, um sie an einer definierten Fläche anzubinden $\Phi(x, y, \theta, \phi)$ mit $z = f(x, y)$

Die Leuchtdichtedatenerfassung kann von der weiteren Verarbeitung getrennt werden. Damit kann eine Messzeit bei den angestrebten Auflösungen von 1° in ϕ -Richtung und 1° in θ -Richtung von etwa 1 h erreicht werden. Die Daten (mehrere Gbyte) werden im Messrechner zwischengespeichert. Gleichzeitig oder anschließend wird der Prozess zur LVK-Berechnung oder zur Generierung von Lichtstrahlen durchgeführt.

Literaturquellen

Riemann, M.; Poschmann, R.; Schmidt, F.: Zur Bestimmung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten innerhalb der fotometrischen Grenzentfernung mittels eines bildauflösenden Goniometers, Licht 7-8/93, S. 592–596

Riemann, M.; Fischbach, I.; Schmidt, F.: Zur Leistungsfähigkeit der Messung von Lichtstärkeverteilungskurven mittels bildauflösender Fotometrie, Licht 7-8/95, S. 640–645

Riemann, M.; Fischbach, I.; Schmidt, F.: Anwendungen angepaßter CCD-Sensortechnik in der ortsauflösten Lichtmeßtechnik, Licht 7-8/97, S. 582–587

Gall, D.; Wolf, St.: Der „Leuchtdichteanalysator“ als neue Qualität eines Meßgerätes für die Lichttechnik, Licht 98 Bregenz Tagungsband S. 146 – 152

Nevoigt, J.: Der Einsatz des „Leuchtdichteanalysators“ zur Blendungsbewertung bei Tageslicht, Licht 98 Bregenz Tagungsband S. 253–260

Messung geringster Fotoströme – ein Meßprinzip mit hoher Dynamik und ohne Meßbereichsumschaltung

Carsten Blankenhagen

1. Problembeschreibung

Um lichttechnische Größen meßtechnisch zu erfassen, werden in der gesamten Lichttechnik Sensoren bzw. Wandler eingesetzt, welche das auftreffende Licht in einen Strom bzw. eine Spannung umwandeln, deren Größe in unmittelbarem Zusammenhang mit der einfallenden Bestrahlungsstärke steht. Diese Ströme werden in der Fachsprache auch als Fotoströme bezeichnet und sind meist sehr klein. Sie überstreichen in der Praxis einen Bereich von einigen Milliampere bis hinunter in den Picoamperebereich und können sogar in den Femtoamperebereich hineinreichen. Als anschaulicher Vergleich hierzu seien die menschlichen Gehirnströme erwähnt, welche im Mikroamperebereich angesiedelt sind. Dieser hohe Dynamikbereich der Fotoströme resultiert aus der hohen Dynamik der zu messenden lichttechnischen Größen, welche fünf und mehr Zehnerpotenzen umfassen kann. So beträgt die Beleuchtungsstärke bei Nacht im Freien nur wenige lux, wogegen bei grellem Sonnenschein Werte weit über 100000 lux auftreten können.

2. Zwei grundsätzliche Meßmethoden

Zur Messung dieser lichttechnischen Werte bzw. der erzeugten Fotoströme kommen in der Schaltungstechnik zwei grundsätzliche Verfahren in Frage. Zum einen können die Ströme direkt linear gemessen werden, d.h. sie werden in einen Verstärker eingespeist, welcher sie entsprechend verstärkt und beispielsweise in eine proportionale Ausgangsspannung umwandelt. Das zweite Verfahren beruht auf dem Integrationsprinzip, bei welchem die Fotoströme über eine gewisse Zeit aufintegriert werden, wobei bei fester Meßzeit die Höhe der Integratorausgangsspannung ein Maß für die Größe des mittleren fließenden Fotostromes ist.

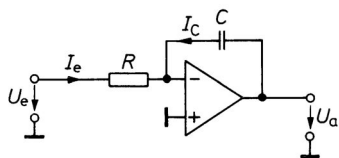
Der Vorteil des linearen Meßverfahrens liegt zunächst in der Echtzeitfähigkeit eines solchen Meßsystems. Aufgrund der eingangs erwähnten Dynamik ist jedoch eine Meßbereichsumschaltung erforderlich, welche einige Probleme bereitet. Diese liegen im Wesentlichen in der elektrischen Ausführung der Umschaltkontakte. Werden diese mechanisch realisiert (z. B. Reed-Relais), so tritt aufgrund der unvermeidlichen Oxydation im Laufe weniger Jahre ein Übergangswiderstand auf, welcher das Meßergebnis ganz erheblich beeinflussen kann. Beauf-

schlägt man solche Kontakte mit einem ständig fließenden kleinen Formierungsstrom von einigen Mikroampere, so kann der Kontaktübergangswiderstand infolge Kontaktabbrand beim Schalten (Miniaturlichtbogen) auf ungefähr gleichem Niveau gehalten werden. Dies bedeutet aber wegen der notwendigen Trennung von Formierungs- und Fotostrom einen wesentlich erhöhten Schaltungsaufwand. Werden die Kontakte auf elektronische Weise z. B. mit entsprechenden Transferelementen realisiert, ergibt sich das Problem der nicht vollständigen ohmschen Trennung der „Umschaltkontakte“, d.h. es bleibt beim Öffnen ein Restwiderstand im Gigaohmbereich, welcher einen geringen Fehlstrom zur Folge hat und damit das Meßergebnis verfälscht.

Wie bereits angedeutet wurde, besteht die Möglichkeit, Fotoströme auch mittels Integrationsmeßverfahren zu erfassen. Der wesentliche Nachteil dieser Variante besteht in der Nicht-Echtzeitfähigkeit eines solchen Meßsystems aufgrund der erforderlichen Integrationszeit. Jedoch ermöglicht gerade die Variation dieser Zeit den kompletten Wegfall der Meßbereichsumschaltung. Die zur Integration verfügbare Zeitspanne bestimmt dabei im Wesentlichen den überstreichbaren Dynamikbereich, welcher aber sechs Zehnerpotenzen und mehr umfassen kann. Die so umgangenen Probleme der Meßbereichsumschaltung durch variable Meßzeiten werden wie bereits erwähnt durch die Nicht-Echtzeitfähigkeit erkauft, jedoch teilweise (bei großen Fotoströmen und entsprechend geringen Integrationszeiten) auch wieder kompensiert. Erwähnenswert ist sicher auch noch die nicht ganz unproblematische Messung der Integrationszeiten.

3. Grundlagen des Integrationsmeßprinzips

Ein solches Integrationsmeßsystem wurde an der TU Ilmenau im Fachgebiet Lichttechnik im Rahmen einer Diplomarbeit und eines Drittmittelprojektes entwickelt. Bevor das Funktionsprinzip des Meßsystems näher erläutert wird, sei nochmal die Wirkungsweise eines einfachen Integrators dargestellt (Bild 1).



$$U_a = \frac{1}{C} \int_0^t [I_c(t) \cdot dt + Q_0]$$

Bild 1: Der einfache Integrator

Er besteht im Prinzip aus einem Operationsverstärker, dessen Ausgang über einen Kondensator (Integrationskondensator) auf den invertierenden Eingang zurückgekoppelt ist. Es ist darauf zu achten, daß der Operationsverstärker einen möglichst geringen Eingangsfehlerstrom (BIAS) besitzt und der Kondensator nur sehr geringe Leckströme aufweist (KP-, MKP- oder Styroflex-Typen verwenden). Je länger ein Strom (vorzeichenbehaftet) in den Eingang eines solchen Integrators hineinfließt, desto höher steigt dessen Ausgangsspannung (vorzeichenbe-

haftet) bis hin zur Sättigungsgrenze (durch Betriebsspannung festgelegt) an. Diese Ausgangsspannung kann nach obenstehender Gleichung in Abhängigkeit von der Kapazität und der Integrationszeit berechnet werden, wobei Q_0 die Ladung darstellt, welche sich bei Meßbeginn bereits auf dem Kondensator befindet (sie kann auch Null sein).

4. Funktionsweise des Meßsystems

Die bereits angesprochene Meßgeräteentwicklung basiert auf solch einfachen Integratoren, welche im Single-Slope-Verfahren betrieben werden. Dabei kamen zwei identische Meßzweige zum Einsatz, da zur Erfüllung der Meßaufgabe gleichzeitig Leuchtdichte und Beleuchtungsstärke erfaßt werden sollten. Bild 2 zeigt das Funktionsschema:

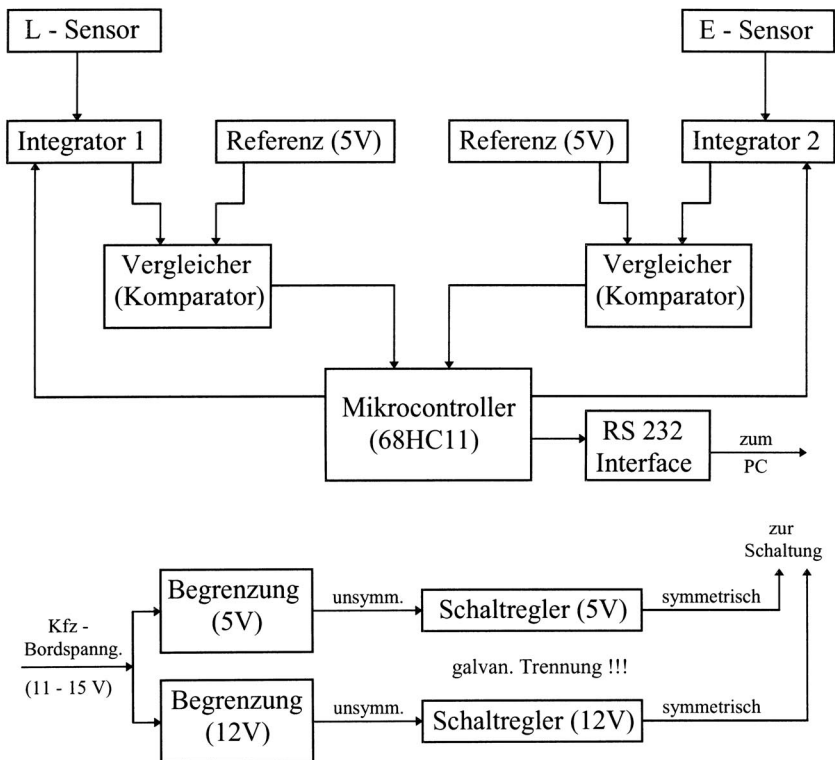


Bild 2: Funktionsstruktur des zweikanaligen Meßsystems

Um die Funktionsweise der Schaltung zu verstehen, geht man im oberen Schaltenteil zunächst vom entladenen Zustand der beiden Integratoren aus. Diese

werden vom Mikrocontroller zu einem bestimmten Zeitpunkt (Messung-Start) gleichzeitig freigegeben und laden ihre Integrationskondensatoren entsprechend dem am Eingang fließenden Fotostrom auf. Durch die Integration wird bei schwankenden Fotostromen eine Mittelwertbildung realisiert, so daß dann der mittlere fließende Strom wirksam ist. Der Ausgangspegel der beiden Integratoren gelangt gemeinsam mit dem Spannungspegel einer hochtemperaturstabilen Referenzquelle (5 Volt) auf einen Vergleichler (Trigger), welcher bei Gleichheit beider Spannungen eine LOW-HIGH-Flanke generiert und diese an den Mikrocontroller weiterleitet. Dieser detektiert die Flanke (Messung-Ende), ermittelt die Integrationszeit zwischen Messung-Start und Messung-Ende und leitet das Ergebnis über eine serielle Schnittstelle an einen PC zur Datenauswertung weiter. Da ein einfacher Vergleichler nicht über definierte Flankensteilheiten verfügt, wurden die implementierten Trigger in der praktischen Schaltung als Schmitt-Trigger realisiert. Es wird also der schwierig meßbare, weil sehr kleine Fotostrom in eine Zeit umgewandelt, welche zum fließenden Fotostrom umgekehrt proportional ist und mittels Mikrocontroller wiederum sehr genau gemessen werden kann. Nachdem der Controller beide Integratoren (Integrationskondensatoren entladen) zurückgesetzt hat, kann die nächste Messung erfolgen.

Dieses Verfahren birgt einige wesentliche Vorteile in sich:

- Das dem Fotostrom anhaftende Rauschen ist ein stochastisches Signal und wird bei der Integration weitgehend eliminiert.
- Durch variable Integrationszeiten (konkret: max. 5 sek) ist ein extrem großer Dynamikbereich überstreichbar und es ist dazu keine Meßbereichsumschaltung erforderlich.
- Da der Controller die Integrationszeit als eine Anzahl Zeitscheibchen konstanter Größe abspeichert, steigt die digitale Auflösung des Gerätes bei kleiner werdenden Fotoströmen. Signaldifferenzen sind deshalb gerade bei kleinen Strömen genauer erfaßbar als bei großen (konkret schwankt die Auflösung zwischen 10 ... 23 Bit).

Noch einige Bemerkungen zur Stromversorgung des Meßsystems: Die gesamte Schaltung wurde für einen Betriebsspannungsbereich von 11 ... 15 Volt (Kfz-Bordnetz) ausgelegt. Der Analogteil der Schaltung arbeitet mit 12 Volt, ist aber gegen Spannungsabsenkungen bis ca. 10 Volt unempfindlich, da die Integratorausgangspegel bis zum Schalten der Trigger maximal 5 Volt betragen müssen. Der Digitalteil hingegen arbeitet mit einer Betriebsspannung von 5 Volt. Beide Spannungen werden zunächst begrenzt und stabilisiert. Anschließend gelangen sie auf spezielle integrierte Schaltregler, welche zum einen die benötigte symmetrische Spannung erzeugen und zum anderen die komplette galvanische Entkopplung des gesamten Meßsystems vom Kfz-Bordnetz realisieren. Störende Masseschleifen über die serielle Schnittstelle zum PC und über dessen Stromversorgung aus dem Bordnetz sind somit ausgeschlossen.

5. Struktur der Betriebssoftware

Im nachfolgenden Bild 3 wird der Ablauf der Steuerungssoftware (Assemblerteil) in vereinfachter Form gezeigt:

Mikrocontroller 68HC11E9



Bild 3: Vereinfachte Struktur der Betriebssoftware (Assemblerteil)

Hierbei ist anzumerken, dass die Integrationskondensatoren vor dem Meßbeginn nicht nur entladen werden, sondern auch der Integratoreingang bis zum Start der Messung gegen Masse kurzgeschlossen wird. Diese Maßnahme wirkt der Aufladung der Sperschichtkapazität des Sensors entgegen, der vor Meßbeginn bereits einem Lichteinfall ausgesetzt sein kann. Ohne Kurzschluß vor der Messung würde seine „Ruheladung“ voll in das Meßergebnis eingehen und es verfälschen. Die Integrationszeiten werden im Mikrocontroller durch einen rotierenden 16-Bit Zähler erfaßt, dessen Überlaufanzahl („Vorkommastellen“) und Stand beim Ende der Messung („Nachkommastellen“) separat abgespeichert und übertragen werden. Die Flankendetektion im Controller erfolgt dabei durch implementierte Baugruppen entsprechend dem Quarztakt verzögerungsfrei in Echtzeit.

6. Genauigkeit des Meßsystems

Da das verwendete Integrationsmeßprinzip als Single-Slope-Verfahren implementiert wurde, mußte bei der Approximation der Systemübertragungsfunktion, welche das nichtlineare Verhalten des gesamten Meßsystems beschreibt, mit größter Sorgfalt gearbeitet werden. Bereits kleinste Abweichungen führen zu extrem großen Anzeigefehlern der ausgegebenen Meßwerte.

Die nachfolgenden Bilder 4 bis 6 zeigen die Linearitätsfehler des Meßsystems am Beispiel des Beleuchtungsstärkekanals und des Leuchtdichtekanal (5° und 10° Erfassungswinkel). Gemittelt liegen diese Fehlerwerte in einem Bereich zwischen 6 ... 8%.

Linearitätsfehler des E - Kanals (0,1 ... 20000 lx)

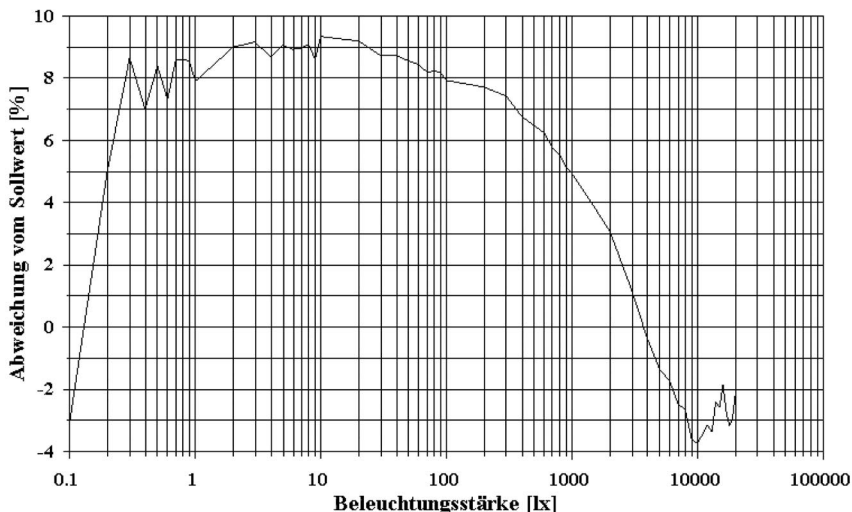


Bild 4: Linearitätsfehler des Beleuchtungsstärkekanals

Linearitätsfehler des L - Kanals (5°) (0,1 ... 3000 cd / m²m)

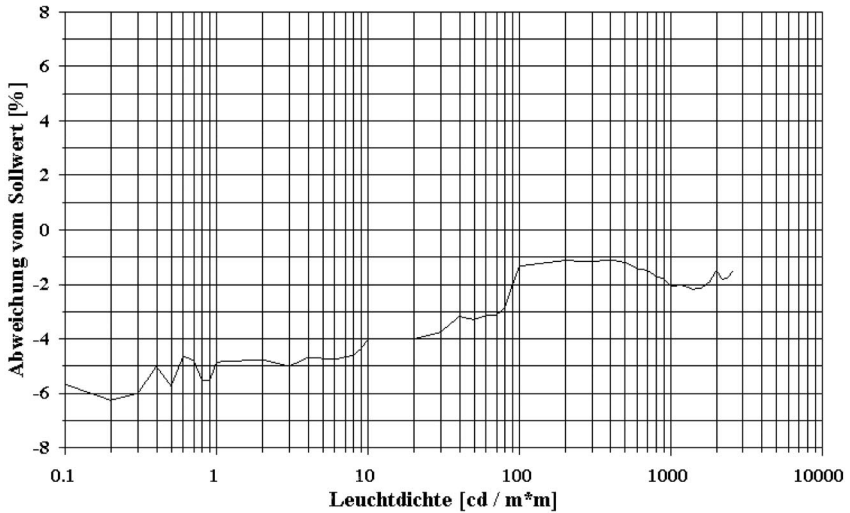


Bild 5: Linearitätsfehler des Leuchtdichtekanals (5°)

Linearitätsfehler des L - Kanals (10°) (0,1 ... 3000 cd / m²m)

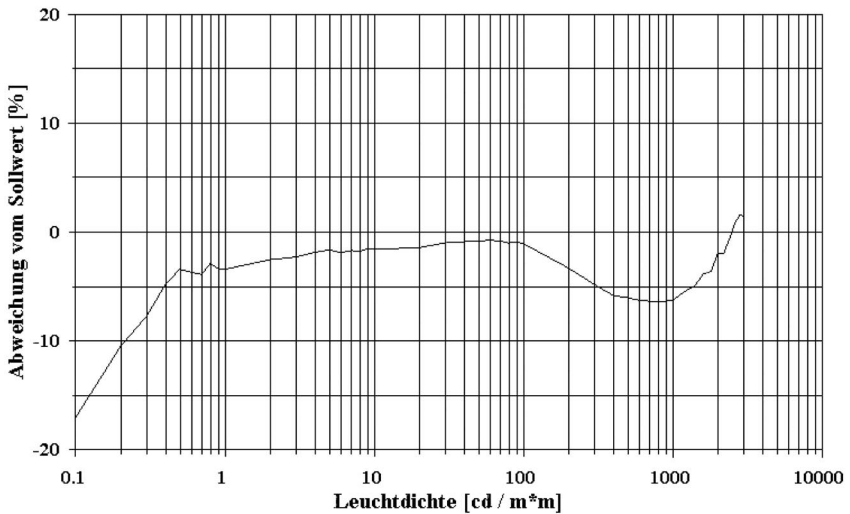


Bild 6: Linearitätsfehler des Leuchtdichtekanals (10°)

7. Ausblick

Die beschriebene Meßgeräteentwicklung hat gezeigt, daß es mit hochempfindlichen Transimpedanzverstärkern (geschaltete Integratoren) gekoppelt mit einem Single-Slope-Meßverfahren bereits möglich ist, genaue Lichtmeßgeräte (Linearitätsfehler 6 ... 8%) mit extrem großen Dynamikbereichen ohne Meßbereichumschaltung zu bauen. Im konkret entwickelten Gerät liegt ein solcher Bereich beispielsweise für die Beleuchtungsstärke bei 0,1 ... 20000 lux. Wenn mehr Meßzeit als 5 Sekunden zur Verfügung steht, kann dieser Bereich auch noch erheblich aufgeweitet werden. Ein wesentlicher Vorteil liegt auch in der steigenden digitalen Auflösung des Meßsystems (bis auf 23 Bit) bei kleiner werdendem Eingangssignal. Die Grundauflösung am oberen Dynamikbereichsende wurde hierbei auf 10 Bit festgelegt. Da die verwendeten Transimpedanzverstärker Eingangsfehlerströme (BIAS) von -14,3 fA ... -40,4 fA aufwiesen, ist eine Fotostrommessung bereits ab 50 fA denkbar.

Die verwendeten Transimpedanzverstärker sind im Datenblatt mit einem maximalen Eingangsfehlerstrom von 750 fA ausgewiesen, wobei meßtechnisch nur max. 40,4 fA ermittelt wurden (reproduzierbar!!!). Neuere Entwicklungen am Halbleitermarkt haben laut Datenblättern nur noch Eingangsfehlerströme von max. 100 fA. Wenn sich dort die Größenordnung ähnlich wie bei den hier eingesetzten Verstärkern verhält, besteht eine reale Chance, bei der Fotostrommessung in den nächstkleineren, den Attoamperebereich vorzustoßen. Durch das Integrationsverfahren sollten auch in diesen Bereichen den Fotostromen überlagerte Rauschströme (stochastische Signale) keine Rolle spielen.

Verbesserungen bei der beschriebenen Meßsystementwicklung sind hardwareseitig vor allem in der Temperaturstabilisierung der Sensoren und Transimpedanzverstärker (Peltierkühlung) und dem Einsatz von Triggern mit exakt definierten Flankensteilheiten zu sehen. Auch das Platinendesign ist sehr sorgfältig nach Herstellerempfehlungen vorzunehmen (strikte Trennung von Analog- und Digitalteil), wobei den Meßverstärkereingängen besondere Beachtung zu schenken ist. Softwareseitig ist die genaue Ermittlung (Messung) der nichtlinearen Systemübertragungsfunktion und ihre möglichst exakte mathematische Abbildung (Approximation) für genaue Meßwertanzeigen unumgänglich.

Abschließend zu diesem Beitrag wird im Bild 7 die Hardware des entwickelten Meßsystems gezeigt.

Literatur:

Blankenhagen, C.: „Entwicklung und Aufbau eines Fahrersichtweitenmeßsystems einschließlich Implementierung der Betriebssoftware“
Diplomarbeit 1999, TU Ilmenau, FG Lichttechnik

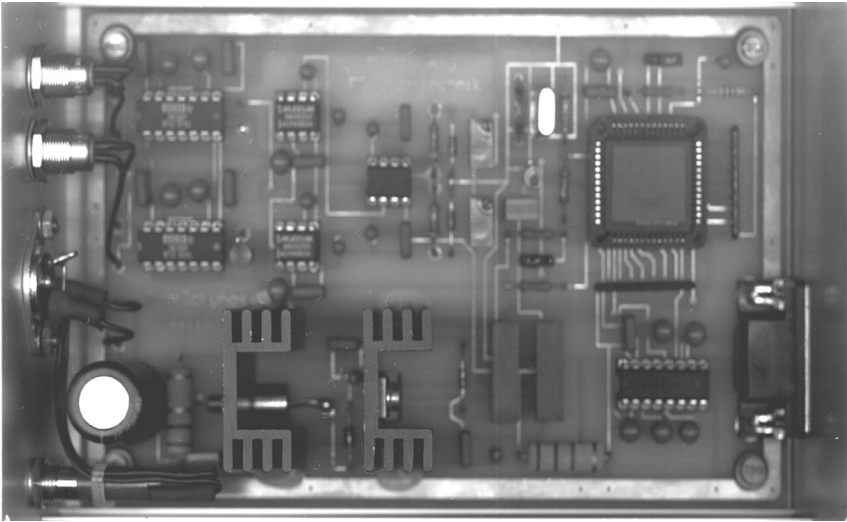


Bild 7: Blick auf die Hardware des entwickelten Meßsystems (ohne Sensoren)

Dimensionierung und Qualitätsüberprüfung technischer Bestrahlungsanlagen

Wladimir Jordanow

1. Einleitung

Oft spielen Licht und/oder Strahlung eine tragende Rolle in den modernen Fertigungs- und Prüfprozessen. Das Licht (unter den Begriff des Lichtes ist in diesem Kontext die Gesamtheit der optischen Strahlung gemeint: UV-Strahlung, sichtbares Licht, Infrarot-Strahlung) wird wegen seiner natürlichen physikalischen, chemischen, thermischen u.a. Wirkung in technischen Prozessen benötigt. Der immer breiter werdende Einsatz von Optosensorik und Optoelektronik in den Fertigungs-, Produktionsüberwachungs- und in den Qualitätsprüfanlagen verstärkt diese Tendenz noch mehr. Es entsteht eine rasant wachsende Vielfalt von „nicht traditionellen“ Lichtanwendungen in unzähligen Erscheinungsformen und Variationen. Das Licht tritt dabei als Werkzeug, als Energieträger, als informationsübertragendes Medium oder in kombinierter Funktion auf. Gleichzeitig kann es vorkommen, daß das in bestimmten Technologieprozessen eingesetzte oder entstehende Licht, bzw. einzelne Spektralbereiche davon, für die benachbarten Prozesse nicht erwünscht, sogar störend sind. Sehr komplexe Anforderungen an den Anlagebau sind in der Regel die Folge. Bei sonst ausgereizten technologischen Parametern können häufig nur eine professionelle Einbindung und die optimale Berücksichtigung/Nutzung aller auftretenden Licht- und Strahlungseffekte über die Funktionsfähigkeit der Anlage entscheiden. Im Resultat dieser spezifischen Problematik entsteht ein Bedarf an adäquaten, oft unkonventionellen lichttechnischen Speziallösungen. Die relevanten Lichtparameter sollen dabei den jeweiligen Spezialanforderungen des technischen Vorgangs optimal zugeschnitten – „modelliert“ werden. Diese Problemkategorie kann verallgemeinert als Aufgaben der technischen Beleuchtung betrachtet werden.

Technologieanlagen, bei denen optische Strahlung (Licht) gezielt zu industriellen Zwecken eingesetzt wird, können als Anlagen technischer Beleuchtung betrachtet werden. Dabei kommt es nicht auf die Realisierung bestimmter ergonomisch-visueller Bedingungen an. Eine Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung oder die subjektive Bewertung der Prozesse direkt über das menschliche Auge sind sogar unerwünscht und oft unmöglich. Die Gestaltung und die Optimierung der Wechselwirkung des verwendeten Lichts (der Strahlung) mit dem unmittelbaren Umfeld gelten als Aufgaben der technischen Beleuchtung.

Bewußt wird bei dieser Definition der Begriff der Beleuchtung weit über seine sinngemäße Bedeutung der Schaffung einer visuellen Umfeldhelligkeit hinaus erweitert. Unter „Beleuchtung“ soll in diesem Kontext jede geometrische

und/oder photometrische Modellierung bestimmter Parameter des Licht- und Strahlungsfeldes verstanden werden. Dies gilt gleichermaßen auch für die kontrollierte Gestaltung aller technischen und physikalischen Prozesse und Erscheinungen, die unmittelbar oder auch indirekt mit dem Licht in Wechselwirkung treten. Sie lassen sich leider in den seltensten Fällen vollständig nach Wunsch modellieren, müssen aber trotzdem unbedingt, gewichtet nach ihrer Bedeutung, angemessen berücksichtigt werden. Die Beleuchtungsaufgabe wächst dadurch zu einem multidisziplinären technischen Unterfangen.

2. Problemstellung

Das Licht ist das Medium, das bei technischen Prozessen sofort in die meisten und die kompliziertesten Wechselwirkungen mit der Umgebung eintritt. Außerdem wird das photometrische Feld infolge dieser Wechselwirkungen am stärksten beeinflusst. Besonders bei dynamischen, nichtstationären Systemen ist eine Konstanthaltung ausgesuchter Lichtparameter nicht trivial. Unüberlegte Eingriffe und externe Regelversuche können zusätzliche Instabilitäten und ungewollte Veränderungen von weiteren (Licht-)Parametern im Gesamtsystem (Schwingung) verursachen. Eine Dimensionierungs-/Optimierungsaufgabe mit vielen heterogenen Randbedingungen – werkstoffliche, mechanische, konstruktive, energetische, thermische, lichttechnische u.v.a. – ist zu lösen. Mindestens genauso wichtig sind auch weitere Gesichtspunkte wie z.B. Entstehungskosten und weitere ökonomische Aspekte, Wartungszyklen, Wartungsaufwand, Wartungsfreundlichkeit, Energieverbrauch, Langzeitstabilität u.v.m. Erschwerend dazu kommt die Anforderung, viele dieser Gesichtspunkte (DIN-)normkonform behandeln zu müssen.

3. Problemkonkretisierung

Für solche komplexe Probleme existiert keine eindeutige, singuläre, „richtige“ Lösung. Eine Lösungssuche besteht meistens aus mehreren iterativen Schritten, bis zu einer bestmöglichen Annäherung an das gewünschte Zielergebnis. Die Wahl sinnvoller Startbedingungen und einer adäquaten Zielvorgabe (Start- bzw. Abbruchbedingungen) bestimmt die Konvergenzgeschwindigkeit der Iteration. Die Fähigkeit eine günstige Wahl zu treffen, hängt ausschließlich von der Erfahrung des Bearbeiters ab. Leider unterliegen die Aufgaben technischer Beleuchtung einer sehr raschen Entwicklungsdynamik. Sogar eine ausgereifte Lösung ist oft zur Bescheidenheit einiger wenigen Einzelanfertigungen oder einer Kleinserie verurteilt. Viele Entwicklungen sind kundenspezifisch und daher einzigartig in ihrer Gesamtheit. Schon geringfügige Parameteränderungen in der Aufgabenstellung oder ein Prioritätenwechsel der Anforderungen können einen vollkommen veränderten Iterationsverlauf zur Folge haben. Griffbereite Entscheidungshilfen für solche Probleme gibt es nicht. Deshalb ist die Verfügbarkeit einer effektiven Methodik zur Problemanalyse das einzige Instrument zur Erarbeitung eines geeigneten know-hows für zeitsparende Lösungssuche und zum Konzeptentwurf. Die mit solchen Beleuchtungsaufgaben beschäftigten Ingenieure versuchen über die Erfahrung aus den Einzellösungen, sich einer plausiblen allgemeinen Bearbeitungsmethodik anzunähern. Der Weg dahin führt unvermeidlich über eine systematische Klassifizierung der häufig auftretenden Fragestellungen – Aufgabensimplifikation durch apriori Problemklassifizierung.

Eine vollständige Ausführung aller Klassifizierungsmöglichkeiten ist in diesem Rahmen nicht möglich. Statt dessen erläutern wir den erwähnten Ansatz anhand weniger ausgesuchten Beispiele.

Eine der häufigst genutzten Anlagenarten zur technischen Beleuchtung bilden die Bestrahlungsanlagen. Diese können, wie in der Tabelle 1 angedeutet, in drei wesentliche Typen unterteilt werden:

- Anlagen mit physikalischer Wirkung (eine rein physikalische Wirkung ist äußerst selten)
- Anlagen mit photo-chemischer Wirkung
- Anlagen mit photo-biologischer Wirkung

Aus dieser Vielfalt greift man die in der Abb. 1 markierten Anlagenarten heraus und verdeutlicht am Beispiel ihres gezielten Vergleiches (Tab. 1) einige der wichtigen Besonderheiten. Weitere Anregungen und Informationen zum Thema sind beim Autor direkt anzufordern.

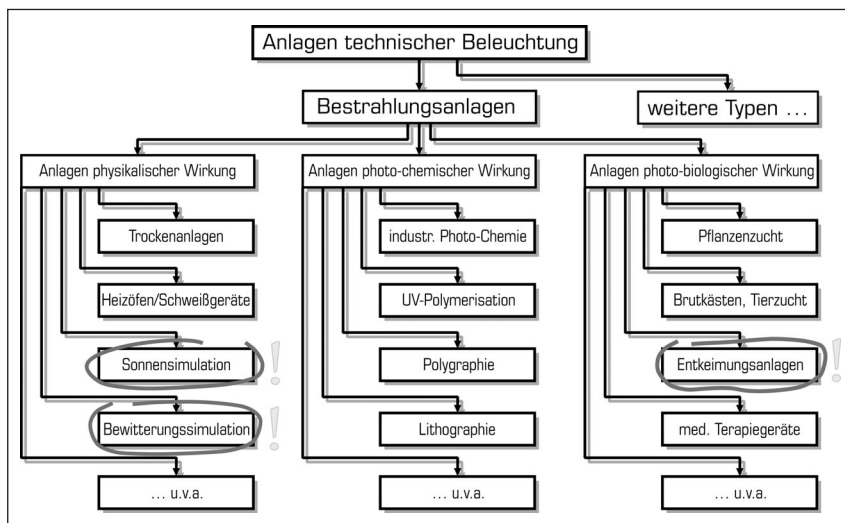


Abb.1: Klassifizierungsbeispiel von technischen Bestrahlungsanlagen

3.1 Die künstliche Sonnensimulation als Beleuchtungsaufgabe

Die künstliche Sonnen- und Bewitterungssimulation ist ein bewährtes Verfahren zur Material- und Bauteilprüfung. Diese wird besonders in der Weltraumforschung, in der Automobilindustrie und bei deren Teillieferern angewendet. Es existieren entsprechende DIN-Normen [6], die die Güteerkmale zur Sonnensimulation reglementieren. Die Art und die spektrale Zusammensetzung der Strahlung, die Bestrahlungsstärke, die räumliche Verteilung, sowie die erforderliche Bestrahlungsdauer und weitere lichttechnische Parameter sind dort festgeschrieben. Dies gilt auch für die geforderte Temperatur und die klimatischen

Vergleichskriterien	Art der Bestrahlungsanlage			
	Sonnen-/Bewitterungssimulation		Luft- /Wasserentkeimung	
	allgemeine Sonnensimulation	Bewitterungskammer (Automobilindustrie)	Abluftbehandlung	Entkeimung von Wasser
Ziel der Bestrahlung	Materialprüfung, Qualitätsprüfung		Luft- und Wasseraufbereitung	
Klassifizierung	physikalische Wirkung		photo-biologische Wirkung	
Strahlungsquellen, Strahlungserzeugung	oft kostengünstige Halogenlampen mit (Teil-)Filterung, ansonsten Speziallampen in verschiedenen Leistungsstufen	ausschließlich Speziallampen in verschiedenen Leistungsstufen- 150 W und 4 KW, ungefiltert aber mit Schutzgitter-/glas	marktübliche UV-Lampen in verschiedenen Ausführungsformen, UV-Speziallampen, ungefiltert, Form der Lampe und der Reaktorkammer müssen sinnvoll zueinander passen (wegen "optische Einschränkung" bei stark absorbierendem Medium)	
Strahlungseinkopplung	Strahlerpositionierung um das Bestrahlungsobjekt	Strahler in/um eine Klimakammer angeordnet, selten mobile Zusatzstrahler, automatisierte Strahlerpositionierung - selten	der zu behandelnde Luftstrom umfließt die Lampen/Strahler oder durchfließt einen UV-Reaktor	Strahler meistens in das zu behandelnde Medium eingetaucht, s.g. UV-Reaktor
Prüfling, Bestrahlungsobjekt	unterschiedliche flache oder räumliche Proben / Gegenstände	unterschiedliche Autozubehörteile, Autotinnenraumausstattung, ganze Karossen	Abgase, Abluft, schadstoffbelastete Gasgemische /Dämpfe u.a.	Abwasser, Industrierwasser, Kühlwasser, Trinkwasser u.a.
zeitliches, räumliches Verhalten des Prüflings	statische Aufgabe, zeitlich konstante Position, teilweise gegenseitige Abschattung der einzelnen Prüflinge	statische Aufgabe, zeitlich konstante Position, keine Fremdabschattung, aber Eigenabschattung berücksichtigt	dynamischer Stofffluß, oft keine homogene Stoffmenge vorhanden und/ oder die Stoffdurchflußmenge ist nicht zeitlich konstant.	
optisches Verhalten des Mediums	neutral, keine oder vernachlässigbare Wirkung	üblicherweise neutral, keine Wirkung, selten muß die Trübung / Absorption durch Wasserdämpfe berücksichtigt werden	absorbierend, je nach Luft-/Wasser-Verunreinigung unterschiedlich spektralselektiv absorbierend, verschiedene Partikel können auch eine Streuung des Lichtes hervorrufen, optische Abschattung durch größere Partikel möglich	
räumliche Verteilung der Strahlung, charakteristische Größe	Oberflächenbestrahlung: horizontale, vertikale, bzw. halbsphärische Bestrahlungsstärken interessant		Volumenbestrahlung: zylindrische, sphärische Bestrahlungsstärken interessant	
spektrale Charakteristik der verwendeten Strahlung	sonnenlichtähnliches Vollspektrum	sonnenlichtähnliches Vollspektrum	UVC-Strahlung - üblich 100nm-280 nm, die Kombination mit IR-Bestrahlung erhöht die Wirkung	UVC-Strahlung - üblich 100nm - 280 nm, oft quasi-monochromatische Strahlung

Tabelle 1 – Teil 1: Vergleich zwischen der künstlichen Sonnen-/Bewitterungssimulation und der Luft- und Wasserbehandlung nach verschiedenen Kriterien

Vergleichskriterien	Art der Bestrahlungsanlage			
	Sonnen-/Bewitterungssimulation		Luft- /Wasserentkeimung	
	allgemeine Sonnensimulation	Bewitterungskammer (Automobilindustrie)	Abluftbehandlung	Entkeimung von Wasser
wichtigste Parameter / wirksame Größen	spektrale Zusammensetzung wichtig, oft extreme Anforderung an die Gleichmäßigkeit, selten Parallelität der Strahlung gefordert	naturähnliche Bewitterungsbedingungen werden in Zyklen simuliert, Gleichmäßigkeit der Verteilung wird nicht immer gefordert	Bestrahlungsdosis pro Volumeneinheit bis zum Erreichen einer keimabtötenden Wirkung, Dosis hängt vom Einsatzgebiet, aber in erster Linie vom Grad der gewünschten Keimabtötung ab.	
Beleuchtungs- / Bestrahlungsstärke (in der DIN 75220 und DIN 5031 Teil 10 sind horiz. Werte vorgeschrieben /5/ und /6/)	outdoor Prüfung: $1000 \text{ W/m}^2 \pm 10\%$ indoor-Prüfung: $830 \text{ W/m}^2 \pm 10\%$		keimabtötende Dosis für Bakterien: für eine 90% Bakterienabtötung: $0,7 - 19,7 \text{ mWs/cm}^2$ (bei 254nm) für eine 99% Bakterienabtötung: $3,5 - 98,5 \text{ mWs/cm}^2$ (bei 254nm)	
Temperaturbereich	keine Vorgaben	-10°C bis 90°C -outdoor -10°C bis 45°C - indoor	keine Vorgaben	keine Vorgaben
Zeitregime der Bestrahlungsanlage	zeitlich begrenzter Dauerbetrieb	Dauerbetrieb - abfolgende Prüfzyklen	ununterbrochener Dauerbetrieb	
elektrische Leistungsaufnahme der Anlage	aufgabenabhängig zwischen wenigen 10 W, bis mehrere 100 KW	zwischen mehrere 10 KW bis zu einigen 100 KW	verschiedene Leistungsabstufungen, abhängig von der vorgesehenen Stoffdurchflussmenge, für Wasserbehandlung ist in der Regel mehr elektrische Leistung erforderlich als bei der Luftaufbereitung	
Wärmeentwicklung, Eigenabstrahlung der Körper	die Wärmeentwicklung hängt von der Strahlerleistung ab, meistens unproblematisch, die Eigenstrahlung vernachlässigbar, Faustformel: Gerätenvolumenbedarf - ca. 1L pro 100 W elektrische Leistung	enorme Temperaturgradienten und Wärmeentwicklung durch die Strahler, Temperaturen von bis zu $\gg 120^\circ\text{C}$ auf dem Prüfling möglich, deutliche Eigenstrahlung im Wellenlängenbereich $5\mu\text{m}-12\mu\text{m}$	merkbare Wärmeeinwirkung nur in geschlossenen Systemen, bzw. bei geringen Stromflüssen, ansonsten sorgt der Stofffluß für einen natürlichen Wärmeabtransport, bei Umgebungstemperaturen $T > 30^\circ\text{C}$ sinkt der Wirkungsgrad der Lampen/ Strahler	
Regelbarkeit	Aus verschiedenen Dimensionierungsgründen wird eine Regelbarkeit gewünscht und realisiert. Praktisch ist eine Regelung von mehr als 10% Lampenleistung NICHT sinnvoll. Sie ist sogar ohne Verschiebung der Spektralzusammensetzung der Strahlung nicht möglich.		Aus mangelnden Möglichkeiten einer präzisen Dimensionierung wird diese Art von Anlagen in der Regel überdimensioniert, daher wird eine zusätzliche Regelung äußerst selten verwendet.	

Tabelle 1 – Teil 2: Vergleich zwischen der künstlichen Sonnen-/Bewitterungssimulation und der Luft- und Wasserbehandlung nach verschiedenen Kriterien

Bedingungen. Es werden zwei unterschiedliche Typen von Sonnensimulation angewendet: die „outdoor-“ und die „indoor-Prüfung“.

Für die Sonnensimulation in der Automobilindustrie ergeben sich aus der DIN 75220 folgende wichtige Anforderungen:

Spektrale Zusammensetzung:
wie die Globalstrahlung (bei der indoor-Prüfung - reduzierter UV-Anteil)

Bestrahlungsstärke:
1000 W/m² ±10% – outdoor-Prüfung, 830 W/m² ±10% - indoor-Prüfung

Temperaturbereich:
–10°C bis 45°C – outdoor-Prüfung, –10°C bis 90°C – indoor-Prüfung

3.2 Die Luft-/Wasserentkeimung (-sterilisation) als Beleuchtungsaufgabe
Die keimreduzierende/-tötende und sterilisierende Wirkung des natürlichen Sonnenlichtes sind lange schon bekannt. Nähere Untersuchungen schränken den für diese Wirkung verantwortlichen Spektralbereich auf 100 nm-280 nm ein. Heute ist die künstliche Bestrahlung mit hochenergetischer UV-Strahlung ein erprobtes und bewährtes Verfahren für die Behandlung von Abluft und Abwasser, sowie für die Sterilisation von Trinkwasser. Für diese Art der Bestrahlungsanlagen existieren wenig exakte Dimensionierungsmethoden, da die Rechenmodelle oft für nichtabsorbierende Medien konzipiert sind. Dabei ist die Vielfalt der industriellen UV-Anwendungen enorm.

Für die Luft- und Wasserbehandlung mit UV-Licht existieren folgende wichtige Anforderungen:

Spektrale Zusammensetzung:
Es kann mit quasi-monochromatischer Strahlung im UVC-Bereich gearbeitet werden. Für verschiedenes Bestrahlungsgut sind unterschiedliche Wellenlängen optimal wirksam. Als Strahlungsquelle wird üblicherweise Quecksilber-Niederdruckentladung, bevorzugt die 253,7 nm Linie verwendet.

Bestrahlungsdosis:
Keimabtötende Dosis für die meisten Bakterien (nach Schenk /2/ Teil I - 4.10.3)
für eine 90% Keimabtötung: 0,7-19,7 mWs/cm² (bei 254 nm Wellenlänge)
für eine 99% Keimabtötung: 3,5-98,5 mWs/cm² (bei 254 nm Wellenlänge)

4. Problemanalyse

Das wesentlichste Merkmal der Anlagen zur technischen Beleuchtung besteht darin, daß sie nicht nach subjektiven (visuellen) Kriterien entworfen und dimensioniert werden können. Je nach Spezifik der übergeordneten technischen Aufgabe werden ausschließlich objektive, meßtechnische Bewertungsmethoden eingesetzt.

4.1 Besonderheiten der Bearbeitung technischer Beleuchtungsaufgaben

Die Bearbeitung technischer Beleuchtungsaufgaben erfordert:

- eingehende physikalische, thermodynamische und lichttechnische Analyse der Prozesse;
- Zusammenstellung aller denkbaren Lösungsvarianten, Wahl geeigneter Beleuchtungsvarianten;
- Recherche und Auswahl verfügbarer, marktbekannter Einzelkomponenten: Lampen, Strahler, Materialien, Luft-, Klima-, Pumptechnik u.v.m.;
- Recherche oder Messung aller für die Simulation erforderlichen Parameter, überschlägige Abschätzung der Licht- und Anlagenparameter durch vorab Berechnung, Eingrenzung der als geeignet in Frage kommenden Bauteile;
- Zusammenstellung der realisierbaren Anlagenparameter und Suche nach sinnvollen Startbedingungen für die Simulationsdurchführung;
- überschlägige Berechnung und Bewertung der vorläufigen Ergebnisse – oft können (nur in dieser Frühphase) konventionelle Lichtberechnungsprogramme dafür verwendet werden;
- Wahl eines adäquaten Berechnungsverfahrens zur Simulation;
- Konstruktionsmodellerstellung, Schnittstellenvorbereitung für Datenaustausch/Datenweitergabe
- Durchführung iterativer Simulationsschritte mit exakten Materialparametern und adaptiven Berechnungsverfahren;
- Meßtechnische Überprüfung der Zwischenergebnisse, Bestimmung der am besten geeigneten Berechnungsverfahren;
- Durchführung der Dimensionierung;
- Meßtechnische Kontrolle an der fertigen Beleuchtungs-/Bestrahlungsanlage;

Die Durchführung einer technischen Beleuchtungssimulation erfordert fast immer einen gleichzeitigen Umgang mit lichttechnischen und radiometrischen Größen. Die Gütekriterien sind oft in strahlungsenergetischen Maßeinheiten angegeben. Üblicherweise werden bestimmte Energiedichteverteilungen oder die Bestrahlungsdosen auf vorgegebenen Flächen gefordert. Bei einer simultanen Verwendung von lichttechnischer Meßtechnik und radiometrischen Sensoren ist stets die $V(I)$ -Abhängigkeit der lichttechnischen Größen zu berücksichtigen. Da die Beurteilungskriterien nicht auf visuellen Methoden basieren, bedarf es in solchen Fällen einer Umrechnung der lichttechnischen in strahlungsphysikalische Größen. Dies kann auf analytischem Wege oder rein pragmatisch über Umrechnungsfaktoren erfolgen. Dazu benötigt man lediglich geeignete Vergleichsmessungen mit der entsprechenden Meßtechnik. Der Einsatz moderner CCD-Kameratechnik ist zu solchen Zwecken hervorragend geeignet. Zahlreiche Beispiele solcher Messungen werden im begleitenden Poster präsentiert.

4.2 Beispiel eines Lösungsansatzes für eine Bewitterungssimulationskammer

Ein geeigneter Lösungsansatz für die optimale Gestaltung einer Bewitterungssimulationskammer ist nur bei Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte zu bestimmen:

- Einheitliche physikalische Betrachtung aller Prozesse
- Parametrisiertes Denken in allen Schritten

- Herantasten an die geeignete Beleuchtungslösung durch iterative Näherungstests nach dem Wechselprinzip: „einfaches Körpermodell – komplexe Lichtberechnungsmethoden“ (Abb. 2) oder „komplexes Körpermodell – vereinfachte Lichtberechnungsmethoden“ (Abb. 3)
- Modulare Lösung in Teilaufgaben
- Automatisierung zyklischer Berechnungsschritte
- Verwendung spezialisierter Software für zeiteffektive Lösung von unterstützenden Zwischenaufgaben
- Datenaustausch zwischen externen Routinen und vorhandenen lichttechnischen Berechnungsmodulen

Eine zufriedenstellende Lösungsfindung nur anhand einer theoretischen Vorberachtung mit anschließender mathematischer Simulation ist nicht möglich. Der Bezug zur Praxis und die späteren Fertigungstoleranzen sind nicht aus einer mathematischen Modellierung des Systems sofort klar erkennbar. Eine schrittweise iterative Simulationsdurchführung im ständigen Wechsel zu praktischen Messungen sichert eine bestmögliche Konvergenzgeschwindigkeit zur angestrebten Zielstellung (Iterationsgrenze). Mit jedem zusätzlichen Iterationsschritt vertiefen sich die Kenntnisse über das System. Das Wesen der Wechselwirkungsprozesse wird immer besser analysiert und verstanden. Dies kommt den nachfolgenden Simulationsschritten zugute. Die Modellparameter können direkt den reellen Parametern (Meßergebnissen) angepaßt werden. Die Abbruchbedingung des so entstehenden Optimierungsprozesses ist einzig durch die Anforderungen der Aufgabenstellung gegeben.

Die Vielfältigkeit der anfallenden Meßaufgaben ist fast unbegrenzt. Die meßtechnische Überprüfung der Zwischenergebnisse erfordert ein gut ausgestattetes lichttechnisches Labor. Ein solches Labor existiert im Fachgebiet Lichttechnik an der Technischen Universität Ilmenau. Eine Entwicklungsarbeit dieser Art ist nur Dank der Unterstützung und der Mitarbeit aller Kollegen denkbar. Der Einsatz des dort entwickelten Leuchtdichteanalysators schafft völlig neue Möglichkeiten für die Handhabung solcher und ähnlicher Problemen. Ohne ausreichende Soft- und Hardwareunterstützung bzw. ohne eine (Teil-)Automatisierung von zyklischen und Berechnungsabläufe ist eine sinnvolle Bearbeitung der Aufgaben nicht zu realisieren. Der Zugriff auf klassische, konventionelle lichttechnische Berechnungsprogramme ist wenig sinnvoll, meistens unmöglich, da die komplexe Anforderungen solcher technischer Beleuchtungsaufgaben keine adequate Behandlung finden. Gleichzeitig ist es nicht möglich zur Lösung jeder einzelnen Aufgabe, jeweils eine neue Software zu entwickeln. Die Lösung dieses Dilemmas liegt in einem permanenten „parametrisierten Denken“ (z.B. Abb. 2). Das aus unterschiedlichen Projekten akkumulierte know-how bleibt bei einer gesicherten Skalierbarkeit der Vorgabeparameter stets wiederverwendbar. Es ist nicht erforderlich die Berechnungsmethoden selbst zu verändern, sondern vielmehr deren Auswahl, die Reihenfolge und die Datenflußmechanismen dazwischen. Diese Forderung macht die Softwareentwicklung in einer klassischen Compilersprache unnötig komplex. Die Interpretersprachen, die solche Nachteile umgehen, kommen wiederum bei besonders komplexen Lichtberechnungen (z.B. von Lichtinterflexionen) an ihren zeitlichen Limits. Hybride Programmier Techniken können

hier Abhilfe schaffen. Die Verwendung hochentwickelter wissenschaftlicher Expertensysteme spart Programmieraufwand und reduziert die Entwicklungs- und Entwicklungs- und -ausgabe. Man ist so in der Lage (fast) alle gewünschten Dateiformate zu nutzen. Dies ist besonders zur Übernahme und Weitergabe von Konstruktionsdaten von Bedeutung (Abb. 3). So können die Simulationsschritte exakt und in nächster Anlehnung an die Vorgaben durchgeführt werden. Gleichzeitig werden nachfolgende Schritte mit vorbereitet. Man spart den Aufwand einer Neubearbeitung.

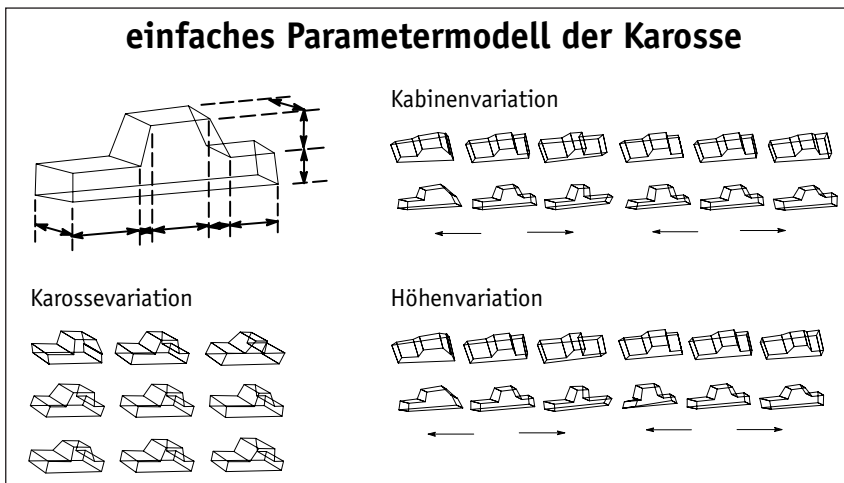


Abb. 2: Ein parametrisiertes Karosseriemodell zum Testen komplexer Beleuchtungs-
algorithmen

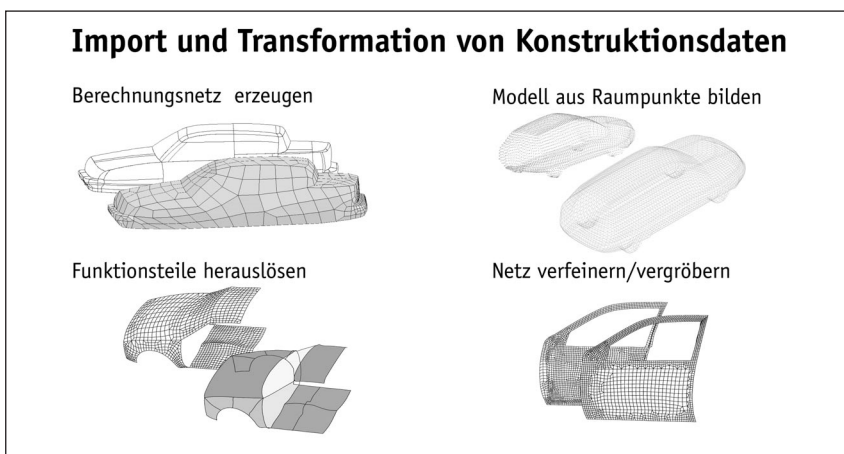


Abb. 3: Die Verfügbarkeit komplexer Konstruktionsdaten ist eine wichtige Voraussetzung
für erfolgreiche Beleuchtungssimulation

5. Schlußbemerkungen

Die über die Jahre angesammelte Erfahrung liefert eine gute Basis für weitere Entwicklung neuer Lösungsansätze und für die Realisierung innovativer, technischer Sonderbeleuchtungsanlagen. Durch eine präziseren Dimensionierung schon in der Entwurfsphase sind diese Anlagen kosteneffektiver bei einer gleichzeitigen Qualitätssteigerung derer Wirkung. Zusätzliche Kostenvorteile entstehen durch die Vermeidung von Fehlfunktionen oder Anlagenausfälle. Dies ist besonders für solche lebenswichtige Bereiche wie die Trinkwasseraufbereitung und die Kfz-Qualitätsüberprüfung gleichermaßen enorm wichtig. An einer verstärkten Automatisierung der Rückkopplung von meßtechnischen Zwischenergebnissen in die Beleuchtungsberechnung wird momentan gearbeitet. Noch sind die Auswertemöglichkeiten der orts aufgelösten Leuchtdichtebilder nicht annähernd erschöpft. Neue Modellansätze für spätere Simulationen deuten sich an. Bisher können ausschließlich Materialien mit einer diffusen Reflexionscharakteristik berücksichtigt werden. Spiegelnd reflektierende Materialien können nur im Sinne einer simplen Strahlenverfolgung, aber ohne genaue photometrische Relevanz in die Betrachtung eingebracht werden. Die meßtechnischen Möglichkeiten im UV- bzw. im IR-Spektralbereich müssen weiter ausgebaut werden. Die praktische Verfügbarkeit von geeigneten Strahlungsquellen und besonders Leuchten ist oft ein schwer zu lösendes Problem.

Literatur

- /1/ Bass, M.:
Handbook Of Optics, Volume 1. Optical Society of America, 1995
- /2/ Handbuch für Beleuchtung. Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft (SLG), ecomed, 1992, Teil I - 4.10
- /3/ Jordanow, W.; Jordanowa, S.: Problemanalyse und Lösungsansätze für spezielle technische Beleuchtungsaufgaben. Lux Junior '99, 4. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuchs, Dörfeld/Ilm, 1999, S.178-182
- /4/ Bogatew, K.: Handbuch für Beleuchtung, Band I. Verlag Technika, Sofia, 1977
- /5/ DIN 5031 Teil 10. Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik. Größen, Formel- und Kurzzeichen für photobiologisch wirksame Strahlung.
- /6/ DIN 75 220. Alterung von Kfz-Bauteilen in Sonnensimulationsanlagen.

Beziehung zwischen Fassadenfarbe und Farbverschmutzung

Rengin Ünver, Leyla Dokuzer Öztürk

1. Einleitung

Die Siedlungsanordnung der Gebäude und ihre architektonischen Charaktere in einer Stadt sind hauptsächlich entscheidend dafür, ob die Stadt oder Stadtteile positiven Eindruck erwecken und große Anziehungskraft ausüben. Die Elemente, sowie Funktion, Form, Dimension, Material, Farbe bestimmen den architektonischen Charakter eines Gebäudes und ein Gebäude wird ein hervorragendes Produkt, wenn man von der Wirkungskraft all dieser Elemente Nutzen ziehen kann. Ein Gebäude wird nach seinem Entwurf von zuständigen Behörden einem Kontrollprozeß unterworfen. Jedoch bei diesem Kontrollprozeß bringen die Gesetze keine ernsthafte Begrenzung hinsichtlich der Planung, Fassadenbildung und Fassadenfarbenanordnung. Solange die Farbgebung der Fassaden ohne eine bestimmte Kontrolle verwirklicht wird, ist es nicht zu vermeiden, daß in Siedlungen, Städten eine Verschmutzung hinsichtlich des farbigen Anblicks oder in wenigen Worten „Farbverschmutzung“ entsteht, was als eine wichtige Umweltverschmutzung bezeichnet werden kann.

Zur Vorbeugung der Farbverschmutzung sollen bestimmte Farbanordnungsregeln in Acht genommen und eine Vorschrift vorbereitet werden, die die Farbanwendungen der Kontrolle unterzieht. Um zur Vorbereitung solch einer Vorschrift beizutragen, ist mit einem Forschungsprojekt (Projekt Nr.: 99-03-01.02) angefangen worden, das von der Forschungsgründung der Technischen Universität Yıldız finanziell unterstützt wird. Dieses Projekt heißt, „Grundprinzipien zur Farbgestaltung der Gebäudefassaden in Massensiedlungen und Vorschläge“. Der Zweck dieser Arbeit ist, „die Bekanntgebung des Bereichs von diesem Projekt und der bisher angelangten Ergebnisse“.

2. Erläuterung des Projekts

Die Farben der Objekte und Flächen werden durch drei Elemente, sowie Farbton, Helligkeit und Sättigung bezeichnet. Die Wirkung der Farben von Flächen in einer visuellen Umgebung kann hinsichtlich der Kontraste zwischen den drei Farbelementen variieren. Um eindrucksvolle und ästhetische Erscheinungen in Farbkompositionen hervorbringen zu können, sollen die Kontraste zwischen den Farbelementen in einer bestimmten Anordnung sein.

In dem oben erwähnten Projekt, das zu dem Zweck gerichtet ist, Richtlinien zur Farbgestaltung der Gebäudefassaden herzustellen, ist auch die Untersuchung

Assoc. Prof. Dr. Rengin Ünver,
Assis. Prof. Dr. Leyla Dokuzer Öztürk
Technische Universität Yıldız,
Fakultät für Architektur, Lehrstuhl für Bauphysik, 80 750
Beşiktaş, TR-Istanbul

und Bewertung der farblichen Gestaltungen bei manchen Massensiedlungen in Istanbul geplant. Die Stufen des Projekts sind wie folgend bestimmt worden:

1. Bestimmung der quantitativen Werte und Grenzwerte der Kontraste von Farbton, Helligkeit und Sättigung nach dem Rechenverfahren für Leuchtdichtekontrast anhand des Munsell-Systems.
2. Erläuterung der Farbkontrastanordnungen anhand des Munsell-Systems.
3. Bestimmung der Daten für Einzelgebäude – Massensiedlung, die bei der Auswählung der Farbkontrastanordnung berücksichtigt werden sollen.
4. Herstellung der hinweisenden Regeln zur Auswählung der Farbkontrastanordnung gemäß den bestimmten Daten in der Stufe 3 und zur Vervollständigung der Farbgestaltung.
5. Erzeugung der Bewertungskriterien für den Farbwurf der Gebäudefassaden.
6. Untersuchung der angewandten Farben bei den Massensiedlungen, die im Hinblick auf die Zahl der Gebäude und Bewohner, das Einkommen der Bewohner u.ä. ausgewählt sind, gemäß den in der Stufe 5 angegebenen Bewertungskriterien.
7. Veranstaltung einer Rundfrage zur Bestimmung der Gedanken von Bewohnern und Farbentwerfern über die Farbgestaltungen.
8. Bewertung der Untersuchungs- und Rundfrageergebnisse.

3. Die vollendeten Stufen des Projekts

Die betreffenden Arbeiten in den ersten fünf Stufen des Projekts wurden bisher beendet und die Arbeiten in den Stufen 6 bis 8 werden fortgesetzt. In den unteren Abschnitten sind die Kenntnisse über die vollendeten Stufen angegeben.

3.1 Bestimmung der Kontraste und die Grenzen der Kontraste bei den Farbelementen

Nach der Grundgleichung des Kontrastes $[(L_1-L_2)/L_1]$, die Kontrastgrenzen variieren quantitativ zwischen 1 und 0. „1“ zeigt den maximalen Zustand, wo der Kontrast am stärksten ist und „0“ zeigt den minimalen Zustand, wo der Kontrast am schwächsten ist. Bei dem Maximum-Kontrast erhält man die kräftigsten Wirkungen. In dieser Arbeit wurde der Kontrast bei den Farbelementen anhand der erwähnten Kontrastgleichung für die Farbbezeichnung im Munsell-System berechnet. Die Wirkung der berechneten Kontrastwerte anhand der subjektiven Bewertung ist für „1 bis 0,7“ hoch; für „0,7 bis 0,35“ mittelmäßig; für „0,35 bis 0“ niedrig bestimmt worden. Verschiedene Zustände berechneter Kontraste sind unten kurz erläutert.

- Maximum-Kontrast (1) entsteht:
 - Für Farbton: Zwischen den Komplementärfarben, wo der Farbtonunterschied 50 ist. z.B. rot (5R) und grün-blau (5BG); gelb (5Y) und blau-violett (5PB)
 - Für Helligkeit: Zwischen schwarz (0) und weiss (10).
 - Für Sättigung: Zwischen grau (0) und dem gesättigsten Zustand der benutzten Farbe.
- Minimum-Kontrast (0) entsteht, wenn zwischen den benutzten Farben hinsichtlich Farbton, Helligkeit und Sättigung kein Unterschied ist.

- Es ist offensichtlich, daß zwischen diesen Grenzzuständen je nach den benutzten Farben zahlreiche Kontraste entstehen können.
 - Für Farbton: z.B. zwischen rot (5R) und grün (5G) ist der Kontrastwert 0.8.
 - Für Helligkeit: z.B. zwischen 4 und 8 ist der Kontrastwert 0.4.
 - Für Sättigung: z.B. zwischen 2 und 16 ist der Kontrastwert, unter der Bedingung, daß der gesättigste Zustand der Farbe 20 beträgt, 0.7.

3.2 Farbkontrastanordnungen

In einer visuellen Umgebung können die drei Farbelemente in sehr unterschiedlichen Kompositionen vorkommen, weil sie voneinander unabhängig verschiedene Werte haben können. Diese Kompositionen, mit anderen Worten Farbkontrastanordnungen, rufen verschiedene Eindrücke hervor hinsichtlich der Zahl, Größe der Kontraste und Verteilung dieser im Gesichtsfeld. Die Kompositionen, in denen alle drei Farbelemente sich wahllos verändern, sind natürliche Farbanordnungen, die man jeden Tag in der Umgebung sieht und deswegen als gewöhnlich empfindet. Für die Erschaffung einer bestimmten Bedeutung und Wirkung sollte man Farbanordnungen herstellen, in denen weniger Farbelemente sich in einem bestimmten System verändern. Im allgemeinen können zwei Hauptgruppen für die, im Alltag ungewöhnlichen, Farbanordnungen unterschieden werden. Die Eigenschaften dieser Anordnungen von Farben auf einer Ebene sind in Tabelle 1 angegeben. Andererseits, es können auch Farbanordnungen

Farbkontrastanordnung		Eigenschaften der Farbelemente		
		Farbton (Kontrast)	Helligkeit (Kontrast)	Sättigung (Kontrast)
Einfache Kontrastanordnung	Anordnung des Farbtonkontrastes (5R-5/5; 10G-5/5)	veränderlich 5R, 10G (0.9)	konstant 5 (0)	konstant 5 (0)
	Anordnung des Helligkeitskontrastes (5R-2/6; 5R-8/6)	konstant 5 (0)	veränderlich 2, 8 (0.6)	konstant 6 (0)
	Anordnung des Sättigungskontrastes (5R-5/1; 5R-5/10)	konstant 5 (0)	konstant 5 (0)	veränderlich 1, 10 (0.9)
Binäre Kontrastanordnung	Anordnung der gleichen Farbtönen (5R-2/2; 5R-5/10)	konstant 5 (0)	veränderlich 2, 5 (0.3)	veränderlich 2, 10 (0.9)
	Anordnung der gleichen Helligkeiten (5R-5/2; 10G-5/5)	veränderlich 5R, 10G (0.9)	konstant 5 (0.9)	veränderlich 2, 5 (0.3)
	Anordnung der gleichen Sättigungen (5R-2/6; 5YR-9/6)	veränderlich 5R, 5 YR (0.2)	veränderlich 2, 9 (0.7)	konstant 6 (0)

Tabelle 1: Eigenschaften der Farbkontrastanordnungen, Beispiele für Munsell-System und für Kontrastwerte

gen hergestellt werden, die den in Tabelle 1 zu sehenden Anordnungen ähnlich sind. Die ähnlichen Anordnungen tragen die Eigenschaften der Anordnung, der sie ähnlich sind und haben fast die gleiche Wirkung. Zum Beispiel, die Anordnung, in der großer Kontrast im Farbton, kleine Kontraste in Helligkeit und Sättigung vorhanden sind, wird als „ähnliche Anordnung zum Farbtonkontrast“ bezeichnet. Anhand des Munsell-Systems können die Farbanordnungen gekennzeichnet und die möglichen Kontraste berechnet werden. In Tabelle 1 sind neben den Eigenschaften dieser Farbanordnungen auch Beispiele für Munsell-System und Kontrastwerte zusammengestellt.

3.3 Hauptdaten für den Farbentwurf und die Farbentwurfsphasen

Die Farbgestaltung einer Fassade soll im Prinzip neben der Architektur des Gebäudes auch den verschiedenen Eigenschaften der Umgebung angemessen sein. Aus diesem Grunde sollen die Eigenschaften des Gebäudes und der Umgebung vor dem Farbentwurf gründlich studiert werden. Die zu untersuchende Daten in bezug auf die Eigenschaften des Gebäudes und der Umgebung können wie folgend zusammengestellt werden.

a) Eigenschaften der Umgebung:

- natürliche Umgebung
 - Klima,
 - Wasserelemente (Meer, Fluß, Wasserkanäle u.a.)
 - grüne Elemente (Wald, Garten, Baumgruppen u.a.)
 - topographische Bedingungen des Geländes (eben, geneigt u.a.)
- künstliche Umgebung
 - ferne Umgebung,
 - Siedlung außerhalb der Stadt (offenes Land, Gebäude mit fernem Abstand)
 - Siedlung in der Stadt (historischer Bezirk, neuer Bezirk u.a.)
 - Gebäude in der nahen Umgebung
 - Lage (angrenzend, getrennt u.a.)
 - Dimension und Form

b) Eigenschaften des Gebäudes:

- Funktion (Krankenhaus, Schule, Wohnhaus u.a.)
- Dimension und Form
 - Dimension und Typ auf dem Plan (klein, groß; Quadrat, Rechteck, Kreis u.a.)
 - Höhe (viele Etagen, wenige Etagen u.a.)
- Fassaden
 - Charakter (ohne Fenster, eben, uneben u.a.)
 - Material (Beton, Ziegel u.a.)
 - Richtung

im Maßstab von Siedlung	im Maßstab von Gebäude
1) Beziehung zwischen Siedlung und Umgebung Angemessenheit der Farbkontrasten der natürlichen und künstlichen Umgebung.	4) Beziehung zwischen Gebäude und Gebäudegruppe Angemessenheit der Farbe des Gebäudes hinsichtlich seiner Lage in der Gebäudegruppe.
2) Beziehung zwischen Siedlung und Gebäudegruppen 2.1. Angemessenheit der Farbkontrasten zwischen den Gebäudegruppen (Gruppierung der Gebäuden nach ihrer Farbe). 2.2. Angemessenheit der Farbe von Gebäudegruppen hinsichtlich ihrer Lage (Anblick aus der Umgebung).	5) Beziehung zwischen Gebäude und Fassade 2.1. Angemessenheit der Farbkontrasten auf der Fassade. 2.2. Angemessenheit der Größen der verschiedenfarbigen Flächen auf der Fassade.

Tabelle 2: Kriterien der Bewertung von Farbentwurf

Für den Farbentwurf eines Einzelgebäudes ist es genügend, die oben stehenden Daten festzustellen. Für den Farbentwurf bei Massensiedlungen werden noch weitere Daten benötigt, da die Gebäude in einer Massensiedlung im allgemeinen ähnliche Eigenschaften aufweisen. Deswegen, bei einer Massensiedlung sollen zu den zu untersuchenden Eigenschaften,

- Siedlungsplan,
- Anblick der Siedlung aus den umgrenzenden Wegen, addiert werden.

Andererseits, damit eine Farbgestaltung einen positiven Eindruck erweckt, sollen auf den Fassaden Farbton, Helligkeit und Sättigungskontraste in einer bestimmten Anordnung benutzt werden. In dieser Arbeit sind die Stufen der Farbgestaltung bei einer Massensiedlung wie unten bestimmt worden:

1. Untersuchung der Daten in bezug auf die natürliche und künstliche Umgebung bei einer Massensiedlung.
2. Bestimmung der verwendbaren Farbkontrastanordnungen im Maßstab der Siedlung unter Berücksichtigung der untersuchten Daten.
3. Auswahl der passenden Farbkontrastanordnung zwischen den verwendbaren Farbkontrastanordnungen für die Massensiedlung und Bestimmung der Kontrastwerte für die gewählte Farbanordnung.
4. Untersuchung der Daten hinsichtlich der Umgebung und des Gebäudes einzeln für jedes Gebäude in der Massensiedlung.
5. Bestimmung der angemessenen Farbkontrastanordnung für jedes Gebäude in der Siedlung und Herstellung der Kontrastwerte für die gewählte Farbanordnung.
6. Studieren der Flächen – Elemente – in der Fassade jedes Gebäudes, auf die die ausgewählte Farbkontrastanordnung angewendet wird.

Reihe No	Name des Siedlungs	Errichtet im Jahr	Fläche der Siedlung (ha)	Zahl der Gebäuden	Zahl der Wohnungen	Fläche der Wohnungen (m ²)	Einkommen der Bewohner
1	Bahçelievler Konutları	1994	1.7	13	400	80; 100; 150	mittelmäßig
2	Bağak Kon. Kağıthane (1. Etap)	1997	11.3	30	1274	68; 80; 101; 120	mittelmäßig
3	Bağakbehir Ykitelli (1. Etap)	1996	47.3	79	3004	70; 80; 101; 120	mittelmäßig
4	Bahçebehir Pelale Evleri	1998	18.2	17	1033	130; 150	hoch

Tabelle: Eigenschaften der untersuchten Massensiedlungen

3.4 Bewertungskriterien für den Farbentwurf

In dieser Phase des Projekts wurden die Hauptkriterien für die Untersuchung und Bewertung des Farbentwurfs bei einer Massensiedlung hergestellt. Die Bewertung der Farbanordnung soll in zwei Stufen durchgeführt werden. In der ersten Stufe sollen die Kontrastwerte der Farbanordnungen berechnet, in der zweiten Stufe soll die Angemessenheit der angewandten Farbkontraste zu Eigenschaften der Massensiedlung kontrolliert werden. Zu diesem Zweck bestimmte Bewertungskriterien sind vereinfacht in Tabelle 2 angegeben. Nach der Größe des

Reihe No	Im Maßstab der Siedlung		Im Maßstab des Gebäudes			Bewertungnote	
	Durchführung	Farbanordnung	Beziehung (*) zwischen Siedlung und Gebäudegruppen	Element des Gebäudes	Durchführung		Farbanordnung
1	Munsell-System Symbole für Gebäudegruppen (Ft-Hk/S)	ähnliche Anordnung zum Farbtonkontrast	9	Mauer	Munsell-System Symbole (Ft-Hk/S)	ähnliche Anordnung zur gleichen Farbtönen	12
	5B-8-5/1			-9/2			
	5PB-8/2			-5/4			
	7.5RP-8/2			-9,5/0,5			
2		ähnliche Anordnung zum Farbtonkontrast	8	Balkon		ähnliche Anordnung zur gleichen Farbtönen	11
				Eingang	-4/11		
				Abschlußleiste des Geländers	-4/11		
				Mauer	-6/(4-0)		
3		ähnliche Anordnung zum Farbtonkontrast	8	Balkongeländer		ähnliche Anordnung zur gleichen Farbtönen	9
				Wand hinter dem Balkon	-8/4; -6/4		
				Eingang	-9/2		
				Abschlußleiste des Geländers	-5/0		
4		ähnliche Anordnung zum Farbtonkontrast	8	Mauer		ähnliche Anordnung zur gleichen Farbtönen	11
				Balkongeländer	-8/4		
				Wand hinter dem Balkon	-9,5/1		
				Eingang	-6/0		
4		ähnliche Anordnung zum Farbtonkontrast	8	Abschlußleiste des Geländers	-6/0	ähnliche Anordnung zur gleichen Farbtönen	11
				Mauer	-5/4		
				Balkongeländer	-9/2		
				Wand hinter dem Balkon	-9/2		
4		ähnliche Anordnung zum Farbtonkontrast	8	Eingang	5R-4/12; N-9/0	ähnliche Anordnung zur gleichen Farbtönen	11
				Abschlußleiste des Geländers	-5/5		

Tabelle 4: Bewertungsergebnisse der Farbanordnungen der untersuchten Massensiedlungen

Unterschieds zwischen den angewandten Farbkontrasten und den notwendigen Kontrasten, die eine bedeutungsvolle Farbanordnung haben sollen, wurde die Bewertung der in Tabelle 2 angegebenen Kriterien mit Noten durchgeführt. Es wurde für „sehr gut“ 5, „gut“ 4, „mittelmäßig“ 3, „schwach“ 2 und für „schlecht“ 1 bestimmt. Somit wurde 15 als die höchste Zahl für den Maßstab der Siedlung und 15 als die höchste Zahl für den Maßstab des Gebäudes (insgesamt 30) bestimmt.

4. Die anderen Stufen des Projekts und Ergebnisse

Die Untersuchung der Farbgestaltung bei manchen Massensiedlungen in Istanbul hinsichtlich der bestimmten Kriterien und die Durchführung der Rundfrage zur Bestimmung der Gedanken von Bewohnern und Farbentwerfern werden fortgesetzt. Die Eigenschaften der vier ausgewählten Siedlungen zwischen den untersuchten Massensiedlungen sind in Tabelle 3 und die Bewertungsergebnisse sind in Tabelle 4 angegeben. Wie auch aus der Tabelle 4 ersichtlich ist, können die Farbanordnungen der untersuchten Massensiedlungen im Maßstab der Siedlung und des Gebäudes im allgemeinen als gut bewertet werden.

LITERATUR

- Lancaster, M., Colourspace, Academy Editions, Maryland, 1996.
- Lenclos, J., P., Lenclos, D., Couleurs de Monde, Groupe Moniteur, Paris 1999.
- Lenclos, J., P., Lenclos, D., Couleurs de L'Europe, Groupe Moniteur, Paris 1996.
- Luke, J.T., The Munsell Color System A Language For Color, Fairchild Publications, New York, 1996.
- Nicerson, D., Bond, M. E., Color Order Systems, Munsell and Oswald Color System, JOSA, Vol. 34, pp. 361-381, 1944.
- Minah, G., The Role of Colour in the City, Architectural Design No: 120, pp. 11-17, 1996.
- Moughtin, C., Oc, T., Tiesdell, S., Colour in the City, Architectural Design No: 120, pp. 18-21, 1996.
- Sirel, Ş., Kuramsal Renk Bilgisi, Kutulmu Ş. Basymevi, Istanbul, 1974.
- Ünver, R., The Contrast and The Contrast Arrangements in Color Perception, Oslo International Colour Conference 1998, Oslo, Norway, 8-11 Oktober 1998.
- Ünver, R., Öztürk, L. D., Suggestions on The Facade Colour Arrangements, AIC Mid-term Meeting, Central Office of Measures, Warsaw, Poland, pp. 359-370, 22-23 Juni 1999.
- Ünver, R., Öztürk, L. D., Yapy Yüzü Renkleri ve Renk Kirliliği Yılışkisi, Türkiye' de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III, GYTE, Kocaeli, 18-19 November 1999.
- Ünver, R., Renkte Karşıtlık ve Renk Karşıtlık Düzenleri, Renk Semineri, YTÜ Sanat ve Tasarım Fakültesi, 6 März 2000.

Die Licht Akademie

Ein Forum für das Wissen vom Licht

Daniel Hoffmann, Karin Schwenzner

1997 wurde die Licht Akademie ins Leben gerufen. Angehörige verschiedener Berufsfelder, die mit Licht zu tun haben (Architekten, Innenarchitekten, Künstler, Lichtplaner, Physiker und Informatiker), haben ein Forum gegründet, auf dem Vor- und Querdenker zusammentreffen und gemeinsam neue Entwicklungen initiieren können. Die Licht Akademie ist eine offene Organisation zum Mitmachen und Mitreden. Sie pflegt nationale und internationale Kontakte zu Fachleuten aus allen Bereichen des Lichts, seiner Erforschung, Gestaltung und Nutzung.

Der Licht Akademie geht es um einen grundlegenden Wandel in unserer Betrachtungsweise des Themas „Licht und Mensch“. Licht ist nicht nur einer von vielen Umweltfaktoren, sondern eine wesentliche Einflußgröße für Gesundheit und Wohlbefinden des Menschen. Die Schlüsselfrage: „Welches Licht brauchen wir, um gesund zu sein und uns wohl zu fühlen?“ weist uns den Weg zu einem ganzheitlichen Verständnis des Lichts.

Bei dem Begriff der Ganzheitlichkeit geht es der Licht Akademie um folgendes: Das Gegenteil von Ganzheitlichkeit ist Einseitigkeit. Einseitiges Denken sieht nur einen Teil des Ganzen und vergißt den Rest. Einseitiges Denken bedingt einseitiges Handeln und beides zusammen hat meist zur Folge, daß sich Nebenwirkungen einstellen, die man weder gewünscht noch vorhergesehen hat.

Ganzheitlich denken bedeutet, sich des Umstands bewußt zu sein, daß lebende Systeme, wie z.B. der Mensch, hochgradig komplex sind und entsprechend unvorhersehbar auf äußere Einflüsse reagieren können. Solche Systeme sind im allgemeinen komplexer, als unsere Modelle davon. Es ist daher sinnvoll, möglichst viele Modelle zu integrieren, um jede Information zu nutzen, die verfügbar ist.

Die Licht Akademie geht davon aus, daß alle Berufsgruppen, die sich mit Licht beschäftigen, etwas interessantes zum Thema Licht zu sagen haben: Ob Lichttechniker oder Architekt, Künstler, Designer, Mediziner oder Farbtherapeut, sie alle können dazu beitragen ein vielschichtiges Wissen aufzubauen. Auch die Auseinandersetzung mit Denkweisen und Praktiken in verschiedenen Kulturen kann helfen, eigene Vorstellungen und Gewohnheiten zu überprüfen und zu klären.

Daniel Hoffmann
Karin Schwenzner
Licht Akademie e.V.
Bötzingen Str. 31
D-79111 Freiburg

Wenn wir auf der Grundlage eines solchen tiefen und vielschichtigen Verständnisses des Lichts unser Lebensumfeld gestalten, können wir unsere Lebensqualität deutlich verbessern.

Die Licht Akademie wurde gegründet für alle, die noch viel mehr über Licht lernen möchten, als sie bereits wissen. Sie sind eingeladen, mit uns gemeinsam neue Wege zu gehen, Wissen auszutauschen und weiterzuentwickeln. Wir freuen uns darauf Sie kennenzulernen!

Begründung zur Einführung des Studienganges Architectural Lighting Design

Thomas Römhild / Stephanie Bast

1. Begründung zur Einführung des Studienganges

1.1 Bedeutung

Da Licht ein integraler Bestandteil der Architektur und Innenarchitektur ist, bringt der Umgang mit diesem Element nicht nur technische, sondern auch gestalterische Anforderungen mit sich.

Um ihnen gleichermaßen gerecht zu werden, ist es unumgänglich, die Lichtplanung weder ausschließlich Elektrotechnikern, noch Architekten oder Innenarchitekten zu überlassen, sondern dieses neue Arbeitsfeld von speziell ausgebildeten Lichtplanern bearbeiten zu lassen.

Bisher wird dieses Arbeitsfeld von „Lichtinteressierten“ der einen oder anderen Fachrichtung ausgefüllt, die im Selbststudium und in der Praxis die erforderlichen Zusatzkenntnisse erworben haben. Häufig wird eine Lichtplanung auch ausschließlich aus einem Blickwinkel mit den entsprechenden Qualitätseinbußen durchgeführt.

Licht soll nicht nur ermöglichen, zu sehen und funktional richtige Lebens- und Arbeitsbedingungen zu schaffen, sondern soll auch helfen, die Umwelt in ihrer räumlichen Qualität zu erkennen und die soziokulturelle Situation richtig einzuschätzen, das heißt die richtige Atmosphäre in einem Raum zu schaffen.

Die Etablierung des Lichtplaners als international anerkannter Beruf erfordert eine Weiterentwicklung und Qualifizierung der Ausbildung, die sich aus o.g. Gründen für Absolventen der Studiengänge Elektrotechnik und Architektur, Innenarchitektur, Design oder verwandten Fachbereichen besonders anbietet.

1.2 Inhalte

Die Ausbildung zum Lichtplaner muß sich mit beiden Komponenten, sowohl der Tageslichtplanung, als auch Kunstlichtplanung beschäftigen.

Die Gestaltung mit Kunstlicht scheint zuerst einmal nur technischen Zwängen, aber keinen gestalterischen Regeln zu unterliegen. In der Verbindung mit der Architektur muß das Licht aber sowohl die dingliche, formale Realität der

Gebäude, wie auch die funktionale, soziale Realität der jeweiligen Räume richtig beschreiben. Auch in der Lichtplanung ergibt sich erst aus dem Zusammenspiel von Form und Funktion eine harmonische Gestaltung. Im Gegensatz zum Theater, dem großen Experimentierfeld der Lichtgestaltung, ist Architektur immer eine mit den fünf Sinnen erlebte, benutzte und überprüfbare Wirklichkeit. Hieraus ergibt sich, daß eine besondere Ausbildung im Bereich der Architekturbeleuchtung notwendig ist.

Bei der Planung mit Tageslicht wird, neben der ausreichende Dimensionierung von Fenstern und Oberlichtern, die Frage der architektonischen Gestaltung und die Auswirkungen auf den Energiehaushalt des Gebäudes zu einem wichtigen Thema der Ausbildung. Der Einsatz von Tageslicht zur Synchronisation des natürlichen Lichtrhythmus und zum Sichtkontakt nach außen, wird in der Architektur immer stärker in den Vordergrund gestellt, um auch den emotionalen Bedürfnissen der Menschen gerecht zu werden.

In zusammenhängender Betrachtung von Gebäuden und Licht beschäftigt sich der Lichtplaner nicht nur mit physikalischen Bewertungsmaßstäben für gute Lichtqualität, sondern bezieht Ansprüche mit ein, die für das Wohlbefinden und die individuelle Wahrnehmung der Menschen entscheidend sind.

1.3 Berufsfeld/Arbeitsmöglichkeiten

Der Lichtplaner unterstützt Architekten und Elektroingenieure bei der Erbringung ihrer Planungsleistung, indem sie das Gebiet der Lichtgestaltung bis hin zur Leuchtenauswahl als eigenständige Planungsleistung anbieten. Obwohl der Beruf noch in der HOAI enthalten ist, läßt sich das Arbeitsfeld dort finden.

Arbeitsmöglichkeiten liegen im Bereich der Leuchtenindustrie, die Lichtplanungen als Serviceleistung ihren Kunden anbieten, aber auch in eigenen spezialisierten Planungsbüros. Nach Einschätzung von Vertretern aus diesen Bereichen werden die Arbeitsmöglichkeiten für ausgebildete Lichtplaner als außerordentlich gut eingeschätzt.

1.4 Begründung zur Einrichtung des gemeinsamen Studienganges „Architectural Lighting Design“ an der Hochschule Wismar/Fachbereich Architektur und der Polytechnik Tampere

Aus den in Punkt 1.1 bis 1.3 genannten Gründen wird die Notwendigkeit, Ausbildungsmöglichkeiten zum Lichtplaner anzubieten, deutlich.

Bei der Entwicklung eines Ausbildungsganges im Berufsfeld „Architectural Lighting Design“ ist es erforderlich, Fachleute unterschiedlicher Qualifikation, bezogen auf ihr Ausbildungsprofil einzubeziehen. Dadurch sollte ein Ausbildungsbereich entstehen, der Platz für innovative Entwicklungsrichtungen in der Forschung und Lehre bietet. Dies sollte sich in einer offenen Berufsfelddiskussion niederschlagen.

An der Polytechnik Tampere in Finnland besteht die Möglichkeit, eine Ausbildung zum Lichtplaner mit dem Schwerpunkt Bühnenbild (Theater- und Musikbühnen) zu absolvieren.

An der Hochschule Wismar bestehen Studienmöglichkeiten zum Innenarchitekten, Produktdesigner, Elektroingenieur und Architekten.

Angegliedert an den Fachbereich Architektur, können durch interdisziplinäre Zusammenarbeit der oben genannten Fachbereiche und auch Gebiete aus den Fachbereichen Maschinenbau, Informatik, Multi-Mediatechnik oder Betriebswirtschaft effiziente, neuartige Lehrangebote entstehen.

Zusammen mit Dozenten der Polytechnic Tampere bilden die Lehrkörper der o. g. Fachbereiche die grundlegenden personellen Voraussetzungen für den Aufbau eines gemeinsamen Studienganges.

Dieser gemeinsame Studiengang wird mit einem „Master of Arts im Bereich Architectural Lighting Design“ der Hochschule Wismar oder beider Hochschulen abschließen.

Das Lehrpersonal ist zum größten Teil in der Lage, die Lehrveranstaltungen in englischer Sprache anzubieten, die Lehrveranstaltungen in Tampere werden in Englisch abgehalten.

Der im Herbst 2000 fertiggestellte Neubau für die Fachbereiche Architektur und Design/Innenarchitektur bietet optimale materielle und räumliche Voraussetzungen für die grundlegende sowie fachspezifische Ausbildung.

Von besonderer Bedeutung ist das Lichtlabor, das mit einer Größe von 80 m² und einer Raumhöhe von 9 m das einzige Beispiel einer solchen Einrichtung innerhalb einer deutschen FH ist.

Möglichkeiten, die das Lichtlabor bietet, liegen in der Simulation von sehr vielen Beleuchtungssituationen im Maßstab 1:1. Außerdem können die entscheidenden wahrnehmungsbeeinflussenden Komponenten anschaulich dargestellt werden.

Das Lichtlabor kann zu einem 120 m² großen Fotoatelier hin geöffnet werden, womit der Gestaltungsspielraum noch einmal gesteigert werden kann.

Im Lichtlabor wird ein Tageslichtsimulator installiert werden, der es erlaubt, den bedeckten Himmel und sämtliche Sonnenstände zu simulieren, um die Gestaltungsmöglichkeiten mit Tageslicht am Modell ausprobieren zu können und das Wahrnehmungsvermögen der Studierenden zu trainieren.

Im Bereich Elektrotechnik existiert ein Buslabor, in dem die Möglichkeiten moderner Installationstechnik geübt werden können.

In Tampere gibt es weitere Labore aus den Bereichen des bestehenden Studienganges Bühnenlichtausbildung an der Polytechnic Tampere, in denen der gestalterische Aspekt der Lichtplanung geübt werden kann. Dadurch erweitern sich

die Studier-, Lern-, Experimentier- und Forschungsmöglichkeiten der Studierenden und Lehrenden.

Als großer Vorteil kann die Zusammenlegung der gestaltenden Fachbereiche der Hochschule Wismar in einem Neubau gesehen werden – die bislang räumlich voneinander getrennt waren – sowie die neuen Räumlichkeiten, die Vorlesungssäle, Werkstätten und Labore.

Der Erweiterungsbau der Hochschulbibliothek wird voraussichtlich noch im Frühjahr 2000 fertiggestellt und auch eine neue Mensa hebt ab 2002 die Attraktivität der Hochschule.

Die vorhandenen Ressourcen der beiden beteiligten Hochschulen ermöglichen einen hochqualifizierten gemeinsamen Studiengang. Bei den beiden Hochschulen handelt es sich um Institutionen annähernd gleicher Größenordnung, die sich beim Aufbau des Studienganges hervorragend ergänzen werden.

1.5 Die Nordeuropäische Bauakademie

Mit den beschriebenen Anliegen würde die Entwicklung des Studienganges „Architectural Lighting Design“ erste Schritte bei dem parallel geplanten Aufbau einer Nordeuropäischen Bauakademie leisten.

Deren Konzeption, Synergieeffekte durch das Zusammenführen von Lehrinhalten, unterschiedlichen Erfahrungen und Möglichkeiten der Lehrkörper verschiedener Hochschulen zu erzielen, erleichtert den Aufbau des neuen Studienganges und ermöglicht, andere staatliche und private Einrichtungen in die Weiterführung des Studienganges einzubeziehen. Beispielsweise könnten die Leuchtenherstellern direkt in die Finanzierung des Studienganges eingebunden werden.

2. Entwurf einer Studienordnung

2.1 Allgemeines

2.1.1 Geltungsbereich

Diese Studienordnung regelt das Studium für den Studiengang Architectural Lighting Design an der Hochschule Wismar und der Polytechnic Tampere.

2.1.2 Studienbeginn

Das Studium beginnt jeweils zum Wintersemester.

2.1.3 Studienvoraussetzung

Voraussetzung für die Zulassung zum Studiengang „Architectural Lighting Design“ ist das Diplom FH oder der Bachelorabschluss in den Bereichen Elektrotechnik, Design, Innenarchitektur und/oder Architektur.

Die erforderlichen Englischkenntnisse sind durch das Bestehen einer Englischprüfung nachzuweisen.

2.1.4 Studiendauer

Die Regelstudienzeit beträgt vier Semester.

Sie umfaßt die theoretischen Studiensemester und die Prüfungen, einschließlich der Abschlußarbeit (Masterthesis).

Zwei der vier Semester sind an einer ausländischen Hochschule zu absolvieren, mit der die Hochschule eine entsprechende Vereinbarung hat.

Dieser Studienabschnitt ist integraler Bestandteil des Studiums und in das Curriculum eingebaut.

2.1.5 Ziele

Ziel des Studiums ist der Studienabschluß als „Master of Arts“ (Lighting Design)

Basierend auf wahrnehmungspsychologischen bzw. -physiologischen Grundlagen sollen die Studierenden eine gestalterisch-planerische Kompetenz unter Einbeziehung elektro- und lichttechnischer Kenntnisse erhalten.

Ihnen soll so bei der Tages- und Kunstlichtgestaltung im Bereich der Architektur eine berufsqualifizierende Ausbildung im Berufsfeld des Lichtdesigns ermöglicht werden.

Architektur und Licht – Lichtsymbolik

Thomas Römhild

Licht, das in Verbindung mit Architektur als adäquat empfunden wird, muss sowohl die dingliche, skulpturale Gegebenheit der Gebäude, wie auch die funktionale und soziale Realität der jeweiligen Räume richtig beschreiben. Analysiert man die Literatur und das Regelwerk zur künstlichen Beleuchtung, scheint die Gestaltung mit Kunstlicht primär technischen und physiologischen Zwängen zu unterliegen, aber nur wenigen formulierten formalen Regeln. Die Prinzipien, die zu einer als harmonisch empfundenen Lichtgestaltung führen, basieren auf dem Zusammenspiel der Form, d.h. der Materialität der Architektur, und der Funktion, im Sinne der jeweiligen soziokulturellen Situation. Im Gegensatz zum Theater, dem großen Experimentierfeld der Lichtgestaltung, wo sich der Zuschauer bewusst einer häufig ausschließlich vom Licht geprägten Illusion hingeben will, ist Architektur immer eine mit allen fünf Sinnen erlebte und überprüfbare, benutzte Wirklichkeit. Diese durch Licht zu interpretieren, unterliegt einer Vielzahl von gestalterischen Regeln und Abhängigkeiten, die weit über das hinaus gehen, was sich durch das technische Normenwerk fassen lässt, die sprachlich zu formulieren, verständlich zu machen und zu lehren ein weit gestecktes Ziel ist.

1. Licht und Architektur

Le Corbusier bezeichnete vom Tageslicht ausgehend, Architektur als ein „Spiel der Formen im Licht“. Damit wir Architektur wahrnehmen können, muss sie ausreichend beleuchtet, also ins „richtige Licht“ gesetzt werden. Das Tageslicht unterliegt in seiner Vielfältigkeit klaren Gesetzmäßigkeiten, die uns von Kindheit an bekannt sind. Dadurch dass wir die Architektur zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten kennen lernen, entsteht im Laufe der Zeit in unserem Gedächtnis ein immer vollständigeres Bild der Gebäude und ihrer Umgebung, das es uns ermöglicht, ihren Charakter und Materialität auch bei ungünstiger Beleuchtung zu erfassen.

Das Kunstlicht, das nicht an die Gesetzmäßigkeiten der Veränderung des Tageslichtes gebunden ist, ermöglicht eine interpretierende Beleuchtung, die neben der Materialität der Gebäude vor allem ihre soziale Funktion herausstellt. Ändert sich diese, beispielsweise wenn in einem Klassenraum ein Fest gefeiert werden soll, wird die normale künstliche Beleuchtung als unpassend empfunden und verändert.¹ Dadurch kann auch das Bild, das wir von der Form und der Materialität der Architektur haben, in Frage gestellt werden.

2. Tageslicht

Tageslicht ist eine ungeheuer dynamische Lichtquelle. Lichtrichtung, Lichtfarbe und Intensität verändern sich in Abhängigkeit von der geographischen Lage im

Prof. Dr.- Ing. Thomas Römhild
Hochschule Wismar
Philip-Müller-Straße
D-23966 Wismar

Jahreslauf und im Verlauf eines Tages. Unter verschiedenen Wetterbedingungen hat das Licht eine ganz unterschiedliche Qualität. Gerichtetes Sonnenlicht arbeitet Plastizität durch starke Schatten heraus; diffuses Licht lässt die Dinge eher zweidimensional erscheinen. Vom Tageslicht beleuchtete Architektur könnte also als eine dynamische, sich verändernde Architektur erscheinen. Dass dies zumindest in unserer Alltagswahrnehmung nicht so ist, lässt sich aus dem eigenen Erleben leicht überprüfen. Natürlich bekommt der Betrachter, der sich einem Gebäude das erste Mal nähert, einen bestimmten Eindruck von dessen Plastizität, eben den, den er entsprechend der jeweiligen Lichtsituation wahrnehmen kann. Viele Details werden ihm verborgen bleiben, weil sie unzureichend erkennbar sind. Bei einem zweiten und dritten Besuch kann sich das Gebäude soweit verändern, dass sogar das Wiedererkennen Schwierigkeiten machen kann. Trotzdem wird kein Zweifel an der realen Materialität des Gebäudes aufkommen.

2.1 Rhythmen

Da wir es von Kindheit an gewohnt sind, diese vielfältigen Variationen zu abstrahieren und den „Baukörper an sich“ zu erkennen, werden die wahrgenommenen Modifikationen in erster Linie als Anzeichen für die jeweilige Wettersituation interpretiert. In zweiter Linie können sie Assoziationen wachrufen, die mit dem Wetter oder Landschaft, in der man sich befindet, verbunden sind. Obwohl die Architektur völlig anders erscheint, bringen wir diese Veränderungen durch die unterschiedlichen Eigenschaften des Tageslichtes nicht mit dem Charakter und der Bedeutung der Gebäude und ihrer Umgebung in Verbindung.

Obwohl jede Form von Architektur die Dynamik des Tageslichtes braucht, um in ihrer Vielfältigkeit erlebbar zu werden und man ein Gebäude oft zu verschiedenen Zeiten und aus verschiedenen Blickwinkeln anschauen muss, um es in seiner Ganzheit zu erfassen, hat das Tageslicht nur einen sehr begrenzten Einfluss auf das Bild, das wir von unserer Umgebung im Gedächtnis behalten. Orte, die wir häufiger besuchen, nehmen wir trotz unterschiedlicher Beleuchtung mit einer erstaunlichen Konstanz in ihrer Materialität wahr.

Beim Kunstlicht kann diese Wahrnehmungskontinuität nicht vorhanden sein. Mit Kunstlicht kann eine Situation so nachhaltig verändert werden, dass man einem Gebäude veränderte Eigenschaften, in einigen Fällen sogar eine sich ändernde Plastizität zugesteht. Der Turm der Winde von Toyo Ito ist ein wunderbares Beispiel für wirklich dynamische Architektur, die sich in Materialität, ihrem plastischen Ausdruck und sogar auch in ihrer sozialen Bedeutung ändert.

2.2 Wahrnehmungsprozess

Die Kontinuität der Wahrnehmung bei der Belichtung mit Tageslicht resultiert aus dem menschlichen Wahrnehmungsprozess. Unsere Wahrnehmung ist nicht fotografisch; das Bild, das wir sehen, entspricht nicht nur dem momentanen Eindruck, sondern bezieht vorher erhaltene Informationen mit ein. Diese Informationen werden mit den bisher gemachten Erfahrungen verbunden, so dass ein Bild unserer Umwelt entsteht, wie es war, wie es ist und wie es sein wird. Wenn wir beispielsweise ein Auto in zwanzig Metern Entfernung sehen und hören, das es eben noch vierzig Meter entfernt war, werden wir die Gefahr, dass es uns gleich

erreichen wird, erkennen und entsprechend handeln. Die visuellen Eindrücke, die über 80% unserer Wahrnehmung beherrschen, werden dabei von den anderen Sinnen unterstützt. Die Informationen aller Sinne und des Gedächtnisses schaffen uns ein individuelles Bild der Realität. Wenn wie beim Tageslicht die Änderung der Beleuchtung bekannten Gesetzmäßigkeiten unterliegt, brauchen diese Informationen nicht interpretierend in das Bild, das wir uns von der Umgebung machen, mit einbezogen werden.

3. Kunstlicht

Für die Beleuchtung mit Kunstlicht scheint eine solches Regelwerk der Lichtwirkungen, wie der rhythmische, immer wieder kehrende Wechsel der Tages- und Jahreszeiten zu fehlen. Durch die moderne Lichttechnik ist es möglich, Kunstlicht in Richtung und Diffusität, Intensität und Farbe, in Konstanz und Veränderung in einem weitem Rahmen zu gestalten. Der Vielfältigkeit der Beleuchtungsmöglichkeiten scheint keine Grenze gesetzt zu sein. Trotzdem wissen wir aus unserem eigenen Erleben, dass zu einer architektonischen und sozialen Situation nicht jede Beleuchtung als richtig empfunden wird. Wenn man einen Ballsaal wie eine Turnhalle beleuchtet, wird dies nicht der erwarteten festlichen Stimmung entsprechen und auch nicht der Architektur des Raumes gerecht werden. Auf welche gestalterischen Regeln kann man sich bei der Beleuchtung mit Kunstlicht beziehen?

Tageslicht würde, wie oben erläutert, eine neutrale Beleuchtung darstellen, die die architektonische Gestaltung in den Vordergrund rückt. Deshalb ist der Wunsch vieler Architekten, möglichst Tageslicht ähnliche Beleuchtungsformen zu planen, verständlich, da so die Kontinuität der Wahrnehmung der Architektur am besten gewährleistet zu sein scheint. Beispielsweise fordert Frank Lloyd Wright 1954: „Jede künstliche Beleuchtung sollte ebenfalls ein integrierter Teil des Hauses sein – und dem Tageslicht so ähnlich wie möglich werden. Schon 1893 wehrte ich mich gegen die nackte elektrische Birne und habe sie seither immer in der Decke oder Nischen verborgen, und zwar so, dass das Licht aus dem Baukörper selbst kommt, es soll von der gleichen Stelle fließen wie das Tageslicht.“¹² Frank Lloyd Wright akzeptiert die künstliche Beleuchtung als Teil seiner Architektur, gesteht ihr aber keine eigene formale oder interpretierende Konzeption zu. Hier hat Frank Lloyd Wright, wie viele andere Architekten auch, die Möglichkeiten, durch eine richtige künstliche Beleuchtung die soziale Funktion seiner Gebäude zu erhöhen, unterschätzt.

Kunstlicht ist nicht nur ein Medium, das die Architektur erlebbar macht, dadurch dass es Sehen ermöglicht, sondern trägt als veränderbarer Bestandteil der Architektur wesentlich zu ihrer Funktion als Ort für menschliches Handeln bei. Durch Kunstlicht kann die soziokulturelle Bedeutung der Räume und Gebäude unterstützt oder verändert werden.

Künstliches Licht kann Architektur der Funktion, die sie zu erfüllen hat, genauso anpassen, wie die Auswahl der Materialien und Formen, aus der sie dinglich geschaffen wurde. Genauso wie wir gelernt haben die verschiedenen Formen des Tageslichtes unterschiedlichen klimatischen Bedingungen zuzuschreiben,

haben wir gelernt, dass verschiedene soziale Situationen bestimmte Beleuchtungsformen als „richtig“ erscheinen lassen.

Ein gleicher oder ähnlicher Raum kann im Wesentlichen durch Lichteindruck z.B. als ein preiswerter Supermarkt oder als ein höherwertiger Laden, wie etwa eine Parfümerie definiert werden.

Im Supermarkt wird durch die Beleuchtung mit Leuchtstoffröhrenbändern, der Eindruck vermittelt, dass einfache Waren zu einem fairen Preis angeboten werden, gerade so, als würden sie auf einem Markt im Freien direkt vom Erzeuger gehandelt. Die Lichtsituation in der Parfümerie, die zum Beispiel durch kleine Halogenspots und einen großen Kronleuchter geprägt ist, soll sich davon deutlich abheben. Neben der Ware soll hier das Gefühl verkauft werden, sich etwas Gutes zu tun, sich etwas Besonderes zu leisten. Im Philips Lichtzentrum in Eindhoven konnte man vor einigen Jahren recht eindrucksvoll sehen wie Verkaufseinrichtungen und Waren allein durch die Veränderung des Lichtes einen immer höherwertigen Charakter bekamen. In einem nachgestellten Supermarkt werden Waren zuerst mit offenen Leuchtstoffröhren, dann mit Spiegelrasterleuchten und letztlich mit Halogen und Halogen-Metaldampf-Lampen bestückten Reflektorleuchten beleuchtet. Schritt für Schritt entfernt man sich von dem diffusen, gleichmäßigen, Schatten armen Licht eines nebligen Tages über das gerichteteres eines sonnigen Tages zu dem differenzierten Licht einer erkennbar künstlichen, artifiziellen Inszenierung. Lichtrichtung, Lichtfarbe und Schattigkeit verändern sich, aus dem Alltäglichen wird das Besondere.

Um zu verstehen, welche Beleuchtungsformen in welchen Situationen als richtig empfunden werden, ist es hilfreich, natürliche Lichtformen als Bilder zu verwenden, um Beleuchtungsformen, die sich bestimmte für sozialen Situationen über einen längeren Zeitraum entwickeln konnten, beschreiben zu können. In der Literatur lässt sich zeigen, dass die natürlichen Vorbilder immer Ansporn zur Weiterentwicklung der künstlichen Leuchtmittel gewesen sind.

4. Lichtsymbolik

Jahrhunderte lang hatten die Menschen nur die Wahl zwischen dem Licht des Tages und dem des Feuers oder der Flamme. Diese beiden grundsätzlich unterschiedlichen Arten des Lichts waren mit ganz unterschiedlichen Lebenssituationen verbunden. Stark vereinfachend kann man zwischen dem Tageslicht und Tätigkeiten, die rechtschaffen, alltäglich, oft erwerbsbezogen sind, eine Verbindung herstellen. Lauter Verhaltensweisen, die „das Licht des Tages nicht zu scheuen“ brauchen.

Das Licht der Flamme oder des Feuers steht dagegen in Verbindung mit Aktivitäten, die deshalb vorwiegend in der Nacht, ohne Tageslicht stattfinden, weil sie nicht zum Alltag gehören, sondern besonderen, wichtigen, festlichen Anlässen zuzuordnen sind.

In der Entwicklungsgeschichte der künstlichen Leuchtmittel erkennt man, dass die natürlichen Vorbilder, Tageslicht und Licht des Feuers, prägend für die Ent-

stehung neuer Leuchtmittel und Leuchten gewesen sind. Sie sind aber im Laufe der Zivilisationsgeschichte so überformt worden, dass nicht das Tageslicht mit allen seinen vielfältigen Ausdrucksformen, sondern nur bestimmte Eigenschaften bei der Entwicklung künstlicher Lichtquellen im Vordergrund standen und auch bei der Flamme oder dem Feuer sich nur besondere Qualitäten für bestimmte Anwendungen durchsetzen.

Tageslicht

Gleichmäßiges, blendfreies, relativ helles, zuverlässiges künstliches Licht ist überall dort erforderlich, wo eine Fortsetzung der Tagesarbeit unter Beibehaltung der Verhaltensmuster des Tages verlangt wird. Diese Eigenschaften des Tageslichtes finden wir nicht nur als Vorbild für unsere Arbeitsstätten, sondern auch überall dort, wo unser durch die Uhr geregelter Lebensrhythmus von dem natürlichen Tageslichtrhythmus abweicht. Besonders interessant ist, dass diese Beleuchtungsformen überall dort Anwendung finden, wo ein hohes Maß an Sicherheit gewährleistet werden muss. Sicherheitsgefühl entsteht durch Suggestion der Möglichkeit beobachtet werden zu können oder selbst zu beobachten. Dabei kann die Ähnlichkeit mit dem Tageslicht höher bewertet werden als die objektiven Wahrnehmungsmöglichkeiten.

Immer dann, wenn die Funktion der Architektur eine deutliche Unterscheidung vom Gewöhnlichen verlangt, wird die Sonne mit ihren Strahlen und ihrem harten schattigen Licht Vorbild für die künstliche Beleuchtung, bzw. sind die Flammen der Kerzen mit dem aus vielen Lichtpunkten zusammengesetzten Licht und das Feuer mit dem bewegten farbigen Licht zum Leitbild für die entsprechende Lichtstimmung. In der Zivilisationsgeschichte und unserer abendländischen Mythologie lassen sich viele Hinweise auf die Interpretation dieser Lichtinszenierungen finden.⁴

Das gerichtete Sonnenlicht, historisch als Gottessymbol, ist Vorbild für eine Beleuchtung mit starken Schatten, sichtbaren Lichtstrahlen, Betonungen durch Hell-Dunkel-Kontraste, die immer dort Anwendung findet, wo einer sozialen Differenzierung Ausdruck gegeben werden soll.

Das Licht der Flamme einer Kerze symbolisiert das Leben. Eine Beleuchtung, die mit vielen kleinen Lichtpunkten spielt, bringt Festlichkeit und eine gehobene Stimmung zum Ausdruck.

Das Licht des Feuers steht für einen Neuanfang. Farbiges bewegtes Licht wird in Situationen angewandt, die uns aus dem Alltag heraus führen in eine Welt der Freizeit und des Vergnügens.

Diese kurze Charakterisierung wird der Komplexität der Zusammenhänge nur andeutungsweise gerecht. Als Denkanstoß hilft sie aber zu verstehen, dass Kunstlicht in einer regelhaften Form Architektur interpretiert. Ein willkürlicher Einsatz künstlicher Beleuchtung ausschließlich nach den Leitlinien der Technik und Physiologie wird oft zu einem schmerzhaften Auseinanderklaffen von Form und Funktion führen und damit das Kunstlicht nicht zu einer Einheit mit der Architektur verschmelzen lassen.

5. Interventionen im öffentlichen Raum

Anhand von einigen neueren Beispielen möchte ich meine Arbeit in Lehre und Praxis kurz darstellen.

Künstliches Licht erlaubt die Veränderung von Architektur auf Zeit. Aber anders als im Theater, wo wir bereit sind, uns täuschen zu lassen und wir die scheinbare Realität weder prüfen wollen und können, müssen Lichtinszenierungen im realen Leben sich viel direkter mit der Wirklichkeit auseinandersetzen. Künstliches Licht kann aber auch durch Veränderung der Realität dazu beitragen, eine neue wachere Wahrnehmung des Gewohnten zu ermöglichen.

Wir haben uns angewöhnt, einen Außenraum entsprechend unseres Interesses selektiv wahrzunehmen. Je nachdem ob wir als Autofahrer, Einkäufer, Tourist, Passant, etc. den öffentliche Raum erleben, stellt sich die Straße, der Platz, der Stadtraum unterschiedlich dar.

In der kollektiven Wahrnehmung einer Stadt entsteht ein Bild von einem Ort, das relativ fest im kollektiven Bewusstsein verankert ist.

Durch die Arbeit der Architekten wird dieses Bild vom öffentlichen Raum in Frage gestellt. Dieser notwendige Prozess der Erneuerung festgefahrener Sichtweisen kann und sollte durch temporäre Aktionen initiiert werden. Dadurch kann auch eine Planungsabsicht gestützt und eine Projektentwicklung in Gang gesetzt werden.

Durch Anstrahlungen kann diese neue Interpretation des öffentlichen Raumes bewirkt werden.

Bad Doberan:

Zusammen mit internationalen Lichtdesignern und Studenten und der ELDA haben wir im Klosterbereich der Stadt Bad Doberan temporäre Lichtinszenierungen entwickelt, die den hohen kulturhistorischen Stellenwert, die verborgenen baulichen und ideellen Schätze dieser Anlage, wie auch die schmerzhaften Veränderungen und Brüche herausgearbeitet haben. Dadurch soll die dringend erforderliche Entwicklung des Ensembles, ohne seinen Genius Loci zu verletzen, vorangetrieben werden, um den Ort für Bevölkerung, Kultur, religiöse Aktivitäten und Besucher attraktiv zu machen. Die Besucher haben bestätigt, dass die neue Wahrnehmung des Altvertrauten, einer der wichtigsten Eindrücke an dieser Arbeit war.

Stralsund:

Die Aufgabe, eine Beleuchtungskonzeption für das nächtliche Stralsund zu finden, war faszinierend und herausfordernd zugleich. Das Bild der nächtlichen Stadt ist für die Identifikation der Bürger und Gäste mit dem Ort ein entscheidendes Merkmal. Häufig ist es dieses Bild, das sich den Besuchern einprägt und den Bürgern neue Anreize gibt, sich mit ihrer Stadt auseinander zu setzen und intensiver zu nutzen.

Nächtliche Beleuchtung der kulturhistorisch wichtigsten Punkte muss in erster Linie benutzbare Räume und erkennbare Bezüge zum „wahren“ Bild der Stadt zum Ziel haben.

Nicht die romantische Kulisse oder das Hinweisen mit erhobenem „Lichtfinger“ auf das „Wichtige“ soll durch die abendliche Beleuchtung erreicht werden, sondern ein Wiedererkennen der Stadt in ihrer veränderten abendlichen Bedeutung.

Der erste realisierte Abschnitt soll die Beleuchtung am Hafen sein, die die helle tageslichtähnliche Beleuchtung einer industrialisierten Zone mit der zeichenhaften Herausarbeitung der Sehenswürdigkeiten im Sinne der Aufwertung durch Lichtstrahlen verbinden soll.

- ¹ Die Tagesbelichtung wäre in diesem Fall weniger als störend empfunden worden und andere Festdekorationen hätten den Wechsel der sozialen Situation dokumentiert.
- ² Wright, Frank Lloyd, Das natürliche Haus, München 1954
- ³ Frank Lloyd Wright zeigt allerdings an vielen Stellen seines Werkes, dass er sehr wohl mit dem Kunstlicht gestaltend umzugehen versteht.
- ⁴ Vergl.: Römhild, Thomas; Kunstlicht, Künstliche Beleuchtung interpretiert als Symbolsystem; Frankfurt, 1992

Anwendung von Lichtdemonstrationen – nicht nur in der Aus- und Weiterbildung

Dirk Seifert

1. Demonstrationen heute noch?

Zur Veranschaulichung von Themen der Lichtenwendung in der Praxis wird gern auf lichttechnische Demonstrationsmöglichkeiten und optische Experimente zurückgegriffen. Nicht immer ist die Visualisierung mittels Projektionstechniken bzw. am Bildschirm angebracht. Das Licht soll visuell erlebbar werden. Besonders bei beruflicher Aus- und Weiterbildung, in Ausstellungen zu ergonomischen Themen, ja sogar bei der Bühnenbeleuchtung, der Architekturinszenierung oder auch bei der Produktpräsentation in Ausstellungs- und Schulungsräumen der Beleuchtungsindustrie werden oft besondere Lichteffekte eingesetzt.

Dabei ergibt sich die Frage: wie kann man kostengünstig verschiedene Güte-merkmale der Beleuchtung veranschaulichen, ohne unbedingt für jede Demonstration ein 1:1 Modell zu bauen? In der Vergangenheit wurden mit unterschiedlichem Erfolg Modelle und optische Demonstrationsobjekte gefertigt – teilweise von Herstellern, teilweise in Labor- und Einzelfertigung durch interessierte Anwender. Aufgrund von Anfragen von Anwendern wie Hochschulen und Fachhochschulen, Berufsgenossenschaften, Herstellern, Großhändlern sowie auch für den Eigenbedarf in den Lichtstudios Halle und Frechen wurden deshalb



Bild 1: Der neue Seminarraum im Lichtstudio Halle mit in der Decke integrierten Lichtsystemen

Dipl.-Ing. Dirk Seifert
VEW Eurotest GmbH
ZNL Lichtstudio Halle
Bornknechstr. 5
D-06108 Halle

Untersuchungen zu realisierbaren lichttechnischen Demonstrationen durchgeführt. Im Rahmen dieser Arbeiten sind bereits verschiedene Projekte mit unterschiedlichen Zielstellungen realisiert worden. Mit einigen wenigen Beispielen sollen die Anwendungsvarianten lichttechnischer Demonstrationen gezeigt werden.

2. Eingebaute feste Demonstrationen

Zur Darstellung von Raumwirkungen des Lichtes eignen sich Installationen in realen Räumen. Hier können Güteigenschaften wie Helligkeitsverteilung, Beleuchtungsstärke oder auch die Wirkung von Ausstrahlungscharakteristiken besonders effektiv gezeigt werden. Bei durchdachter Anordnung unterschiedlicher Beleuchtungstechnik werden so in einem Raum differenzierte Lichtwirkungen demonstriert.



Bild 2: Demonstrationsraum im Bildungszentrum der Fleischerei Berufsgenossenschaft Reinhardtbrunn (Thüringen) mit Ein- und Anbauleuchten für verschiedene Demonstrationen

Lichttechnisch optische Demonstrationen und Effekte bis hin zu optischen Täuschungen werden, wie schon erwähnt, in anderen Bereichen genutzt: so bei der Lichtinszenierung auf Bühnen, der Gestaltung von Erlebnisbereichen in Event- und Freizeitparks, der gezielten Architekturgestaltung oder auch in Ausstellungen/Museen. Ein Beispiel ist die Deutsche Arbeitsschutzausstellung in Dortmund, DASA, in der optische Effekte bei der Darstellung von Inhalten und bei der Besucherführung unterstützend wirken.

3. Mobile Demonstrationen

Zur Darstellung von lichttechnischen Güteigenschaften wie Lichtfarbe und Farbwiedergabe, Lichtrichtung und Schatten, Kontrast eignen sich modellhafte mobile Demonstrationen hervorragend. Die Anwendung mobiler Demonstrationen bleibt in der Regel auf die Aus- und Weiterbildung sowie die Vertriebsunterstützung im Fachgroßhandeln und bei Herstellern beschränkt. In Form von Demonstrationsmodulen werden Varianten zur Lichtdemonstration für spezielle lichttechnische Demonstrationsaufgaben entwickelt und gefertigt. Diese Module

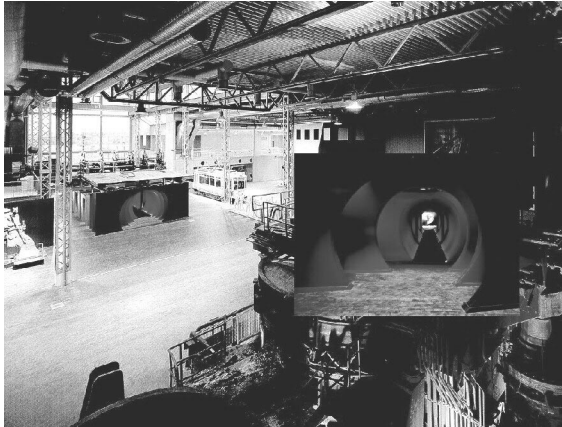


Bild 3: Deutsche Arbeitsschutzausstellung DASA Dortmund, Ausstellungsbereich „Hörgang“

werden in der Regel mit weiteren Elementen wie Sonderleuchten, Zubehörteilen für optische Experimente z.B. an Projektoren usw. ergänzt.

4. Zu den Beispielen

Je nach Aufgabe und Nutzeranforderung entstehen so individuelle Lösungen für Lichtdemonstrationen. Kurz einige Erläuterungen zu den dargestellten Beispielen:

Beispiel 1 - Das Aus- und Fortbildungszentrum der Fleischerei-Berufsgenossenschaft (FBG) in Reinhardsbrunn/Friedrichroda (Thüringen):

Aufgabe ist es hier, die Prävention durch berufsgenossenschaftliche Aus- und Fortbildung im Gesundheits- und Arbeitsschutz besonders für Fleischereifachbetriebe durchzuführen. Im Bildungsbereich wurde als Weltneuheit im Theken- und Ladenbau ein kompletter Fleischerladen im Maßstab 1:1 mit Wurstküche und Vorbereitung nach den neuesten ergonomischen Gesichtspunkten eingebaut. Ein gesonderter Schulungs- und Demonstrationsraum ermöglicht unter anderem die Darstellung und Erläuterung verschiedener Gütemerkmale der Beleuchtung. Zusätzliche mobile Demonstrationsanlagen, welche vom Lichtstudio Halle entwickelt und gefertigt wurden, erweitern die Demonstrationsmöglichkeiten zum Thema Lichtenwendung im Fleischereifachbetrieb. (siehe auch Bild 2 und 6)

Beispiel 2 - Das neue Lichtstudio Halle:

Die Demonstrationstechnik in den neuen Räumen des Lichtstudio's Halle wurde neu gestaltet. Hierbei sind neben der Darstellung von Beleuchtungen im Maßstab 1:1 (z.B. unterschiedliche Bürobeleuchtungen, Licht und Raum in der Architektur) auch Möglichkeiten von Demonstrationen wie Farbwiedergabe, Kontrast, Lichtrichtung und Schatten sowie weiteren lichttechnischen Gütemerkmalen bis hin zur Darstellung von Steuerungssystemen gegeben. Es wurden unter anderem Demonstrationsboxen angefertigt, die teilweise mit traditionellen Lösungen,



Bild 4 und 5: Demonstrationsmodule im Lichtstudio Halle (Ansichten)

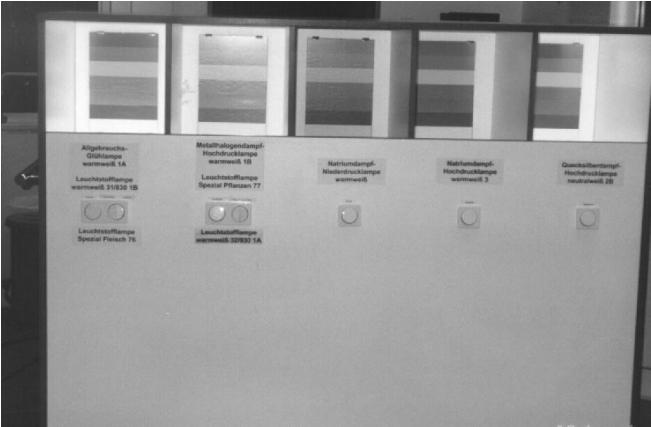


Bild 6: Demonstrationsmodul Lichtfarbe/Farbwiedergabe bei der FBG

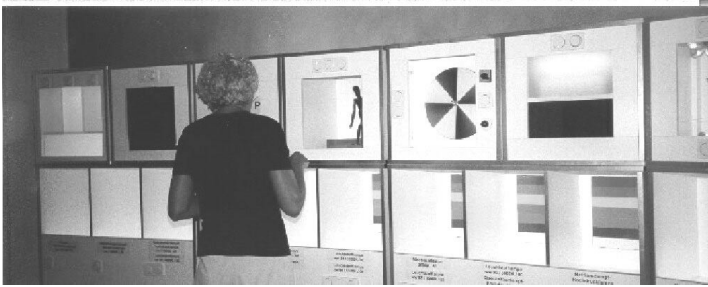


Bild 7: Mobile Demonstrationen im Lichtstudio Halle

teilweise mit neuen Ansätzen die Demonstration von Eigenschaften des Lichtes ermöglichen (siehe auch Bilder 1, 4, 5, 7).

Beispiel 3 - Deutsche Arbeitsschutzausstellung DASA:

In dieser sich immerzu wandelnden Ausstellung werden Arbeitsbedingungen von Gestern und Heute veranschaulicht. Licht hat hier unter anderem die Rolle der optischen Führung durch die Ausstellung übernommen, dient aber auch der Darstellung von positiven bzw. negativen Arbeitsbedingungen (siehe auch Bild 3).

5. Anwendung und Aufruf zum Lichtexperiment

Mit Demonstrationen und Experimenten sind Licht- und Beleuchtung in Ihrem Einfluß auf das visuelle Erleben darstellbar. Mit diesem Kurzbeitrag soll die Diskussion zum Thema angeregt werden. Gleichzeitig sind wir am Erfahrungsaustausch interessiert. Die großen Vorteile der praktischen Anwendung von Modelldarstellungen zur Güte des Lichtes für Aus- und Weiterbildung sowie die Nutzung von experimentellen lichttechnischen Demonstrationen bei unterschiedlichsten Anwendungen liegen im realen Erlebnis Licht. Im Zeitalter der Medien- und Videotechnik ein wichtiger Fakt, da dreidimensionales Sehen und reales Farbsehen anders erlebt werden als das eingeschränkt farbige flächige Sehen bei Bildprojektionen bzw. am Bildschirm. In der Architekturgestaltung wird neuerdings die „lichttechnische Erlebniswelt“ mit Farbe, Lichtdynamik bei temporären Veränderungen, Lichtrichtungen und Schatten nicht immer vorteilhaft erweitert. Ein bewußter Umgang mit dem richtigen Licht bei der dazu passenden Schaufgabe kann durch Demonstrationen vermittelt werden. Das spielerische Experiment an Modellen bzw. auch 1:1 am Objekt / im Raum bei Beleuchtungs- und Anstrahlungsproben ermöglicht einen für praktische Lichtenwendungen effektiv nutzbaren Erkenntnisgewinn. Wir sollten also das Lichtexperiment nicht scheuen.

CEN, ISO, CIE – auf dem Weg von nationaler Regelsetzung zur internationalen lichttechnischen Normung

Michael Seidl

1. Nationale Regelsetzung und nationale Mitarbeit auf europäischer und internationaler Ebene

Die Normung der Lichtanwendung und der Photometrie war in der Vergangenheit – von wenigen internationalen Vereinbarungen über lichttechnische Grundlagen abgesehen – eine nationale Angelegenheit und wurde in Deutschland vom Fachnormenausschuß Lichttechnik (FNL) im Deutschen Normenausschuss (DNA) betrieben. In den 30er Jahren erfolgte die Veröffentlichung erster lichttechnischer Anwendungsnormen wie etwa DIN 5035 „Leitsätze für die Beleuchtung mit künstlichem Licht“ (November 1935).

Hieran änderte sich bis Anfang der 80er Jahre grundsätzlich wenig, allerdings erweiterte und vertiefte sich die Normung, nun im Normenausschuss Lichttechnik (FNL) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., wesentlich und der Gesamtbestand der vom FNL verantworteten Normen nahm auf mehr als 100 zu.

Die europäischen Einigungsbestrebungen, der damit einhergehende Ausbau der europäischen Normungskomitees und die zunehmenden lichttechnischen Normungsaktivitäten fachfremder Gremien lenkten danach die Aufmerksamkeit auf die europäische und weltweite Ebene, eine Harmonisierung der unterschiedlichen nationalen lichttechnischen Normen in Europa rückte in den Mittelpunkt des Interesses und die Formulierung deutscher Beiträge und Standpunkte zur Europäischen Normung bildeten den neuen Schwerpunkt der Arbeitsgremien des FNL, die nun als Spiegelgremien zu den entsprechenden europäischen und internationalen Gremien tätig wurden.

Heute, nach der Veröffentlichung erster europäischer und internationaler lichttechnischer Anwendungsnormen und angesichts der bevorstehenden Fertigstellung weiterer, stellt sich eine neue Aufgabe für die Arbeitsgremien des FNL: die Anpassung des nationalen Normenwerks an den fortschreitenden Stand der europäischen und internationalen Normung – d.h. Zurückziehung nationaler Normen, Neuveröffentlichung der europäisch und international nicht geregelten Gesichtspunkte als „Restnorm“ und die Erarbeitung von Ergänzungen und Präzisierungen zu den Arbeitsergebnissen von CEN und CIE/ISO.

Dr.-Ing. Michael Seidl
Normenausschuss Lichttechnik (FNL) im
DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
D-10772 Berlin

2. Europäisches Komitee für Normung (CEN) und Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung CEN/CENELEC

Das Europäische Komitee für Normung (CEN) und das Europäische Komitee für elektrotechnische Normung (CENELEC) entstanden Anfang der 60er Jahre als Vereinigung der nationalen Normungsorganisationen und der Elektrotechnischen Komitees Europas mit Sitz in Brüssel. Ihr Ziel ist es, ein einheitliches und modernes Normenwerk für den europäischen Binnenmarkt zu schaffen.

Europäische Normen orientieren sich an den Normen der Internationalen Normungsorganisation (ISO) und der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC). Es werden jedoch auch spezifisch Europäische Normen erarbeitet, wenn die internationalen Normungsorganisationen noch keine geeigneten Arbeitsergebnisse vorlegen können oder wenn spezifisch europäische Gegebenheiten dies erforderlich machen.

Die Normungsarbeit von CEN/CENELEC wird in Technischen Komitees (TC) sowie deren Unterkomitees (SC) und Arbeitsgruppen (WG) geleistet, die jeweiligen Sekretariate werden einem Mitglied übertragen. Jedes Mitglied hat das Recht, durch eine Delegation mitzuarbeiten. Nationale Firmen, Verbände oder Einzelpersonen, die Normen benötigen oder anwenden wollen, können Ihre Interessen in der Europäischen Normung über nationale Spiegelgremien einbringen, eine unmittelbare Mitarbeit in den Arbeitsgremien hingegen ist ihnen nicht möglich.

Von einer Sonderregelung für die Nicht-EG-Länder Schweiz und Tschechien abgesehen sind alle Mitglieder von CEN/CENELEC verpflichtet, Europäische Normen, die in einem Abstimmungsverfahren mit gewichteten Stimmen die erforderliche Zustimmung erreicht haben, in ihr nationales Normenwerk zu übernehmen und nationale Normen mit entgegenstehenden Inhalten zurückzuziehen. Für alle Anderen hingegen ist die Anwendung der Normen freiwillig, es sei denn, sie werden durch Dritte (z.B. Behörden, Aufsichtsorgane) hierzu verpflichtet oder sind selbst solche Verpflichtungen (z.B. in Verträgen) eingegangen.

3. CEN/TC 169 – Licht und Beleuchtung

In Ermangelung Internationaler Normen zur Lichttechnik, die zur Übernahme als Europäische Normen geeignet gewesen wären, konstituierte sich 1989 auf der Basis eines deutschen Antrages das CEN/TC 169. Das Sekretariat wurde an das DIN vergeben und wird dort seitdem vom FNL betreut.

Im CEN/TC 169 erarbeiten 9 Arbeitsgruppen Europäische Normen zur lichttechnischen Terminologie, zur Lichtenwendung und zur Photometrie:

CEN/TC 169/WG 1	Allgemeine Begriffe und Gütemerkmale – Definitionen
CEN/TC 169/WG 2	Arbeitsstättenbeleuchtung
CEN/TC 169/WG 3	Sicherheitsbeleuchtung in Gebäuden
CEN/TC 169/WG 4	Sportstättenbeleuchtung
CEN/TC 169/WG 5	Straßenbeleuchtung
CEN/TC 169/WG 6	Tunnelbeleuchtung

CEN/TC 169/WG 7	Photometrische Daten von Leuchten
CEN/TC 169/WG 8	Photobiologie
CEN/TC 169/TC 226/JWG	Straßenbeleuchtung (gemeinsame Arbeitsgruppe mit CEN/TC 226 Straßenausstattung)

Als Arbeitsergebnisse liegen vor die Normen:

DIN EN 1837:1999-03	Sicherheit von Maschinen – Maschinenintegrierte Beleuchtung
DIN EN 1838:1999-07	Angewandte Lichttechnik – Notbeleuchtung /1/
DIN EN 12193:1999-11	Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung

sowie die Norm-Entwürfe:

E DIN EN 12464:1998-10	Angewandte Lichttechnik – Beleuchtung von Arbeitsstätten /2/
E DIN EN 12665:1997-03	Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung
E DIN EN 13032-1:1998-01	Angewandte Lichttechnik – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten – Teil 1: Messung
E DIN EN 13201-1:1998-07	Straßenbeleuchtung – Teil 1: Auswahl der Beleuchtungsklassen /3/
E DIN EN 13201-2:1998-07	Straßenbeleuchtung – Teil 2: Güteermkmale /3/
E DIN EN 13201-3:1998-07	Straßenbeleuchtung – Teil 3: Berechnung der Güteermkmale /3/
E DIN EN 13201-4:1998-07	Straßenbeleuchtung – Teil 4: Methoden zur Messung der Güteermkmale von Straßenbeleuchtungsanlagen /3/

Daneben finden sich im Arbeitsprogramm von CEN/TC 169 derzeit noch folgenden Themen:

- Erarbeitung eines Technischen Berichtes zur Tunnelbeleuchtung;
- Erarbeitung von Normen zur Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten für spezielle Beleuchtungsanwendungen;
- Erarbeitung von 3 Normen zur Messung und Bewertung der Strahlung an Arbeitsplätzen in Innenräumen;
- Erarbeitung von 3 Normen zur Beleuchtung von Kanälen und Schleusen, von ein- und mehrstöckigen Parkhäusern und von Unterführungen für Fußgänger und/oder Radfahrer.

4. CIE – Internationale Beleuchtungskommission

Die Internationale Beleuchtungskommission, nach ihrem französischen Titel mit CIE abgekürzt, ist als technisch-wissenschaftliche Organisation die internationale Vertretung der Lichttechnik, die hier im weiteren Sinne für den Gesamtbereich der optischen Strahlung verstanden wird. Sie veranstaltet Symposien und Tagungen, erarbeitet Technische Berichte und Normen, sowohl die Grundlagen betreffend als auch für spezifische Anwendungsfälle, veröffentlicht diese und kooperiert mit anderen internationalen Organisationen.

Mitglieder der CIE sind Nationale Komitees, daneben besteht für Einzelpersonen, Unternehmen, Verbände usw. die Möglichkeit, der CIE direkt als Assoziiertes oder als Förderndes Mitglied beizutreten. Deutschland wird in der CIE durch das Deutsche Nationale Komitee (DNK) der CIE vertreten, dem ein Vorsitzender vorsteht und das durch einen Lenkungsausschuß unter Einschluß der Vorsitzenden der einschlägigen nationalen Institutionen geleitet wird.

Die Facharbeit der CIE erfolgt in 7 Divisionen, denen 7 nationale Gremien als Spiegelausschüsse zugeordnet sind, die jeweils einen stimmberechtigten Vertreter in diese Divisionen entsenden:

- Div. 1 Sehen und Farbe (Nationales Spiegelgremium: DfwG)
- Div. 2 Physikalische Messung von Licht und Strahlung (Natl. Spiegelgremium: FNL 3)
- Div. 3 Innenraum und Beleuchtungsentwurf (Natl. Spiegelgremium: FNL 4)
- Div. 4 Beleuchtung und Signale für den Verkehr (Natl. Spiegelgremium: FNL 11)
- Div. 5 Außenbeleuchtung und andere Lichtenwendungen (Natl. Spiegelgremium: FNL 11)
- Div. 6 Photobiologie und Photochemie (Natl. Spiegelgremium: FNL 7)
- Div. 8 Bildverarbeitung (Natl. Spiegelgremium: DfwG)

Die fachliche Arbeit wird von Technischen Komitees (TC) geleistet, die von den Divisionen für eine bestimmte Aufgabe eingesetzt und danach wieder aufgelöst werden. Alle Nationalen Komitees können einen bevollmächtigten Vertreter in diese TCs entsenden.

Die CIE, die in der Vergangenheit ausschließlich technisch-wissenschaftliche Berichte veröffentlichte, hat in den letzten Jahren erkannt, dass sie erheblich an Bedeutung verlieren würde, wenn sie die Erarbeitung internationaler Normen anderen Organisationen überlassen würde, und hat deshalb diesem Tätigkeitsfeld einen gleichberechtigten Stellenwert zugewiesen. 6 Internationale Normen sind bereits gemeinsam mit ISO und IEC veröffentlicht worden, zahlreiche weitere befinden sich in Erarbeitung bzw. sind als Entwurf veröffentlicht und stehen vor der Fertigstellung.

5. Zusammenarbeit zwischen CEN und CIE

Ausgangspunkt der Arbeitsaufnahme von CEN/TC 169 war die erklärte Absicht, wo immer möglich Arbeitsergebnisse der CIE als Ausgangspunkt für die eigene Arbeit zu verwenden, d.h. auf CIE-Publikationen und -Normen zu verweisen und – soweit erforderlich – aus diesen auch ganze Textpassagen zu übernehmen. Hierbei stieß man jedoch sehr bald auf Urheberrechtsprobleme – es wurde notwendig, ein formelles Kooperationsabkommen zwischen CEN und CIE auszuhandeln, das 1999 in Warschau unterzeichnet wurde.

Darin verpflichten sich beide Seiten

- sich gegenseitig über alle Fragen gemeinsamen Interesses zu unterrichten sowie Informationen über Arbeitsprogramme und Ergebnisse auszutauschen,

- Arbeitsüberschneidungen oder Normungsbedarf gemeinsam zu diskutieren,
- sich gegenseitig das Recht zur Teilnahme an Sitzungen einzuräumen,
- die teilweise oder vollständige Erstellung einer Norm einem Kooperationspartner bei Bedarf allein zu übertragen und selbst nicht aktiv zu werden,
- der Übernahme von Texten im Umfang von bis zu 5% des Gesamtumfangs aus Veröffentlichungen des Kooperationspartners zuzustimmen, vorausgesetzt es erfolgt eine Information und die Übernahme wird im Vorwort deutlich genacht und
- bei der beabsichtigten Übernahme von Texten im Umfang von mehr als 5% des Gesamtumfangs aus Veröffentlichungen des Kooperationspartners zusätzlich dessen Genehmigung einzuholen.

Das Kooperationsabkommen wurde erst vor einem Jahr unterzeichnet, ein ernsthafter Test der Tragfähigkeit der Vereinbarung steht noch aus. Es ist zu wünschen, dass beide Seiten zum gegenseitigen Nutzen vielfältigen Gebrauch von den aufgezeigten Wegen der Zusammenarbeit machen, denn es schadet der CIE, wenn ihre Arbeitsergebnisse wegen abweichender Europäischer Normen in Europa bedeutungslos bleiben, und es schadet Europa, sich mit eigenen Normen vom Rest der Welt abzukoppeln.

6. ISO – Internationale Organisation für Normung

ISO, die Internationale Organisation für Normung, setzt sich zusammen aus den Normungsorganisationen von fast 120 Staaten aus allen Teilen der Welt, die grundsätzlich gleichberechtigt – d.h. 1 Land = 1 Stimme – zusammenarbeiten. Wie auch in der europäischen Normung wird die Normungsarbeit in Technischen Komitees (TC), Unterkomitees (SC) und Arbeitsgruppen (WG) geleistet, deren Sekretariat jeweils einem Mitglied übertragen wird und in die die Mitglieder ihre Delegationen entsenden.

Dabei wird unterschieden zwischen einer aktiven Mitgliedschaft (P-Member) mit der Verpflichtung zur Teilnahme an Sitzungen und Abstimmungen und einer beobachtenden Mitgliedschaft (O-Member), mit dem Recht, nicht aber der Verpflichtung hierzu. 30.000 ehrenamtliche Mitarbeiter aus den nationalen Delegationen haben bis heute in derzeit 2.867 Arbeitsgremien 12.500 ISO-Normen mit 356.427 Seiten erarbeitet. Arbeitssprachen der ISO sind Englisch, Französisch und Russisch.

Im Gegensatz zu CEN/CENELEC sind ISO-Mitglieder nicht verpflichtet, Internationale Normen in ihr nationales Normenwerk zu übernehmen und Normen mit entgegenstehenden Inhalten zurückzuziehen.

Lichttechnische Normung wird heute bei der ISO kaum betrieben. Einige Normen oder Normungsvorhaben finden sich bei ISO/TC 159 „Ergonomie“, so z.B. der Norm-Entwurf DIN EN ISO 9241-6:1998-07 „Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 6: Leitsätze für die Arbeitsumgebung“ /4/, bei ISO/TC 22 „Straßenfahrzeuge“ mit der „Brüsseler Arbeitsgruppe“ für Produkte und Meßverfahren für die Automobilbeleuchtung oder bei

ISO/TC 106 „Zahnheilkunde“ mit DIN EN ISO 9680 „Zahnärztliche Ausrüstung – Zahnärztliche Behandlungsleuchte“.

Gesondert zu erwähnen, da unter Sekretariatsführung des FNL, ist ISO/TC 145/SC 2/WG 3 „Sicherheitsleitsysteme“, wo ISO/CD 16069 „Sicherheitsleitsysteme“ bearbeitet wird.

7. IEC – Internationale Elektrotechnische Kommission

IEC, die Internationale Elektrotechnische Kommission, ist die weltweite Organisation für die Normung auf dem Gebiet der Elektrotechnik und Elektronik sowie der benachbarten Gebiete. Organisation und Arbeitsweise der IEC entsprechend weitgehend denen der ISO. Mitglied sind die Nationalen Komitees von mehr als 50 Ländern, darunter alle Industrie- und viele Entwicklungsländer. Der Bestand der IEC umfasste am 31.12.1999 4.428 Internationale Normen (IEC-Publikationen).

Die Normung der elektrischen und mechanischen Eigenschaften von elektrischen Lampen, Sockeln und Fassungen, Start- und Vorschaltgeräten sowie Leuchten ist Aufgabe des IEC/TC 34 „Lampen und Zubehör“ mit seinen Unterkomitees SC 34a „Lampen“, SC 34b „Sockel und Fassungen“, SC 34c „Betriebsgeräte für Lampen“ und SC 34d „Leuchten“. Die Arbeit von IEC/TC 34 wird in Deutschland nicht vom FNL, sondern vom Komitee 521 „Leuchten, Lampen und Zubehör“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) gespiegelt.

Weitere Normungsvorhaben mit Bezug zur Lichttechnik finden sich z.B. im Arbeitsprogramm von IEC/TC 62 C „Elektromedizinische Ausrüstung“ bei der Normung von speziellen Anforderungen für OP- und Untersuchungsleuchten, bei IEC/TC 61 „Sicherheit von Haushalt- und vergleichbaren Geräten“ bei der Normung der Sicherheit von UV- und IR-Bestrahlungsgeräten oder bei IEC/TC 76 „Laser-Ausrüstung“ bei der Normung der Sicherheitsaspekte von Lasern.

8. Zusammenarbeit zwischen CIE, ISO und IEC

Die IEC wurde 1906 gegründet, die CIE entstand 1913 und die ISO nahm 1947 ihre Arbeit auf. Da sich alle drei Organisationen unter anderem die Ausarbeitung Internationaler Normen zum Ziel setzten, sollte man annehmen, dass – was die Lichttechnik angeht – schon früh der Bedarf an einer Vereinbarung über die Arbeitsteilung deutlich wurde. Doch die Praxis sprach zunächst dagegen: die IEC beschränkte sich auf die Normung der lichttechnischen Produkte, die ISO widmete sich der Automobilbeleuchtung und der Rest wurde der CIE überlassen.

Die Lage spitzte sich erst in den 80er Jahren zu, als einzelne Gremien der ISO (u.a. auf dem Gebiet des Bauwesens, der Ergonomie, der Informationsverarbeitung, der Medizin, der Optik) und der IEC damit begannen, ihre Arbeitsprogramme in den wechselseitigen Zuständigkeitsbereich und in den der CIE hinein auszuweiten.

Zwei Lösungswege wurden aufgezeigt: die Gründung eines Technischen Komitees „Licht und Beleuchtung“ innerhalb der ISO mit einer sehr starken Bindung

an die CIE, oder der Abschluß einer Kooperationsvereinbarung zwischen CIE und ISO, sofern möglich unter Einschluß der IEC. Die CIE entschied sich nach längerer Diskussion für die zweite Alternative und nach mehrmonatigen Verhandlungen wurde 1986 ein Memorandum of Understanding zwischen CIE, ISO und IEC unterzeichnet, dem 1992 noch eine detailliertere Vereinbarung zwischen CIE und IEC folgte, in der die IEC die CIE als Normungsorganisation anerkannte, deren Arbeitsergebnisse entweder direkt übernommen und als IEC/CIE-Normen veröffentlicht werden, oder mit der gemeinsam Normen erarbeitet werden können.

Im gleichen Sinne hatte der ISO-Rat bereits 1989 die CIE anerkannt und damit den Weg eröffnet für die Übernahme von CIE-Normen im Schnellverfahren, bei dem in einer Abstimmung die Zustimmung von 75% aller teilnehmenden ISO-Mitglieder ausreicht, um die Normen als ISO/IEC-Normen zu veröffentlichen.

Die Erarbeitung von Normen im internationalen Konsens ist zeitaufwendig, besonders, wenn solche Normen erstmals entstehen. Dies dürfte ursächlich dafür sein, daß heute, 14 Jahre nach Abschluß der Kooperationsvereinbarung, nicht mehr als 6 Internationale Normen auf diesem Wege entstanden sind:

ISO/CIE 10526:1999	CIE Normlichtarten für die Farbmessung (zweite Ausgabe)
ISO/CIE 10527:1991	Farbmetrische Normalbeobachter
ISO/CIE 15469:1996	Räumliche Verteilung des Tageslichts - CIE bedeckter Himmel und klarer Himmel
ISO/CIE 16508:1999	Straßenverkehrslichtzeichen – Photometrische Eigenschaften von runden Signalleuchten mit 200 mm Durchmesser
ISO/CIE 17166:1999	Erythemale Referenzwirkungsfunktion und standardisierte Erythemdosis
IEC/CIE 50 (845):1987	Internationales Wörterbuch der Lichttechnik

Zwei weitere Normen sind als Entwurf veröffentlicht und stehen vor der Fertigstellung:

CIE DS 004.4:1998	Farben von Signallichtern (1998)
CIE DS 008.2:2000	Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen (2000)

In Bearbeitung sind daneben u.a. Normen über die Definition und Messung der Retroreflektion (TC 2-36), die Beurteilung der Eigenschaften von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemeßgeräten (TC 2-40), die Messung und Beurteilung von Leuchtdioden (TC 2-46), die Beleuchtung von Sportstätten (TC 5-09), die Beleuchtung von Arbeitsplätzen im Freien (TC 5-13), die Notbeleuchtung (TC 5-19) sowie eine Vielzahl von Normen im Bereich der Photobiologie. In Überarbeitung befindet sich auch das Internationale Wörterbuch der Lichttechnik.

9. Mitarbeit in der Normung

Normungsarbeit ist eine technisch-wissenschaftliche Dienstleistung für alle, die Arbeitsergebnisse sind Empfehlungen, die keine andere Macht hinter sich haben, als die in ihnen liegende sachliche Kompetenz.

Wer etwas im geheimen tun will, ist in der Normung fehl am Platz. Alle Normungsvorhaben und Entwürfe werden – z.B. im FNL-Jahresbericht, in der Fachpresse oder im Internet – öffentlich bekanntgemacht, Kritiker an den Verhandlungstisch gebeten. Normen werden im Wege gegenseitiger Verständigung mit dem Bemühen festgelegt, eine gemeinsame Auffassung zu erreichen und formelle Abstimmungen – soweit möglich – zu vermeiden.

Niemand wird zur Teilnahme an der Normungsarbeit gezwungen, jeder kann mitwirken und ist willkommen, wenn er sich den „Spielregeln“ der Normung unterwirft. Die Aufnahme in die Arbeitsgremien des FNL, die auch das Tor zur Mitarbeit auf europäischer oder weltweiter Ebene öffnet, kann jederzeit bei der FNL-Geschäftsstelle beantragt werden, die auch gerne alle Fragen zur Normung beantwortet:

Normenausschuss Lichttechnik (FNL) im DIN
Deutsches Institut für Normung e.V., 10772 Berlin
Tel + 49 30 2601 2435
FAX + 49 30 2601 1255
e-mail barbara.peitzsch@din.de
Internet www.din.de

Literaturhinweise:

- /1/ B. Weis: Die neue Europäische Norm für die Notbeleuchtung, Tagungsband Licht 2000, Goslar – S. 421
- /2/ P.W. Schmits: Arbeitsstättenbeleuchtung in Deutschland nach der EN 12464 – ein Ausblick, Tagungsband Licht 2000, Goslar – S. 416
- /3/ R. Class: Erläuterungen zur kommenden EN 13201 Straßenbeleuchtung, Tagungsband Licht 2000, Goslar – S. 426
- /4/ A. E. Cakir: Neue Europäische Norm für die Arbeitsumgebung für Büroarbeit mit Bildschirmgeräten, Tagungsband Licht 2000, Goslar – S. 404

Neue Europäische Norm für die ergonomische Gestaltung der Arbeitsumgebung bei Büroarbeit mit Bildschirmgeräten

Ahmet Çakir, Gisela Çakir

1. Einleitung

Im Rahmen der internationalen Normung für die ergonomische Gestaltung der Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten wurde in den Jahren 1983 bis 2000 eine Normenreihe aus 17 Teilen erstellt, die von Arbeitsorganisation über Arbeitsplatz und Arbeitsumwelt bis zur Gestaltung der Bildschirmanzeige praktisch alle relevanten Sachverhalte regelt. Für die Normenreihe trägt das Technical Committee 159 bei ISO die Verantwortung. Mit der Erstellung war der Unterausschuss SC4 „Ergonomics of human system interaction“ beauftragt worden.

Die Normenreihe ISO 9241 mit dem Gesamttitel „Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten“ wurde mit der Absicht erstellt, eine weltweit gültige Grundlage zur Bildschirmarbeit zu schaffen. Aufgrund internationaler Verträge („Vienna Agreement“) wurden die einzelnen Teile der Normenreihe ohne inhaltliche Änderungen als CEN-Normen veröffentlicht. Die Mitgliedsländer der EU wiederum sind verpflichtet, diese Normen als nationale Normen zu übernehmen sowie eventuell vorhandene Normen zum gleichen Regelungsgegenstand zurückzuziehen und keine neuen zu bearbeiten. Die nationalen Normen tragen die Bezeichnung DIN EN ISO 9241-XX.

Die Norm DIN EN ISO 9241-6 behandelt alle relevanten Faktoren für die Arbeitsumgebung. Da Beleuchtung einen der wichtigsten Umweltfaktoren darstellt, nimmt sie einen wesentlichen Teil der Norm ein. Die Norm ist im Jahre 1999 mit 100% der Stimmen der Mitgliedsländer von ISO und CEN angenommen worden. Die deutsche Fassung wird im Laufe des Jahres 2000 erscheinen.

2. Anwendungsbereich und Natur der Norm

2.1 Zum Anwendungsbereich und zu den Regelungsgegenständen

DIN EN ISO 9241-6 „Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten Leitsätze für die Arbeitsumgebung“ gilt formal für die Büroarbeit. Da sich die Absicht, mit der ihre ursprünglich deutsche Fassung erstellt worden war, alle Arbeitsplätze einzubeziehen, inhaltlich ausgewirkt hat, können die Ausführungen und Bestimmungen der Norm ohne Weiteres auf andere Arbeits-

Dr.-Ing. Ahmet Çakir
Dipl.-Ing. Gisela Çakir
ERGONOMIC Institut für Arbeits- und Sozialforschung
Forschungsgesellschaft mbH
Soldauer Platz 3
D-14055 Berlin

plätze angewendet werden. Dies zeigen z.B. auch die entsprechenden Verweise anderer internationaler Normen wie ISO/DIS 11064-6 („Ergonomic design of control centres – Environmental requirements“).

Die Norm ISO 9241-6 enthält Leitsätze für die ergonomische Gestaltung der Arbeitsumwelt und der Arbeitsstation unter Berücksichtigung von Beleuchtung, Einwirkungen von Geräuschen und mechanischen Schwingungen, elektrischen und magnetischen Feldern und statischer Elektrizität, thermischer Umgebung, Raumnutzung und Arbeitsplatzauslegung.

Dieser Teil der Norm legt jedoch keine technischen Merkmale der Ausstattung fest, die erforderlich sind, um den ausstattungsbezogenen Leitsätzen zu entsprechen, die im Zusammenhang mit der Arbeitsumgebung stehen.

So wird beispielsweise zwar auf die Beleuchtung abgehoben, jedoch nicht auf die technische Ausstattung mit Leuchten. Hierin ähnelt die neue Norm Teilen von DIN 5035-1, beispielsweise der Beschreibung von Güte Merkmalen. Die Norm entspricht damit dem gemeinsamen deutschen Standpunkt, der auch auf europäischer Ebene getragen wird, der für Normen, die betriebliche Regelungen betreffen, keine technischen Anforderungen und keine Immissions-Grenzwerte vorsieht.

Anders als die DIN 5035, die eine reine Beleuchtungsnormenreihe ist, behandelt DIN EN ISO 9241-6 alle Umgebungsfaktoren ganzheitlich und stellt die Anforderungen der Arbeit in den Vordergrund. Zudem werden natürliche und künstliche Beleuchtung im gleichen Kontext geregelt und nicht wie bisher in getrennten Normen, die eine Abstimmung der beiden Beleuchtungsarten entweder nicht vorsehen oder nicht behandeln.

2.2 Zur Natur von DIN EN ISO 9241-6

Der grundlegende Unterschied zu herkömmlichen Regelwerken bezüglich der Natur der Bestimmungen liegt darin, dass DIN EN ISO 9241-6 zwar bestimmt, wie ein bestimmter Aspekt, z.B. Blendungsbegrenzung, zu behandeln ist, aber nicht vorgibt, dass Blendung für sich allein zu behandeln sei, auch wenn die gefundene Lösung eventuell sonstige Nachteile für den Benutzer erzeugt. Der Anwender der Norm ist aufgerufen, die „beste“ Lösung für einen Arbeitsplatz hinsichtlich Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit zu finden, und nicht etwa dazu, die beste lichttechnische oder die beste akustische Lösung zu realisieren, die die Norm präsentiert.

Bei der Erstellung der ISO-Norm wurde berücksichtigt, dass jedes Mitgliedsland ebenso wie die Mitgliedsländer der EU das Recht hat, das Niveau des Arbeitsschutzes seiner Arbeitnehmer selbst zu bestimmen. Im Falle der EU gilt allerdings, dass dieses über dem Mindestniveau liegt, das die Arbeitsschutzrichtlinien der EU vorsehen. Auch dies wurde im Hinblick auf eine Übernahme als europäische Norm berücksichtigt. So dürfen europaweit geltende Normen zwar beschreiben, dass ein bestimmter Aspekt, z.B. Beleuchtungsniveau oder Blendungsbegrenzung, zu berücksichtigen ist, jedoch nicht vorgeben, welche Stufe

der Blendungsbegrenzung bei welcher Tätigkeit einzuhalten ist. Solche Vorgaben können in manchen Ländern von den zuständigen Arbeitsschutzorganisationen gemacht werden, in anderen Ländern hingegen sind Anwender berechtigt, die bestmögliche Lösung für ihre Organisation unter Anleitung von Arbeitsschutzorganisationen selbst zu erarbeiten (z.B. in Dänemark und Norwegen).

Die Norm ISO 9241-6 wurde erarbeitet, um eine Anleitung für die Festlegung von Umgebungsbedingungen zu geben, die das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit der Benutzer verbessern. Die Verbesserung der Wechselwirkung zwischen Benutzern und Arbeitsumgebungen erfordert oft einen ausgewogenen Kompromiss, wobei zwar die Kompromissfindung vorgegeben werden kann, jedoch häufig nicht der Kompromiss selbst. Aus diesem Grunde enthält diese Norm

- allgemeine Grundsätze als generische (übergeordnete) Ziele,
- grundsätzliche Aspekte zu den einzelnen Umgebungsfaktoren (z.B. Beleuchtung, Akustik, Klima) und
- Anleitungen zur Entwicklung von Lösungen für bestimmte Randbedingungen in entsprechenden Anhängen (z.B. Verfahren zur Beherrschung der akustischen Umgebung für eine bestimmte Arbeitsaufgabe und eine bestimmte Arbeitsumgebung).

Wie man eine Lösung für eine vorgegebene Arbeitsaufgabe finden kann und nach welchen Gesichtspunkten hierbei vorzugehen ist, lässt sich aus dem Gebrauchstauglichkeitskonzept erkennen, das ein Qualitätskonzept darstellt (s. Abschnitt 4.1).

3. Allgemeine Leitsätze von DIN EN ISO 9241-6 und ihre Bedeutung

3.1 Grundlegende Zielsetzungen der Norm

Der grundlegende allgemeine Leitsatz lautet:

„Eine Verbesserung der ergonomischen Eigenschaften bei der Gestaltung der Arbeitsstation, der Ausstattung mit Arbeitsmitteln und der Arbeitsumgebung trägt dazu bei, die Leistungsfähigkeit der Benutzer zu steigern, Fehler und Beeinträchtigungen zu reduzieren und das allgemeine Wohlbefinden zu verbessern.“

Damit sind vier Zielsetzungen angegeben, die bei der Gestaltung der Arbeitsumgebung, und somit auch der Beleuchtung, zu berücksichtigen sind. Sie werden im Folgenden noch einmal einzeln hervorgehoben:

- Leistungsfähigkeit der Benutzer steigern,
- Fehler (bzw. Fehlhandlungen) reduzieren,
- Beeinträchtigungen (der Arbeit und des Befindens) verringern,
- Wohlbefinden verbessern.

Diesen Zielsetzungen kann nach Maßgabe der Arbeitsaufgabe unterschiedlich nachgegangen werden. So wird man z.B. bei der Beleuchtung von Warten von Verkehrsunternehmen dem zweiten Punkt (Fehler reduzieren) größeres Gewicht beimessen als den anderen Aspekten, sich hingegen bei reinen Büroaufgaben eher an Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden orientieren.

3.2 Persönliche Einflussnahme und ihre Bedeutung

In dem nächsten Leitsatz unterscheidet sich DIN EN ISO 9241-6 grundsätzlich von sonstigen Normen. Dieser sieht vor:

„Die Gestaltung der Arbeitsumwelt sollte eine angemessene Einflussnahme von Einzelpersonen auf ihre Umgebungsbedingungen ermöglichen.“

Dieser Empfehlung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass die Arbeitsbelastung des Menschen durch eine angemessene und aus seiner Sicht effektiven Kontrolle über die relevanten Randbedingungen am geringsten ausfällt. Was „angemessen“ bedeutet, lässt sich allerdings nur an einem realen Betrachtungsgegenstand bestimmen.

Wer sich bei einer solchen Unbestimmtheit einer Norm sich ausufernde und schwer realisierbare Wünsche von Benutzers vorstellt, dürfte häufig von der Realität überrascht werden:

- Bei Raumklima kann z.B. „eine angemessene Einflussnahme“ bedeuten, dass man das Fenster öffnen kann, so bald und so lange man will – und dies verringert die Kosten eines Bürogebäudes sowohl beim Betrieb als auch bei deren Erstellung um ca. 30%!
- Bei Beleuchtung kann dies z.B. bedeuten, dass man je nach Wunsch eine Arbeitsplatzleuchte, eine Allgemeinbeleuchtung für den Raum oder Beides einschalten kann – wodurch man die Beeinträchtigungen des Befindens prozentual etwa halbieren und, bei einem entsprechenden Gebäudekonzept, bis zu 20% an Kosten für Beleuchtung einsparen kann!

Noch besser im Sinne der Norm sind naturgemäß Lösungen, die bei den Benutzern den Wunsch nach einer persönlichen Einflussnahme erst gar nicht aufkommen lassen, d.h. Lösungen, die eine hohe Akzeptanz genießen. In der Beleuchtungstechnik existieren Lösungen, deren Akzeptanz bei den Benutzern bei 20%, aber auch bei 90% liegen kann.

3.3 Einfluss der Umwelt – Einfluss auf die Umwelt

DIN EN ISO 9241-6 enthält als weiteren grundlegenden Leitsatz Bestimmungen über die gegenseitige Beeinflussung von Umgebungsfaktoren und Arbeitsmitteln:

„Störungen der relevanten Eigenschaften der Arbeitsmittel durch Umgebungsfaktoren sollten so gering wie möglich gehalten werden. Unerwünschte Einflüsse der Arbeitsmittel auf die Arbeitsumgebung sollten ebenfalls so gering wie möglich gehalten werden.“

In Klartext bedeutet dies z.B., dass die Beleuchtung einen möglichst geringen Einfluss auf die Informationsaufnahme von der Bildschirmanzeige haben sollte (Störungen der relevanten Eigenschaften der Arbeitsmittel ...), und dass das Bildschirmgerät eines Benutzers möglichst wenig zur visuellen Störung des Nachbarn oder zur Erwärmung der Umgebung beiträgt (Unerwünschte Einflüsse der Arbeitsmittel auf die Arbeitsumgebung ...). (Anm.: Nach diesen Grundsätzen war bereits vor Jahrzehnten absehbar, dass sich LCD-Bildschirme generell

durchsetzen würden, sobald sie den Anforderungen der Arbeitsaufgaben genügen und wirtschaftlich vertretbar sind.)

Diese Grundsätze entsprechen ingenieurtechnischen Prinzipien, wie sie z.B. in EMV-Richtlinien festgelegt sind, wonach die Funktion eines Geräts möglichst wenig von der Umgebung abhängen und seine Inanspruchnahme möglichst wenige Auswirkungen auf die Umgebung ausüben soll.

3.4 Betrachtungsgegenstände

Die Eigenschaften der Arbeitsmittel und der Arbeitsumgebung werden in der Norm im Hinblick auf folgende Aspekte betrachtet:

- natürliche und künstliche Beleuchtung,
- Geräusch und Lärm,
- mechanische Schwingungen,
- elektromagnetische Felder und elektrostatische Aufladung,
- thermische Umgebung,
- Raumnutzung und Arbeitsplatzauslegung.

Für jeden dieser Betrachtungsgegenstände existieren bereits mehr oder weniger detaillierte und bindende Normen und gar Vorschriften, die sich allerdings dadurch auszeichnen, dass sie ohne jeglichen Bezug auf die anderen erarbeitet worden sind bzw. gelten. So kann es einem Anwender passieren, dass eine gewisse Bestimmung einer geltenden Norm erfüllt werden kann, wenn der Arbeitsplatz in einigen Metern Entfernung vom Fenster angeordnet wird (z.B. Blendfreiheit), während eine andere Norm ihn indirekt zwingt, den Arbeitsplatz möglichst nahe beim Fenster anzuordnen (z.B. eine Norm zur Flächennutzung im Büro). Ein bestimmter Hersteller hat jahrelang Ergonomiebroschüren verteilt, die das Erstere empfohlen haben, während seine technisch orientierten Vertriebsleute die entgegengesetzte Lösung (Bildschirm am Fenster) per Spezifikation quasi vorgeschrieben haben, damit das Netzwerk im Gebäude funktioniert.

4. Vorgehensweise bei der Anwendung der Norm

4.1 Konzept der Gebrauchstauglichkeit

Die Anwendung der Norm DIN EN ISO 9241-6 erfolgt sinnvollerweise mit Hilfe des Gebrauchstauglichkeitskonzepts, das in Teil 11 von ISO 9241 genormt worden ist. Die Gebrauchstauglichkeit nach dieser Norm ist „das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und mit Zufriedenheit zu erreichen“ (DIN EN ISO 9241-11).

Die Gebrauchstauglichkeit kann gemäß der Norm anhand folgender Maße ermittelt werden:

- Die Effektivität beschreibt den Erreichungsgrad von Benutzerzielen. Wenn Leuchten beispielsweise als Zweckbeleuchtung vorgesehen werden sollen, kann die Effektivität daran gemessen werden, wie gut Arbeitsobjekte beleuchtet werden. Werden sie zur Erreichung einer bestimmten Anmutungsqualität des Raums eingesetzt, wird die Effektivität an dem Grad der Erreichung dieses Ziels gemessen.

- Die Effizienz beschreibt den Aufwand des Nutzers, der zum Erreichen einer bestimmten Effektivität eingesetzt werden muß. Das Maß läßt sich z.B. aus dem Zeitaufwand für die Erledigung einer bestimmten Aufgabe, aber auch aus dem Grad der Ermüdung des Nutzers einer bestimmten Beleuchtung bzw. der Augenbeschwerden, die eine bestimmte Sehaufgabe verursacht, ermitteln.
- Die Zufriedenstellung von Bedürfnissen beschreibt einerseits die Freiheit von Beeinträchtigungen (z.B. Blendfreiheit) und andererseits die Akzeptanz des Betrachtungsgegenstands, so z.B. die Zufriedenheit mit der Lesbarkeit von Sehobjekten bei Zweckbeleuchtung oder die Zufriedenheit mit der Raumgestaltung bei Einsatz von Leuchten als Gestaltungselement.

Grundsätzlich gilt bei allen Überlegungen zur Gebrauchstauglichkeit, dass bei der Bildschirmarbeit eine grundsätzliche Unterscheidung zwischen mindestens zwei Sehaufgaben getroffen werden muss:

- Aufnahme von Informationen von der aktiven Bildschirmanzeige und
- Aufnahme von Informationen von passiven Medien.

Darüber hinaus kann auch visuelle Kommunikation mit anderen Menschen erforderlich sein. Zudem ist den individuellen Bedürfnissen der Benutzer Rechnung zu tragen, allerdings nicht zum Ausgleichen unzureichend korrigierter Sehkraft.

4.2 Beispiel für eine Anwendung – Störungsfreies Sehen auf dem Bildschirm

Die Vermeidung der Reflexblendung auf einem Bildschirm ist so gut wie nicht möglich. Möglich ist es jedoch, die Reflexionen hinreichend gut zu begrenzen, sodass sie nicht störend wahrgenommen werden, bzw. das Sehen möglichst gering beeinträchtigen. DIN EN ISO 9241-6 enthält nicht eine bestimmte Empfehlung hierzu, sondern die Vorgabe, annehmbare Sehbedingungen zu erreichen, indem man

- entweder das visuelle Umfeld entsprechend den Eigenschaften des benutzten Bildschirms gestaltet
- oder den Bildschirm im Hinblick auf das visuelle Umfeld wählt.

Zur Lösungsfindung dient das Diagramm möglicher Maßnahmen zur Begrenzung der Reflexblendung (Bild 1 aus DIN EN ISO 9214-6).

Ob eine dieser Maßnahmen oder eine bestimmte Kombination von ihnen ausreicht, kann man an Hand des Gebrauchstauglichkeitskonzepts ermitteln. So läßt sich beispielsweise die Effektivität daran messen, in welchem Maße die auf dem Bildschirm dargestellte Information richtig erkannt werden kann. Für übliche Büroaufgaben reicht in diesem Sinne die Positivdarstellung weitgehend aus, während man z.B. für Videoschnittarbeitsplätze praktisch alle der in Bild 1 dargestellten Maßnahmen sinnvoll kombinieren muss, um Farbe, Form und Bewegung einwandfrei erkennbar zu machen.

Dieses Beispiel unterstreicht die besondere Bedeutung des Konzepts: Normative Vorgaben auf der Basis der Gebrauchstauglichkeit beziehen sich immer auf Ziele und nicht auf Mittel. Dies hat drei ausschlaggebende Vorteile:

- Der Anwender einer Norm kann leicht die Beweggründe für die Vorgaben erkennen, was die Akzeptanz von Normen mit Sicherheit erhöht.
- Jeder kann versuchen, die gleichen Ziele mit anderen Mitteln zu erreichen, d.h., die Effizienz seiner Maßnahmen erhöhen, was für alle Beteiligten ökonomischer ist.
- Es lässt sich leicht erkennen, ob eine bestimmte Norm die geeigneten Ziele verfolgt, z.B., wenn man sie außerhalb des festgelegten Geltungsbereichs anwenden möchte bzw. aus formalen Gründen anwenden muss.

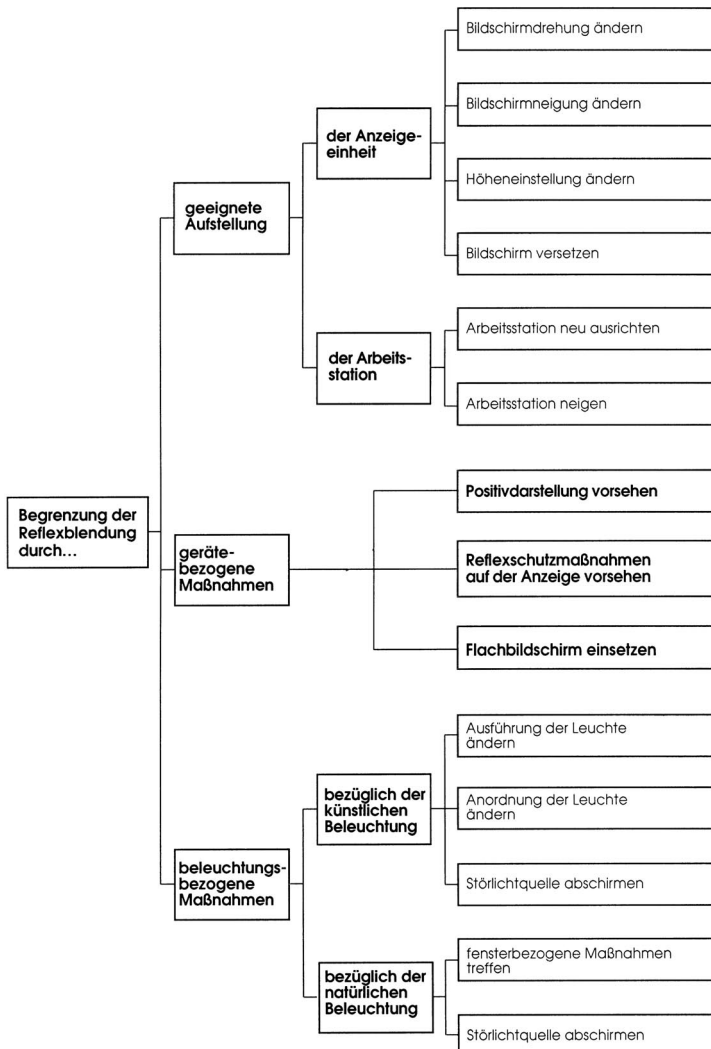


Bild 1: Gesamtheit möglicher Maßnahmen zur Begrenzung der Reflexblendung

Diesen Vorteilen steht der Nachteil gegenüber, dass Normen in der hier besprochenen Art vom Anwender mehr Kompetenz und Sachverstand fordern. Allerdings ist dieser Nachteil wiederum nicht so groß, wenn man bedenkt, dass eine erfolgreiche Anwendung mancher als trivial erscheinenden Normen, z.B. der Normen über Schrauben, ein Ingenieurstudium, zumindest aber eine Facharbeiterlehre voraussetzen kann.

5. Inhaltliche Aussagen zur Beleuchtung

5.1 Grundlegende Gestaltungsziele

Die grundlegenden Gestaltungsziele für die Beleuchtung werden wie folgt beschrieben:

„Eine gute Beleuchtung sollte so ausgeführt sein, daß sie ihre vorgesehenen Funktionen erfüllt, und sie sollte zu der Arbeitsumgebung passen.“

Welche lichttechnischen Überlegungen dabei erfolgen sollten, wird wie folgt beschrieben:

„Sachdienliche Maßnahmen beziehen folgendes ein:

- eine günstige Verteilung der Leuchtdichte und der Kontraste im Arbeitsraum;
- die Beleuchtungsstärke in der horizontalen und vertikalen Ebene;
- das Verhältnis zwischen den Beleuchtungsstärken in diesen beiden Ebenen.“

Darüber hinaus wird herausgestellt, wie wichtig es ist zu berücksichtigen, dass

- „die Beleuchtung von vielen Arbeitsumgebungen durch eine Kombination von natürlichem und künstlichem Licht erzeugt wird;
- Fenster eine Doppelaufgabe erfüllen, die beides einschließt,
 - die Sichtverbindung nach außen und
 - die Erzeugung eines angemessenen und annehmbaren Helligkeitsniveaus im Innenraum;
- die Güte Merkmale für künstliche Beleuchtung in der Einleitung von ISO 8995:1989 festgelegt sind und die folgenden Ziele der visuellen Ergonomie einschließen:
 - die Wahrnehmung visueller Information, die während des Arbeitsverlaufs gebraucht wird, zu optimieren;
 - einen angemessenen Grad an Leistungsfähigkeit aufrechtzuerhalten;
 - maximale Sicherheit zu gewährleisten;
 - annehmbares visuelles Wohlbefinden zu schaffen.
- die sich ergebende Qualität durch unkontrolliertes Tageslicht beeinflusst werden kann.“

5.2 Leuchtdichteverteilung im Arbeitsraum

Entsprechend der Bedeutung als dem entscheidende Qualitätskriterium für die Beleuchtung werden auch der Leuchtdichteverteilung eigene Leitsätze zugeordnet:

„Die Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld soll nach ISO 9241-6 so gewählt werden, dass

- die Sehbedingungen verbessert werden,
- Blendung vermieden wird,
- die Wahrnehmung relevanter Sehobjekte sichergestellt ist,
- die Modellierung räumlicher Objekte, z.B. von Gesichtern, verbessert wird,

- eine ausgeglichene Leuchtdichteverteilung erreicht wird,
- die visuelle Kommunikation verbessert wird und
- die Sicherheit bei der Arbeit nicht beeinträchtigt wird.“

Die Norm empfiehlt, dass besondere Aufmerksamkeit der ausgewogenen Leuchtdichteverteilung an Arbeitsplätzen mit Bildschirmgeräten gewidmet werden sollte, vor allem bei Negativdarstellung. Als Grund hierfür wird angegeben, dass wegen der Anordnung der Bildschirme die Blickrichtung weniger stark nach unten gerichtet ist als bei konventionellen Büroarbeitsplätzen.

5.3 Begrenzung der Blendung

Ebenfalls eigene Leitsätze erfolgen für die Blendung: „Blendung sollte durch geeignete Gestaltung und Einrichtung der Arbeitsmittel und der Arbeitsumgebung vermieden werden.“

In diesem Zusammenhang unterscheidet die Norm zwischen

- Direktblendung und
- Reflexblendung.

Insbesondere die Reflexblendung auf Bildschirmen und auf Sehobjekten, die sich in horizontal orientierten Arbeitsflächen befinden, wird ausführlich behandelt. Hierin unterscheidet sich die Norm wesentlich von DIN 5035-7/7/ , in der die Vermeidung von Reflexionen auf Bildschirmen als neues Gütekriterium eingeführt wurde. Dass die nach dieser Norm bevorzugte tiefstrahlende Beleuchtung die Reflexblendung auf Papierunterlagen und Tastaturen verstärkt, wird zwar in der Literatur angeführt, aber nicht in der Norm. Sie behandelt die Vermeidung der Reflexblendung auf dem Bildschirm auf zwei Seiten, während sie der Reflexblendung auf übrigen Arbeitsmitteln nur einen einzigen Satz widmet: „Reflexblendung muss begrenzt werden.“ Wie die Beleuchtung dazu beitragen soll, wird dort nicht ausgeführt.

Zur Vermeidung von Reflexblendung sollten Bildschirme gemäß ISO 9241-6 „mit einer der Aufgabe und der Umgebung angemessenen Behandlung zur Begrenzung von Reflexionen verwendet werden (siehe ISO 9241-7).“ Die Norm ISO 9241-7 legt drei Bildschirmklassen fest:

- Klasse I wird als geeignet betrachtet für den allgemeinen Bürogebrauch,
- Klasse II ist für die meisten, aber nicht für alle Büroumgebungen geeignet,
- Klasse III-Bildschirme benötigen für den Gebrauch eine besonders ausgelegte Beleuchtungsumgebung.

Will man annehmbare visuelle Bedingungen erreichen, ist entweder

- die visuelle Umgebung entsprechend der genutzten Bildschirmkategorie zu gestalten
- oder aber die Bildschirmkategorie entsprechend der visuellen Umgebung zu wählen.

6. Berücksichtigung von einzelnen Umgebungsbedingungen

Die Beleuchtung bildet, wie bereits angeführt, in dieser Norm nur eine der zu berücksichtigenden Umgebungsbedingungen. Sie soll im Rahmen des Raumge-

staltungs- bzw. Raumnutzungskonzepts neben weiteren berücksichtigt werden, wobei das Optimierungskriterium aus der Arbeit und der Raumnutzung abgeleitet werden soll. Vom Anwender der Norm wird folgerichtig verlangt, nicht die bestmögliche Beleuchtung, akustische oder thermische Umgebung etc. zu realisieren, sondern eine ganzheitliche Lösung, die alle genannten Faktoren unter der Zielsetzung der Norm „die Leistungsfähigkeit der Benutzer zu steigern, Fehler und Beeinträchtigungen zu reduzieren und das allgemeine Wohlbefinden zu verbessern“ angemessen berücksichtigt.

Dass die Norm nicht vorgibt, man möge bei jeder Umgebungsbedingung die günstigste Lösung realisieren, rührt daher, dass eine Optimierung einer durch mehrere Faktoren bestimmten Situation nach einem dieser Faktoren häufig Nachteile bezüglich anderer Faktoren nach sich ziehen kann. So hängt zum Beispiel die Beherrschung von Geräusch und Lärm von einer geeigneten Verteilung potentieller Geräuschquellen unter Berücksichtigung der für die jeweilige Arbeitsaufgabe und jeweils vorgesehene Benutzerpopulation erforderlichen akustischen Umgebungsbedingungen ab, unabhängig davon, ob die Geräuschquellen Menschen sind oder Büro- und Gebäudesysteme bzw. Arbeitsmittel. Ähnlich hängt

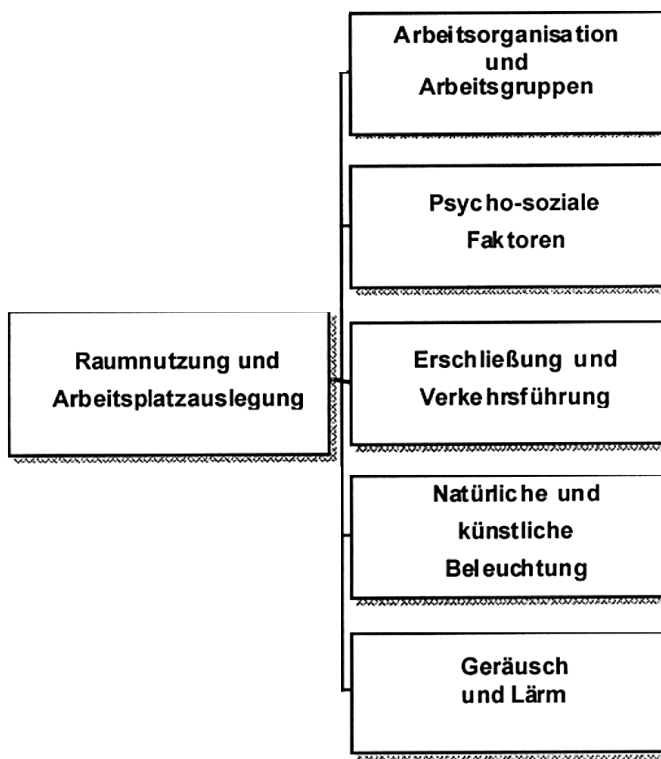


Bild 2: Raumnutzung und Arbeitsplatzauslegung; Hauptkategorien der Kriterien nach ISO 9241-6

die erreichbare Qualität der natürlichen und künstlichen Beleuchtung davon ab, wie Arbeitsstationen und die dazugehörigen Bildschirmgeräte im Hinblick auf mögliche Blendung durch Tageslicht angeordnet werden können. Nur dort, wo die akustischen Randbedingungen vollkommen unabhängig sind von den visuellen, kann man sie isoliert betrachten.

In der Regel sind Probleme am Arbeitsplatz aber häufig vielschichtig. So sind dort, wo mehrere Aspekte und ihre möglichen Wechselwirkungen berücksichtigt werden (müssen), ganzheitliche Lösungen sinnvoller als Teillösungen für einzelne Aspekte (z.B. Wahl des Aufstellortes von Arbeitsstationen im Hinblick auf Blendungsbegrenzung auf Bildschirmen als einziger Aspekt). Solche Kompromisse, allerdings ohne einen systematischen Hintergrund, werden in der Raumnutzung seit jeher getroffen. So sitzen beispielsweise etwa 50 % deutscher Büromitarbeiter in Räumen für 2 bis 5 Personen (jeweils 25 % in Doppelzimmern und 25 % in 2- bis 5-Personenräumen)/1/, wobei der natürliche Lichteinfall für die Hälfte falsch ist, weil Mitarbeiter ihre Tische lieber Kopf-an-Kopf stellen als in einer Schulbankanordnung. Der wesentliche Grund hierfür, der Wunsch nach Sehkontakt mit dem Kollegen, führt zu einer weiteren nachteiligen Situation, einer seitlichen Aufstellung der Bildschirme in Fensterrichtung. Ein weiterer Grund besteht darin, dass man sich bei dieser Anordnung besser gegenseitig helfen kann (z.B. Telefon des Nachbarn abnehmen ohne aufzustehen).

Wenn der Planer des Raums nach Bild 2 vorgeht und hierbei die Faktoren „Arbeitsorganisation ...“ und „psycho-soziale Faktoren“ als wesentliche Determinanten berücksichtigt, kann er Maßnahmen treffen, die die Nachteile mildern.

7. Verbindung zu gesetzlichen Vorschriften

Wie diese Darstellungen deutlich machen, ist ISO 9241-6 im Wesentlichen eine Anwendernorm. Sie lässt sich hervorragend in Verbindung mit dem Arbeitsschutzgesetz anwenden, die den Arbeitgeber in einer bestimmten Art und Weise verpflichtet:

„Der Arbeitgeber hat bei Maßnahmen des Arbeitsschutzes von folgenden allgemeinen Grundsätzen auszugehen: ...

(4.) Maßnahmen sind mit dem Ziel zu planen, Technik, Arbeitsorganisation, sonstige Arbeitsbedingungen, soziale Beziehungen und Einfluß der Umwelt auf den Arbeitsplatz sachgerecht zu verknüpfen; ...“

Auch dessen Verordnung für die Arbeit an Bildschirmgeräten, die Bildschirmarbeitsverordnung, schreibt nicht eine bestimmte Lösung zu einem bestimmten Problem vor, sondern die zu erreichenden Ziele. Beispielsweise wird zur Arbeitsumgebung vorgeschrieben: „Durch die Gestaltung des Bildschirmarbeitsplatzes sowie Auslegung und Anordnung der Beleuchtung sind störende Blendwirkungen, Reflexionen oder Spiegelungen auf dem Bildschirm und den sonstigen Arbeitsmitteln zu vermeiden.“

Wenn ein Betrieb die oben zitierte Vorschrift aus dem Arbeitsschutzgesetz, sachgerechte Verknüpfung von Arbeitsorganisation, soziale Beziehungen und

Einfluss der Arbeitsumwelt auf den Arbeitsplatz, konkret auf die Gestaltung eines Doppelzimmers mit Bildschirmgeräten anwenden will, um der unten zitierten Vorschrift aus der Bildschirmarbeitsverordnung zu genügen, kann er wie folgt vorgehen:

1. Bestimmen der als relevant zu berücksichtigenden Randbedingungen anhand von Bild 2
2. Festlegen der notwendigen Maßnahmen für die vorliegende Situation anhand von Bild 1
3. Prüfen des Erfolgs, keine „störenden“ Spiegelungen, mit Hilfe des Gebrauchstauglichkeitskonzepts.

Das Ergebnis einer solchen Vorgehensweise wird in der Regel von Betriebsstätte zu Betriebsstätte etwas oder stark unterschiedlich ausfallen. Dies ist in den Vorschriften beabsichtigt, weil man davon ausgeht, dass ein Betrieb seine Probleme am besten kennt und externen „Rat“ eher als Anleitung benötigt. Sollten sich bei solchen Vorgehensweisen bestimmte Lösungen als allgemeingültig bzw. allgemein günstig erweisen, kann man sie naturgemäß überall verwenden. Man muss dies sogar, weil das Arbeitsschutzgesetz in §4 u.a. vorschreibt: „3. bei den Maßnahmen sind der Stand von Technik, Arbeitsmedizin und Hygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zu berücksichtigen;...“. Der wesentliche Unterschied zu früher üblichen Vorgehensweisen besteht darin, dass der Weg zur Lösungsfindung und das zu erreichende Ziel vorgeschrieben ist und nicht die Lösung.

Literatur

- /1/ Çakir, A., Çakir, G.: Licht und Gesundheit – Eine Untersuchung zum Stand der Beleuchtungstechnik in deutschen Büros, 3. erweiterte Auflage, ERGONOMIC, Berlin, 1998
- /2/ DIN EN ISO 9241: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 6 Leitsätze für die Arbeitsumgebung
- /3/ DIN EN ISO 9241: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 7 Anforderungen an visuelle Anzeigen bezüglich Reflexionen
- /4/ DIN EN ISO 9241: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 11 Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit – Leitsätze
- /5/ DIN 5035-1: Innenraumbelichtung mit künstlichem Licht; Begriffe und allgemeine Anforderungen
- /6/ Gemeinsamer Deutscher Standpunkt: Europäische Normung im Bereich des betrieblichen Arbeitsschutzes - Gemeinsamer Standpunkt des Bundesministers für Arbeit und Sozialordnung, der obersten Arbeitsschutzbehörden der Länder, der Träger der gesetzlichen Unfallversicherungen, der Sozialpartner sowie des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. zur Normung im Bereich der auf Artikel 118a des EWG-Vertrages gestützten Richtlinien, Bundesarbeitsblatt 1/ 1993, S. 37-39
- /7/ DIN 5035-7: Innenraumbelichtung mit künstlichem Licht; Spezielle Empfehlungen für die Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen und mit Arbeitsplätzen mit Bildschirmunterstützung

Arbeitsstättenbeleuchtung in Deutschland nach der EN 12464 – ein Ausblick

Paul W. Schmits

1. Einleitung

Wie bereits an anderer Stelle detailliert beschrieben /Seidl/, befinden wir uns z.Z. auf dem Weg von der nationalen Regelsetzung zur internationalen lichttechnischen Normung.

Dies hat u.a. dazu geführt, dass die in Deutschland die Beleuchtung von Arbeitsstätten regelnde DIN 5035 in den Teilen 1, 2, 3, 4 und 7 in den vergangenen 10 Jahren nicht überarbeitet werden konnte, da sie Gegenstand europäischer Normung war und ist.

Bei der Fertigstellung der Schriftfassung dieses Beitrages (Juni 2000) liegt der abschließende Entwurf der, die DIN 5035 in den genannten Teilen ersetzenden, EN 12464 vor. Die Schlußabstimmung wird vermutlich im Winter 2000/2001 stattfinden; das Abstimmungsergebnis ist ungewiss – weniger aus inhaltlichen Gründen als aus politischen.

Ziel dieses Beitrages ist es, die wesentlichen neuen Inhalte des Entwurfes zusammenzufassen und einen Ausblick in die deutsche Arbeitsstättenbeleuchtungspraxis nach der Abstimmung zu wagen.

2. Was ist neu im Entwurf prEN 12464?

Die Hauptänderungen, die den Entwurf prEN 12464 von der DIN 5035 unterscheiden und die Planungspraxis entscheidend prägen werden, sind:

- Die Einführung des Arbeitsbereich als Bezugsebene
- Die Einführung der Wartungswerte anstelle zeitlicher Mittelwerte
- UGR als neues Blendungsbewertungssystem
- Aktualisierung der Leuchten-Grenzwerte bei der Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen.

2.1. Der Arbeitsbereich als Bezugsebene

Die Nennbeleuchtungsstärke als Nennwert für das Beleuchtungsstärkeniveau in Arbeitsstätten wird nach DIN 5035 Teil 1 in der Regel auf die gesamte horizontale Fläche des jeweiligen Arbeitsraumes – zumeist in 85 cm Höhe – bezogen. Lediglich in großen Räumen mit im Wesen unterschiedlichen Nutzungen – zum Beispiel Produktion und Lagerung in einer Halle – war die Einführung von Raumunterteilungen – sogenannten Raumzonen – zulässig. Die gerade in der

Bürobeleuchtung häufig geübte Praxis, die Bereiche der Arbeitstische als Raumzonen für Büroarbeit mit 500lx Nennbeleuchtungsstärke zu planen und den Restraum als Zone mit geringeren Anforderungen zu betrachten, war trotz vieler Befürworter nicht im Sinne des für die DIN 5035 zuständigen Fachausschusses FNL 4 /Hentschel/.

Der Entwurf prEN 12464 geht explizit von dem Arbeitsbereich als Bezugsebene für die Beleuchtungsstärkeplanung aus und fordert hierfür – in Abhängigkeit von der Sehaufgabe bzw. der Tätigkeit – ein definiertes Beleuchtungsstärkeniveau. Der Arbeitsbereich ist pauschal als der Bereich der Arbeitsstätte definiert, in dem die Sehaufgabe ausgeführt wird. Lediglich für den Fall, dass Lage und/oder Größe des Arbeitsbereiches nicht bekannt sind, wird ein Beleuchtungslayout für eine ausgedehntere Fläche empfohlen.

Auf diesem Wege liegt es in der Verantwortung des Planers oder vorgeschaltet der nationalen Gremien, über Festlegung der für die jeweilige Tätigkeit notwendigen Größe des Arbeitsbereiches die lichttechnischen und ökonomischen Forderungen an eine gute Beleuchtung zu optimieren.

Auf diesem Wege war es aber auch möglich, die unterschiedliche Arbeitsstättergestaltung und davon abgeleitet, auch die unterschiedliche Beleuchtungspraxis der einzelnen an der Normung beteiligten europäischen Länder in einem in sich schlüssigen Konzept zu beschreiben.

2.2 Die Wartungswerte anstelle zeitlicher Mittelwerte

Die Nennbeleuchtungsstärke der DIN5035 ist ein Nennwert, der als örtlicher und zeitlicher Mittelwert der Beleuchtungsstärke definiert ist. Trotz der Exaktheit seiner Definition, ist er im Überprüfungsfall aufgrund seiner zeitlichen „Unschärfe“ nur über Toleranzbereiche zu verifizieren - „...darf... an keinem Arbeitsplatz zu keiner Zeit den 0,6fachen Wert ... unterschreiten“. Der EN Entwurf ersetzt den Nennwert durch einen Grenzwert: den Wartungswert der Beleuchtungsstärke. Wird dieser (örtliche Mittelwert) auf der zugehörigen Bezugsfläche unterschritten, muss die Beleuchtungsanlage gewartet werden, d.h. die Lampen müssen gewechselt und/oder die Leuchten gereinigt bzw. der Raum renoviert werden. Nach der Wartung müsste – eine hinreichende Planung vorausgesetzt – der Grenzwert wieder überschritten sein. Um dies sicherzustellen, soll der Planer den Neuwert der Anlage aus dem Wartungswert mit Hilfe des Wartungsfaktors errechnen. Dieser setzt sich aus Einzelkomponenten zusammen, die den Lichtstromrückgang sowie das Alterungsverhalten der Lampen, der Leuchten und des Raums berücksichtigen. Weitere Details sind in der CIE Publikation 97 beschrieben.

Auch die DIN 5035 berücksichtigte mit dem Verminderungsfaktor bzw. dessen Kehrwert den Neuwertfaktor das Alterungsverhalten von Beleuchtungsanlagen und unterschied bereits 3 unterschiedliche Umgebungs- und Alterungsbedingungen. Die Verbesserung des Langzeitverhaltens, die speziell bei den Leuchtstofflampen in den letzten Jahren zu verzeichnen war, konnte hierbei nicht entsprechend berücksichtigt werden. Die Qualität einzelner Lampen und Leuchten

in Bezug auf ihr Langzeitverhalten kann vom Planer mit dem Wartungsfaktor nun auch quantitativ als Vorteil ausgewiesen werden.

2.3. UGR als neues Blendungsbewertungssystem

Das UGR-Verfahren ist ein vor dem Hintergrund der europäischen Normung neu entwickeltes Verfahren zur Bewertung der Direktblendung. Es basiert auf der Blendungsformel von Hopkinson, die bereits seit mehreren Jahrzehnten die Grundlage der Blendungsbewertungsverfahren u.a. in Großbritannien und den skandinavischen Ländern bildet. Diese Formel wurde lediglich mathematisch überarbeitet, sodass sie auch bei der Unterteilung großer Leuchten in Teilleuchten noch lichttechnisch schlüssige Ergebnisse liefert. So modifiziert, entstand mit Hilfe der CIE Publikation 117 ein „neues“ und dennoch bereits weitgehend erprobtes Verfahren, das als Kompromiss für alle an der europäischen Normung beteiligten Länder dienen konnte. Neben der Konsensfähigkeit erfuhr dem Verfahren eine weitere Qualität während des Jahrzehnts seiner Entwicklung und Überprüfung. Die bisherigen in Europa eingeführten Verfahren wurden über Diagramme (Grenzkurven in Deutschland und Frankreich) oder über Tabellen (Großbritannien etc.) angewandt. Das UGR-Verfahren lässt zwar diese Varianten für die schnelle Bewertung auch zu, empfiehlt sich aber durch seine Formel auch für die computerunterstützte Planung, deren Einsatz zwischenzeitlich aufgrund der Leistungsfähigkeit heutiger Rechner keine ernsthafte Hürde mehr darstellt.

2.4. Aktualisierung der Leuchten-Grenzwerte bei Bildschirmarbeitsplätzen

Die DIN 5035 Teil 7 „Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen“ gibt u.a. Grenzleuchtdichten und Grenzwinkel für leuchtende Leuchtenflächen an, die sich im Bildschirm spiegeln können. Da dieser Teil der Norm bereits im Jahre 1989 veröffentlicht wurde, konnte natürlich nur der Stand der damaligen Praxis und der damals gebräuchlichen Displays berücksichtigt werden. Zwischenzeitlich wurden sowohl die Qualität der Bildschirmoberflächen (Entspiegelung, Wölbung etc.), der Darstellung (hohe Kontraste bei Positivdarstellung) wie auch die mittlere Bildschirmleuchtdichte entscheidend verbessert, sodass in vielen Fällen die Grenzwerte der DIN 5035 Teil 7 nicht mehr zeitgemäß sind.

Der EN Entwurf hat die Grenzleuchtdichte für die meisten heute in Büros und anderswo eingesetzten wenig reflexempfindlichen Bildschirme von 200 cd/m^2 auf 1000 cd/m^2 heraufgesetzt.

Die Grundlage für diesen neuen Wert lieferte die ISO/DIS 9241-6 (in Deutschland veröffentlicht als Entwurf DIN EN ISO 9241-6). Diese stuft Bildschirme in die Klasse 1 bzw. 2 ein, wenn eine definierte Testoptik bei 1000 cd/m^2 zu keiner Verschlechterung des Bildschirmlesbarkeit führt.

Da die Bildschirme über die Jahre immer flacher geworden sind, hatte in der Praxis der sogenannten „bildschirmunterstützten Arbeitsplätze“ bereits der Grenzwinkel 60° (in den Ebenen C0/180 bzw. C90/270) den in der DIN 5035 Teil 7 empfohlenen Winkel von 50° abgelöst – und sich auch bewährt. Bei den meisten Rasterleuchten entspricht eine Entblendung der Leuchten in den orthogonalen Leuchtenebenen C0/180 bzw. C90/270 bei 60° einer Entblendung bei

65° in allen Ebenen rundum. Daher wurde diese ohnehin logischere Festlegung des Grenzwinkels 65° rundum in die EN übernommen. (s.a. /Range/ und /Leibig/)

3. Ausblick

Der EN-Entwurf wurde im Oktober 1998 als prEN 12464 in den beteiligten Ländern veröffentlicht und mehrheitlich zur Endbearbeitung freigegeben. Diese ist zwischenzeitlich ebenfalls erfolgt – die Schlußabstimmung steht noch aus und wird vermutlich im Winter 2000/2001 erfolgen.

Die inhaltlichen Differenzen sind in der Endfassung bereits berücksichtigt und weitgehend ausgeräumt. Dennoch ist nicht auszuschließen, daß der Schlußentwurf nicht die geforderte 70% Mehrheit aller gewichteten Länderstimmen erhält. Es sind also zwei Szenarien möglich:

- Im Fall der Annahme der prEN 12464 in der Schlußabstimmung wird in einem Zeitraum von ca 3 Monaten eine DIN EN 12464 mit gleichem Inhalt und einem zusätzlichen nationalen Vorwort erscheinen.

Diese Norm wird zwar alle Bereiche betreffen, die bislang durch die DIN 5035 Teil 1,2,3,4 und 7 abgedeckt wurden – allerdings in einigen Punkten wird die Detailtiefe nicht so groß sein, wie von der DIN 5035 gewohnt.

Immer dann, wenn aufgrund zu stark abweichender nationaler Praxis keine gemeinsame Lösung gefunden werden konnte, wurden als Kompromiss qualitative Zielvorgaben anstelle von quantitativen Grenzwerten angegeben oder gar keine Angaben gemacht. Aus diesem Grund wurde z.B. eine Mindestgröße des bereits erwähnten Arbeitsbereichs nicht quantifiziert. Ähnliche Auslegungsfreiheit gibt es auch an anderen Stellen wie dem Wartungsfaktor, dem Bewertungsraster, etc. In all diesen Fällen besteht Bedarf nach Interpretationshilfe. Diese kann teilweise durch neue ergänzende nationale Normen geschaffen werden – denkbar ist hier z.B. die normative Festlegung eines Bewertungsrasters für die Ermittlung der Gleichmäßigkeit.

Eine andere Form der Arbeitshilfe für den Nutzer der Norm stellen technisch wissenschaftliche Publikationen der LiTG dar. Hier können z.B. der Umgang mit dem Thema Arbeitsbereich bei Planung und Überprüfung beschrieben werden. Tatsächlich sind bereits bei den zuständigen Fachausschüssen – dem Normausschuss Lichttechnik (FNL) im DIN, Arbeitsausschuss FNL 4 beim DIN sowie dem Fachausschuss Innenbeleuchtung FAI bei der LiTG – diverse Normen bzw. technisch-wissenschaftliche Publikationen in Arbeit, welche die EN 12464 ergänzen bzw. erläutern sollen:

Aktuelle Arbeiten des FNL 4

Überarbeitung DIN 5035 Teil 3 über Krankenhausbeleuchtung

Überarbeitung DIN 5035 Teil 6 über Messung und Bewertung

Überarbeitung DIN 5035 Teil 7 über Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen

Überarbeitung DIN 5035 Teil 8 über Einzelplatzbeleuchtung in Büroräumen

Aktuelle Arbeiten des FAI

Bearbeitung einer LiTG Publikation zum Thema „UGR“

Bearbeitung einer LiTG Publikation zum Thema „Bürobeleuchtung“

Bearbeitung einer LiTG Publikation zum Thema „Wartungsfaktor“

Bearbeitung einer LiTG Publikation zum Thema „Museumsbeleuchtung“

- Sollte der Schlußentwurf der EN 12464 die notwendige Stimmenzahl nicht erreichen, so ist die Normung der Beleuchtung von Arbeitsstätten auf europäischer Ebene fehlgeschlagen. Damit entfällt auch das nationale Normungsverbot in diesem Bereich. Da dem DIN für viele Teile der DIN 5035 bereits seit längerem Anträge zur Überarbeitung vorliegen, könnten und müssten diese zügig bearbeitet werden.

Die oben erwähnten Arbeiten des FNL 4 und des FAI bieten sich hierfür als Grundlage an. Es ist dabei recht wahrscheinlich, dass bei einer Überarbeitung der DIN 5035 die Grundkonzepte der EN 12464, wie oben beschrieben, übernommen werden. Hierfür spricht u.a. der Umstand, dass bereits übernommene europäische Normen auf dem Gebiet Beleuchtungstechnik ebenfalls auf denselben Konzepten basieren:

So gibt z.B. die Norm zur Sportstättenbeleuchtung EN 12193 (in Deutschland veröffentlicht als DIN EN 12193) als Grenzwerte für die Beleuchtungsstärken Wertungswerte an und bewertete die Blendung u.a. nach dem UGR Verfahren. Außerdem liegt auch ein CIE-Entwurf für eine internationale CIE/ISO Norm zur Beleuchtung von Arbeitsstätten z.Z. zur internationalen Abstimmung vor, der inhaltlich weitgehend identisch ist mit dem EN 12464 Entwurf.

Es spricht also sehr viel dafür, sich mit den Konzepten und Inhalten der prEN 12464 intensiv zu beschäftigen – die Wahrscheinlichkeit, dass sie so oder so für die Planung von neuen Beleuchtungsanlagen schon im nächsten Jahr relevant wird, ist groß.

Literaturhinweise

/Seidl/ Seidel, M.; CEN, ISO, CIE – auf dem Weg von nationaler Regelsetzung zur internationalen lichttechnischen Normung, Tagungsband LICHT 2000

/Hentschel/Hentschel, H.-J.; Stellungnahme zu Fragen zonaler und Platzbeleuchtung im Rahmen der Norm DIN 5035

/Range/Range, H.D.; Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen LICHT 3/1998

/Leibig/Leibig, J.; Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen – aktueller Stand der Normung Tagungsband LICHT 1998

Notbeleuchtung: Neue europäische und internationale Vorschriften

Bruno Weis

1. Einleitung

Die Notbeleuchtung ist stark durch Normen und Vorschriften bestimmt. Vereinfacht kann man diesen Bereich in fünf Gruppen einteilen:

- Rechtsvorschriften
- Unfallverhütungsvorschriften
- Europäische Richtlinien
- Elektrotechnische Normen
- Lichttechnische Normen

Im folgenden werden ausschließlich die lichttechnischen Normen behandelt.

2. Lichttechnische Normung

2.1 Notbeleuchtung

Die internationale lichttechnische Normung wird bei ISO (International Organisation for Standardization) bzw. CIE (Commission International de Éclairage) durchgeführt. Auf der letzten CIE-Sitzung in Warschau 1999 wurde in der Division ein neues Gremium TC 5-19 Notbeleuchtung gegründet.

CEN ist das Europäische Komitee für die „Nichtelektrische Normung.“ Das technische Komitee TC 169 beschäftigt sich mit dem Thema: Licht und Beleuchtung.

In Deutschland galt bis Mitte 1999 die DIN 5035 Teil 5 Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht, Notbeleuchtung. Im Juli erschien die DIN EN 1838 Angewandte Lichttechnik, Notbeleuchtung als Ersatz für die DIN 5035-5. Die Europäische Norm EN 1838 hat den Status einer Deutschen Norm. Zuständig für die in dieser Norm behandelte Thematik ist der FNL 16 „Notbeleuchtung“ im Normenausschuss Lichttechnik (FNL) im DIN. Der Inhalt dieser Norm entspricht der Europäischen Norm EN 1838, die in der Arbeitsgruppe 3 „Notbeleuchtung“ des CEN/TC 169 unter Beteiligung der Fachleute des FNL 16 erarbeitet wurde. Diese Norm enthält Festlegungen zur Notbeleuchtung, die neben dieser Norm in Deutschland auch im Arbeitsschutzrecht, dem Unfallverhütungsrecht, des Recht der Überwachungsbedürftigen Anlagen und des Baurechtes geregelt sind.

2.2 Rettungswegkennzeichnung

Die internationalen Festlegungen zu diesem Thema werden bei ISO 3864 getroffen. In Deutschland gilt für die Sicherheitskennzeichnung die DIN 4844 Teil 3. Ergänzende Festlegungen finden sich hierzu in DIN 4844 Teil 1 und Teil 2. Regelungen zur Sicherheitskennzeichnung werden auch in der Unfallverhütungsvorschrift VBG 125 angegeben. Diese Unfallverhütungsvorschrift dient der Um-

setzung der Richtlinie 92/58/EWG des Rates über Mindestvorschriften für die Sicherheits- und/oder Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz vom 26. Juni 1992, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L 245/23 vom 26. August 1992.

2.3 Sicherheitswegeleitsysteme

Besteht die Gefahr, dass durch Verrauchung oder Verqualmung Personen die Orientierung verlieren oder die vorgeschriebenen Rettungswege und Notausgänge nicht erkennen können, sind bodennahe Sicherheitswegeleitsysteme vorteilhaft. Man kann sie unterteilen in elektrisch betriebene und lichtspeichernde Systeme. Elektrisch betriebene sind im allgemeinen auffälliger als lichtspeichernde Systeme wegen der höheren lichttechnischen Werte. Sicherheitswegeleitsysteme sind nur sinnvoll in Ergänzung zur Notbeleuchtung bzw. Allgemeinbeleuchtung. International werden die lichttechnischen Anforderungen in ISO/TC 145/SC 2/WG3 behandelt. In Deutschland ist der FNL 15 Sicherheitsleitsystem für dieses Thema zuständig.

3. Die Norm EN 1838

3.1 Allgemeines

Diese Norm gilt gleichlautend in folgenden 19 CEN-Ländern: Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich. Im Bezug auf den Artikel 118a des EG-Vertrages enthält diese Norm folgendes Vorwort: „Anwender dieser im Anwendungsbereich von Artikel 118a des EG-Vertrages erstellten Europäischen Norm sollten sich der Tatsache bewusst sein, dass kein formaler rechtlicher Zusammenhang zwischen Normen und Richtlinien, die ggf. nach Artikel 118a des EG-Vertrages erlassen wurde, besteht. Außerdem können durch die nationale Rechtssetzung in den Mitgliedsstaaten Anforderungen definiert werden, die über die Mindestanforderungen einer nach Artikel 118a erlassenen Richtlinie hinausgehen. Die Beziehung zwischen der nationalen Rechtssetzung in Umsetzung von Richtlinien nach Artikel 118a und der vorliegenden Europäischen Norm kann im nationalen Vorwort der nationalen Norm, mit der die vorliegende Europäische Norm umgesetzt wird, erläutert werden.“

3.2 Einteilung – Begriffe

Der Überbegriff ist wie bei der DIN 5035 Teil 5 die Notbeleuchtung. Diese wird unterteilt in Sicherheitsbeleuchtung und Ersatzbeleuchtung. Die Sicherheitsbeleuchtung ist der Teil der Notbeleuchtung, der Personen das sichere Verlassen eines Raumes/Gebäudes ermöglicht oder es Personen ermöglicht, einen potentiell gefährlichen Arbeitsablauf zu beenden. Die Ersatzbeleuchtung dient dem Zweck, dass notwendige Tätigkeiten im wesentlichen unverändert fortgesetzt werden können. Die Sicherheitsbeleuchtung wird unterteilt in Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege, Antipanikbeleuchtung und Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung. Neu ist die Antipanikbeleuchtung. Unter Antipanikbeleuchtung versteht man den Teil der Sicherheitsbeleuchtung, der der Panikvermeidung dienen soll und es Personen erlaubt, eine Stelle zu erreichen, von der aus ein Rettungsweg eindeutig als solche erkannt werden kann.

3.3 Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege

Die lichttechnischen Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege umfassen auf der einen Seite die Beleuchtung der Rettungswege auf der anderen Seite die Kennzeichnung der Rettungswege.

Die Leuchten für die Rettungswege sollten mindestens 2 m über dem Boden angebracht sein. Besonders hervorzuhebene Stellen sind:

- Jede im Notfall zu benutzende Ausgangstür
- höchstens 2 m entfernt von Treppen, damit jede Treppenstufe direkt beleuchtet wird
- höchstens 2 m entfernt von jeder Niveauänderung
- an vorgeschriebenen Notausgängen und Sicherheitszeichen
- bei jeder Richtungsänderung
- bei jeder Kreuzung der Gänge/Flure
- außerhalb und höchstens 2 m entfernt vom letzten Ausgang
- höchstens 2 m entfernt von jeder Erste-Hilfe-Stelle
- höchstens 2 m entfernt von jeder Brandbekämpfungsvorrichtung oder Meldeeinrichtung

Die wichtigsten lichttechnischen Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege sind:

Mindestbeleuchtungsstärke:

$$E_{\min} = 1 \text{ lx} \quad \text{auf dem Boden entlang der Mittellinie des Rettungsweges}$$

Gleichmäßigkeit:

$$\frac{E_{\max}}{E_{\min}} \leq 40 : 1 \quad \text{entlang der Mittellinie des Rettungsweges}$$

Begrenzung der physiologischen Blendung:

Die physiologische Blendung muss durch Begrenzung der Lichtstärke der Leuchten innerhalb des Gesichtsfeldes niedrig gehalten werden. Folgende Grenzwerte in Abhängigkeit von der Lichtpunkthöhe über dem Boden werden in der Norm angegeben.

Lichtpunkthöhe über dem Boden h/m	Maximale Lichtstärke I_{\max}/cd
$h < 2,5$	500
$2,5 < h < 3,0$	900
$3,0 < h < 3,5$	1600
$3,5 < h < 4,0$	2500
$4,0 < h < 4,5$	3500
$h \geq 4,5$	5000

Farberkennung:

Um Sicherheitsfarben eindeutig als solche erkennen zu können, muss der Farbwiedergabeindex R_a mindestens 40 betragen.

Nennbetriebsdauer: 1 h

Die Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege muss 50 % der geforderten Beleuchtungsstärke innerhalb von 5 s und die geforderte Beleuchtungsstärke innerhalb von 60 s erreichen. In Deutschland gilt z.B. für Bereiche, die in dem Geltungsbereich der Arbeitsstättenverordnung fallen: Die Zeitspanne zwischen Ausfall der allgemeinen künstlichen Beleuchtung bei Störung der Stromversorgung und dem Erreichen der erforderlichen Beleuchtungsstärke darf höchstens 15 s betragen.

3.4 Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung

Der Wartungswert für die Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung muss mindestens 10 % des für die Aufgabe erforderlichen Wartungswertes betragen, mindestens aber 15 lx. Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke darf 0,1 nicht unterschreiten. Die physiologische Blendung muss durch Begrenzung der Lichtstärke der Leuchten unmittelbar im Gesichtsfeld niedrig gehalten werden. Die Werte sind doppelt so hoch wie bei der Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege, da die Adaptationsleuchtdichte wesentlich höher ist.

Um Sicherheitsfarben eindeutig als solche erkennen zu können, muss der Farbwiedergabeindex Ra mindestens 40 betragen.

Die Nennbetriebsdauer muss so lange sein, wie die Gefährdung ansteht, am besten nimmt man hier auch eine Stunde.

Die Beleuchtungsstärke muss dauernd vorhanden sein oder innerhalb 0,5 s erreicht sein.

3.5 Antipanikbeleuchtung

Die Antipanikbeleuchtung ist neu für Deutschland und in den Rechtsvorschriften nicht verankert. Trotzdem erscheint sie sinnvoll und bringt gerade in Bereichen wie z.B. Sportstadien mit Fußballgroßveranstaltungen usw. eine erhöhte Sicherheit und ein besseres Auffinden der Rettungswege. Die Beleuchtungsstärke sollte in diesem Fall größer oder gleich 0,5 lx sein.

Das Verhältnis der größten zur kleinsten Beleuchtungsstärke darf 40:1 nicht überschreiten.

Die Begrenzung der physiologischen Blendung sollte genauso gehandhabt werden wie bei der Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege.

Um Sicherheitsfarben eindeutig als solche erkennen zu können, muss der Farbwiedergabeindex Ra mindestens 40 betragen. Die Beleuchtungsstärke muss innerhalb von 5 s 50 % und innerhalb von 60 s die geforderten Werte erreichen.

3.6 Sicherheitszeichen

Sicherheitszeichen müssen der Richtlinie 92/58/EWG, d.h. in Deutschland VBG 125 entsprechen. Sie müssen mindestens 50 % der geforderten Leuchtdichte innerhalb von 5 s und 100 % innerhalb von 60 s erreichen. Für die Anforderungen an die Farben gilt ISO 3864. Die Leuchtdichte der Sicherheitsfarbe (grün) muss

mindestens 2 cd/m^2 betragen. Innerhalb der Sicherheitsfarbe grün und innerhalb der weißen Fläche darf das Verhältnis der größten zur kleinsten Leuchtdichte nicht größer als $10 : 1$ sein. Das Verhältnis der Leuchtdichte der weißen Fläche zur Leuchtdichte der grünen Fläche soll zwischen $5 : 1$ und $15 : 1$ liegen.

Für die Erkennungsweite d gilt:

$$d = s \times p$$

p = Höhe des Piktogramms

$s = 100$ für beleuchtete Zeichen

$s = 200$ für hinterleuchtete Zeichen

Erläuterungen zur kommenden EN 13201

Straßenbeleuchtung

Robert Class

1. Die aktuelle Situation

Die EN 13201 wird in absehbarer Zeit die unterschiedlichen bestehenden Regelwerke im Bezug auf Straßenbeleuchtung in den CEN-Mitgliedsländern als gemeinsamen Standard ablösen.

Entsprechend dem derzeitigen Bearbeitungsstand soll die Norm aus 3 Teilen bestehen.

Teil 1: Gütemerkmale

Teil 2: Berechnung der Gütemerkmale

Teil 3: Methoden zur Messung der Gütemerkmale von Straßenbeleuchtungsanlagen

Für die Festlegungen hinsichtlich der Gütemerkmale, sowie die Definitionen der Verfahren zur Berechnung und Messung derselben kann davon ausgegangen werden kann, dass diese in der Schlußabstimmung bestätigt und somit normativen Charakter haben werden.

In Anhang C zum Teil 1 ist eine Fülle von Tabellen zusammengefasst, die die anwendungstechnischen Anforderungen an eine Verkehrsfläche in einen kausalen Zusammenhang mit den jeweiligen lichttechnischen Anforderungen für eine spezielle Verkehrs- /Beleuchtungssituation bringen. Diese eindeutige Zuordnung hat auf internationaler Ebene keine Zustimmung gefunden, so dass davon auszugehen ist, dass dieser Anhang informativ sein wird. Die einzelnen CEN-Mitgliedsländer haben auf nationaler Ebene die Möglichkeit, diese Zuordnung ganz oder teilweise als normativ zu erklären und damit den Zusammenhang verbindlich herzustellen.

2. Gütemerkmale

Die Gütemerkmale sind entsprechend den Beleuchtungssituationen und den dazu gehörenden Beleuchtungsklassen in 6 separaten Tabellen zusammengestellt, in denen die entsprechenden Beleuchtungsniveaus nicht mehr in Nennwerten, sondern als Wartungswerte dargestellt sind.

Wartungswerte – der mittleren Fahrbahnleuchtdichte, der mittleren oder minimalen horizontalen Beleuchtungsstärke einer Straßenfläche, der mittleren Beleuchtungsstärke im Halbraum, der minimalen Beleuchtungsstärke im halbzyklindrischen Raum oder der minimalen vertikalen Beleuchtungsstärke – sind Werte, die

Dipl.-Ing. Robert Class
AEG Lichttechnik GmbH
Rathenaustraße 2 – 6
D-81832 Springe

zu keiner Zeit des Betriebes unterschritten werden dürfen. Es obliegt ausschließlich dem Planer aufgrund seiner Kenntnisse über die lokalen Gegebenheiten, das entsprechende Umfeld, sowie die ausgewählten Lichtquellen, deren Betriebsgeräte und den Aufbau der einzusetzenden Leuchte einen Planungsfaktor festzulegen, der ökonomisch sinnvolle Wartungsintervalle erwarten läßt.

In den ME-Beleuchtungsklassen erscheinen neben der mittleren Fahrbahnleuchtdichte, der Längs- und der Gesamtgleichmäßigkeit zwei neue Begriffe – die Schwellenwerterhöhung und das Umgebungsbeleuchtungsstärkeverhältnis.

Die Schwellenwerterhöhung (TI) ist ein Maß für den Verlust von Sichtbarkeit eines Sehobjektes infolge der durch die Leuchten der Straßenbeleuchtung verursachten physiologischen Blendung.

Das Umgebungsbeleuchtungsstärkeverhältnis (SR) ist das Verhältnis der mittleren horizontalen Beleuchtungsstärken der beiden Längsstreifen unmittelbar neben dem jeweiligen Fahrbahnrand und außerhalb der Fahrbahn. Die Breite aller 4 Streifen – 2 im Bereich des linken Fahrbahnrandes und 2 im Bereich des rechten Fahrbahnrandes – muß entweder 5m oder die halbe Breite der Fahrbahn oder die Breite des freien Streifens neben der Fahrbahn betragen, je nachdem, welche Breite die geringste ist. Für Straßen mit Richtungstrennung werden beide Fahrbahnen zusammen als eine Fahrbahn betrachtet, es sei denn, der Abstand voneinander beträgt mehr als 10 m.

Alle Beleuchtungsklassen sind in aufsteigender Folge mit Ziffern gekennzeichnet. Dabei gilt: Je höher die Ziffer, desto geringer die Anforderungen.

In einigen Fällen, in denen die physiologische Blendung nicht durch die Schwellenwerterhöhung beschrieben werden kann, sind in der Tabelle A.1 die Lichtstärke – Intensitätsklassen G1 bis G6 angegeben, aus denen eine Klasse zur Blendungsbegrenzung ausgewählt werden kann.

In Tabelle A.2 sind die Blendindexklassen D0 bis D6 angegeben, aus denen eine Klasse ausgewählt werden kann, um die geeigneten Anforderungen für die Begrenzung der psychologischen Blendung zu erhalten.

Die Ermittlung der Gütemerkmale ist nachstehend zum besseren Verständnis anhand eines kurzen Beispiels erläutert:

Zu beleuchten ist eine innerstädtische Verkehrsstraße. Mit Hilfe der Tabelle C.1 aus Teil 1, Anhang C läßt sich anhand der typischen Geschwindigkeit des Hauptnutzers, der Art des Hauptnutzers, anderer zugelassener Nutzer und ausgeschlossener Nutzer eine Beleuchtungssituation A1 bis E2 ermitteln. Mit den Informationen für diese Straße über die typische Geschwindigkeit und die Nutzer (unterlegte Bereiche in Bild 1) findet man zur Beleuchtungssituation B2.

Diese Beleuchtungssituation führt dann über die Tabelle D.5a zu den für diese Situation empfohlenen ME-Beleuchtungsklassen. Mit den Informationen zu den spezifischen Anlageparametern Hauptwettertyp, Maßnahmen zur Verkehrsberu-

higung, Kreuzungsdichte, Schwierigkeit der Fahraufgabe und Verkehrsfluß (unterlegte Bereiche in Bild 2) erhält man 3 mögliche ME – Beleuchtungsklassen. Die Tabelle D.5b ermöglicht nun anhand von weiteren spezifischen Anlageparametern wie das Vorhandensein von Konfliktzonen, Komplexität des Gesichtsfeldes, geparkte Fahrzeuge, Niveau der Umgebungshelligkeit und Verkehrsfluß der Radfahrer, die Konzentration auf nur eine ME-Beleuchtungsklasse. Wendet man die Informationen, die für diese Verkehrsstraße zur Verfügung stehen auf Tabelle D.5b an, (unterlegte Bereiche in Bild 3) erhält man als Hinweis einen nach links weisenden Pfeil.

Mit dieser Information begibt man sich nun wieder in Tabelle D.5a (Bild 4) und findet dann unter dem nach links weisenden Pfeil die Beleuchtungsklasse ME4b. Damit sind die lichttechnischen Anforderungen an die Beleuchtung der innerstädtischen Verkehrsstraße festgelegt. Die konkreten Angaben findet man dann schließlich in Tabelle 1a für die Beleuchtungsklasse ME4b in dem unterlegten Bereich (Bild 5).

3. Berechnung der Gütemerkmale

Die Berechnung der Gütemerkmale erfolgt im Wesentlichen auf den in der DIN 5044 genannten Verfahren und erfordert daher keine zusätzliche Kommentierung.

4. Messung der Gütemerkmale

Hier werden Verfahren zur Durchführung von photometrischen und anderen Messungen an Straßenbeleuchtungsanlagen beschrieben, Empfehlungen bei der Anwendung und der Auswahl von Leuchtdichte- und Beleuchtungsstärke-meßgeräten gegeben und anhand eines Beispiels für ein Prüfberichtformular eine Empfehlung für die Dokumentation der gesamten Messung gegeben.

5. Zusammenfassung

Der vorliegende Entwurf für die EN 13201 Straßenbeleuchtung gibt dem Planer, trotz eines häufig sehr komplexen Erscheinungsbildes, in einfacher Weise eine Fülle von Anregungen und Hilfestellungen. Er berücksichtigt bei der Ermittlung der entsprechenden Gütemerkmale neben den grundlegenden Anforderungen an eine zu beleuchtende Verkehrsfläche auch spezifische Parameter einer konkreten Beleuchtungsaufgabe, wie in Abschnitt 1 beschrieben.

Tabelle 1a : ME - Beleuchtungsklassen

Klasse	Fahrbahnleuchtdichte bei trockener Straßenoberfläche			Schwellenwert- erhöhung	Umgebungs- Beleuchtungs- stärkeverhältnis
	L in cd / m ² [Mindestwert, Wartungswert]	U ₀ [Mindestwert]	U ₁ [Mindestwert]	TI in % ¹⁾ [Höchstwert]	SR ²⁾ [Mindestwert]
ME1	2,0	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3a	1,0	0,4	0,7	15	0,5
ME3b			0,6		
ME3c			0,5		
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b			0,5		
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	--

¹⁾ Ein zusätzlich um 5% erhöhter TI - Wert kann bei Verwendung von Lichtquellen mit geringer Leuchtdichte zugelassen werden.
²⁾ Dieses Kriterium ist nur zu verwenden, wenn keine Verkehrsflächen mit eigenen Anforderungen an die Fahrbahn angrenzen.

Bild 1

Tabelle C.1 : Klassifikation der Beleuchtungssituationen

Typische Geschwindigkeit des Hauptnutzers in km/h	Nutzertypen innerhalb einer betrachteten Fläche			Situa- tionen
	Hauptnutzer	Andere zugelassene Nutzer	Ausgeschlossene Nutzer	
> 60	Motorisierter Verkehr	Andere zugelassene Nutzer	Langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer Fußgänger	A1
			Langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer Fußgänger	A2
			Langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer Fußgänger	A3
> 30 und <= 60	Motorisierter Verkehr	Radfahrer	Motorisierter Verkehr	B1
	Langsam fahrende Fahrzeuge	Fußgänger	Langsam fahrende Fahrzeuge	B2
	Motorisierter Verkehr	Fußgänger	Motorisierter Verkehr	
	Langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer	Fußgänger	Langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer	C1
> 5 und <= 30	Motorisierter Verkehr Fußgänger	Langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer	Motorisierter Verkehr Langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer	D1
			Langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer	D2
	Motorisierter Verkehr Radfahrer	Langsam fahrende Fahrzeuge Fußgänger		D3
	Motorisierter Verkehr Langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer			D4
	Langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer Fußgänger			
Schritt- geschwindigkeit	Fußgänger	Motorisierter Verkehr Langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer	Motorisierter Verkehr Langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer	E1
			Motorisierter Verkehr Langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer	E2

Bild 2

Tabelle D.5a: Empfohlener Bereich der Beleuchtungsklassen

Haupt-Wettertyp	Maßnahmen zur Verkehrsberuhigung	Kreuzungsdichte Kreuzungen / km	Schwierigkeit der Fahraufgabe	Verkehrsfluß Anzahl der Fahrzeuge pro Tag					
				< 7000			> 7000		
				←	O	→	←	O	→
trocken	nein	< 3	normal	ME5	ME5	ME4b	ME4b	ME4b	ME3c
		>= 3	höher als normal	ME4b	ME4b	ME3c	ME4b	ME4b	ME3c
			normal	ME4b	ME3c	ME2	ME3c	ME3c	ME2
	ja	höher als normal	ME3c	ME3c	ME2	ME3c	ME3c	ME2	
			Wie oben, aber nur an verkehrsberuhigten Flächen statt MEX => MEX-1 wählen ¹⁾						
naß			Wie oben, aber MEW - Klassen wählen						
¹⁾ Wenn die Leuchtdichte als Auslegungskriterium nicht anzuwenden ist, kann die Beleuchtungsstärke verwendet werden. Zu den empfohlenen ME - Klassen vergleichbare CE - Klassen werden in Tabelle C.3 angegeben.									

Bild 3

Tabelle D.5a: Empfohlener Bereich der Beleuchtungsklassen

Haupt-Wettertyp	Maßnahmen zur Verkehrsberuhigung	Kreuzungsdichte Kreuzungen / km	Schwierigkeit der Fahraufgabe	Verkehrsfluß Anzahl der Fahrzeuge pro Tag					
				< 7000			> 7000		
				←	O	→	←	O	→
trocken	nein	< 3	normal	ME5	ME5	ME4b	ME4b	ME4b	ME3c
		>= 3	höher als normal	ME4b	ME4b	ME3c	ME4b	ME4b	ME3c
			normal	ME4b	ME3c	ME2	ME3c	ME3c	ME2
	ja	höher als normal	ME3c	ME3c	ME2	ME3c	ME3c	ME2	
			Wie oben, aber nur an verkehrsberuhigten Flächen statt MEX => MEX-1 wählen ¹⁾						
naß			Wie oben, aber MEW - Klassen wählen						
¹⁾ Wenn die Leuchtdichte als Auslegungskriterium nicht anzuwenden ist, kann die Beleuchtungsstärke verwendet werden. Zu den empfohlenen ME - Klassen vergleichbare CE - Klassen werden in Tabelle C.3 angegeben.									

Bild 4

Tabelle D.5b: Empfohlene Wahl aus dem Bereich der Beleuchtungsklassen

Konfliktzone	Komplexität des Gesichtsfeldes	geparkte Fahrzeuge	Niveau der Umgebungshelligkeit					
			gering		mittel		hoch	
			Verkehrsfluß Radfahrer		Verkehrsfluß Radfahrer		Verkehrsfluß Radfahrer	
			normal	hoch	normal	hoch	normal	hoch
nein	normal	nicht vorhanden	←	O	←	O	O	O
		vorhanden	O	→	O	→	→	→
	hoch	nicht vorhanden	O	O	O	O	O	O
		vorhanden	O	O	→	→	→	→
ja	→ ¹⁾							
¹⁾ In Konfliktzonen ist die Leuchtdichte das zur Planung empfohlene Kriterium. Die Beleuchtungsstärke kann als Kriterium verwendet werden, wenn die Leuchtdichte wegen geringer Sichtweiten und anderer Faktoren nicht zu verwenden ist. Zu den empfohlenen ME - Klassen vergleichbare CE - Klassen werden in Tabelle C.3 angegeben.								

Bild 5

NESA – Planungshilfe Büroarbeitsplatz

Integriertes EDV-Programm zur komfortgerechten, energieeinsparenden, solar- und tageslichtnutzenden Planung sowie Optimierung von Büroarbeitsplätzen

Alex Lohr, Florian Franzen, Alexander Kort, Andreas Schuffenhauer, André Sielski

1. Ausgangslage

Die Energieeinsparpotenziale von Bürogebäuden sind in den frühen Planungsphasen von Gebäuden sehr hoch. Um in Niedrigenergie-Bürogebäuden das Energieeinsparpotential optimal ausschöpfen zu können, müssen energiesparende und tageslichtnutzende Maßnahmen frühzeitig in den Entwurf eingebracht werden (Abb.1). Dies um so mehr, da heute überwiegend Computerarbeitsplätze eingerichtet werden und deren gute Beleuchtung ausschlaggebend für das Wohlbefinden der dort Arbeitenden ist. Gleichzeitig müssen sommerliche Überhitzung sowie Blendungs- und Kontrastprobleme am Bildschirmarbeitsplatz frühzeitig erkannt und dann vom Architekten richtig gelöst werden. Der Architekt steht in der Verantwortung, sowohl den Energieverbrauch und den daraus resultierenden CO₂-Ausstoß eines Bürogebäudes als auch die Komfortbedingungen der zukünftigen Büroraumnutzer zu optimieren.

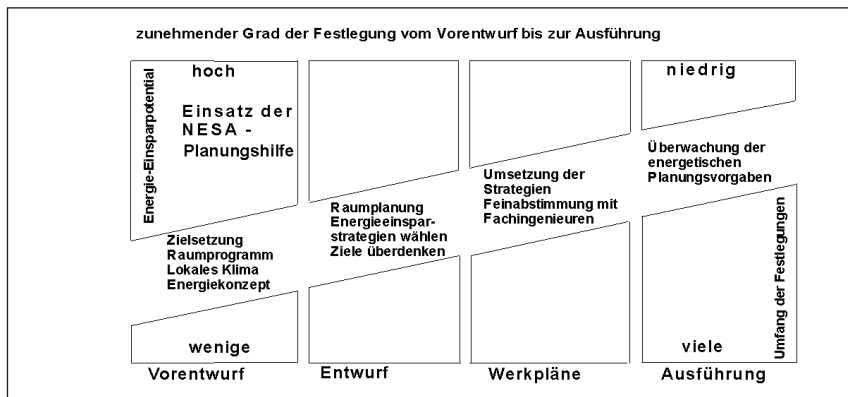


Abb. 1: Energiesparpotenziale in der Gebäudeplanung und -ausführung

Arch. Dipl.-Ing. Alex Lohr, M.S.Arch.
 Dipl.-Ing. Florian Franzen
 Dipl.-Inf. Alexander Kort
 Dipl.-Ing. Andreas Schuffenhauer
 Dipl.-Inf. André Sielski
 Büro für energiegerechtes Bauen (BEB)
 Meerfeldstr. 1a, D-50737 Köln

Eine Vielzahl von Parametern hat einen komplexen Einfluss auf den Energieverbrauch und die Komfortbedingungen eines Büroraumes. Dazu zählen u.a. Standort, Umgebung, Fassadenausbildung usw. (Abb. 2). Änderungen nur eines Parameters haben direkten Einfluss auf den Energieverbrauch und den Komfort. Wenn z.B. das Südfenster eines Büroraumes stark vergrößert wird, sinkt wegen der größeren solaren Wärmegewinne der Heizenergieverbrauch im Winter, aber gleichzeitig steigt durch diese Maßnahme die Raumtemperatur im Sommer, so dass evtl. eine Kühlanlage erforderlich wird. Hinzu kommt die Verschlechterung des Komforts durch Blendungserscheinungen am Bildschirmarbeitsplatz. Bislang gibt es noch kein Programm zur gleichzeitigen Berechnung aller Energieverbräuche und Beurteilung der Komfortbedingungen eines Büroraumes.

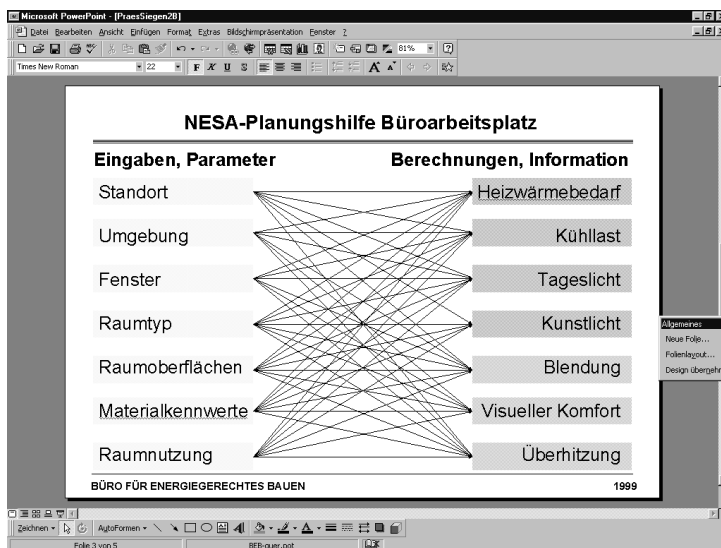


Abb. 2: Zusammenhang von Eingaben und Ausgaben

2. Zielsetzung des Programms

Die „NESAs-Planungshilfe Büroarbeitsplatz“ ist ein leicht zu bedienendes Simulations-programm zur Unterstützung von Planern (Architekten und Ingenieuren) beim Entwurf von Bürogebäuden in Niedrig-Energie-Solar-Architektur (NESAs). Außerdem dient das Simulationsprogramm dazu, komplexe Zusammenhänge der Niedrig-Energie-Solar-Architektur in den Planungsbüros bekannt und in Ausbildungsstätten interaktiv erlernbar zu machen.

Das Programm integriert sämtliche Tageslicht-, Kunstlicht- sowie Energieberechnungen und zeigt dem Planer die komplexen Zusammenhänge auf. Eine Optimierung des Vorentwurfes bezüglich Energieverbrauch und Komfort wird so ermöglicht, ohne dass erst die Ergebnisse umfangreicher, problemspezifischer Einzelsimulationen des bereits fertigen Entwurfs abgewartet werden müssen

(Abb. 3). Bislang kann kein Architekt zeit- und kostenaufwendige dynamische Simulationen von Bürogebäuden durchführen. Und werden ihm von Ingenieuren Simulationsergebnisse seines Entwurfs vorgelegt, kann er diese nur schwer wieder in Architektur umsetzen. Zudem dienen Simulationsrechnungen fast ausschließlich der genaueren Auslegung von haustechnischen Anlagen, aber zu selten der Optimierung des baukonstruktiven Teils. Eine mehrfache, optimierende Abfolge von Entwurf des Architekten, Simulationsberechnung des Ingenieurs und Änderung des Entwurfs ist sehr zeitaufwendig. Nimmt man dazu noch die überschlägige Bewertung verschiedener Entwurfs-Alternativen hinsichtlich ihrer Licht- und Energieprofile, so entstehen hohe Planungskosten.

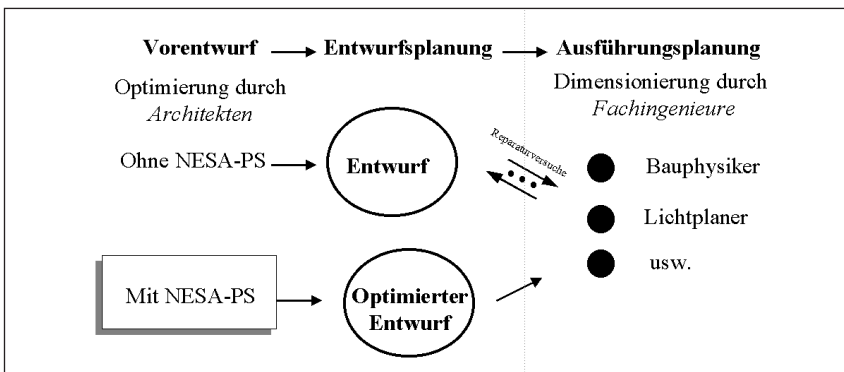


Abb. 3: Einbettung in den Arbeitsprozess

An dieser Stelle setzt die „NESA Planungshilfe Büroarbeitsplatz“ an. Statt eines kompletten Bürogebäudes werden nur einzelne Büroräume (einseitig, zweiseitig oder dreiseitig belichtet) innerhalb dieses Gebäudes simuliert und optimiert, denn oftmals sind die Büroräume gleich, nur ihre Orientierung und Lage variiert. Dies reduziert den Datenumfang bei der Eingabe, die Rechenzeit und erlaubt eine einfachere Analyse der Ergebnisse. Durch die Integration von Entwurfs- und Berechnungsprozess dauert die Eingabe eines kompletten Büroraums und Berechnung aller Energieverbräuche auf einem Pentium II nur ca. fünf Minuten.

3. Rechnergestützter Vorentwurf im Planungsprozess

Die „NESA Planungshilfe Büroarbeitsplatz“ ermöglicht dem Architekten schon beim Vorentwurf von Büroräumen eine schnelle Bewertung mit hinreichender Genauigkeit. Ihm werden die versteckten Eigenschaften seines Entwurfs offenlegt. In einem integrierten Programmpaket erhält er alle wichtigen Informationen, ohne mit komplexen Berechnungen oder Recherchen belastet zu werden. Schneller Skizzierung folgen direkt die Berechnung und Darstellung von Kennwerten. Dabei können mehrere Räume als Repräsentanten verschiedener Raumtypen mit verschiedenen Fassadenorientierungen eingegeben werden. Schnelle Veränderbarkeit ermöglicht es ihm seinen virtuellen Büroraum mittels Parameterstudien hinsichtlich Energiebedarf und Nutzungskomfort zu verbessern. Im anschließenden Entwurf kann der Planer die optimierten Einzelräume zu

Raumfolgen zusammenfassen und so für jede Fassadenorientierung und jeden Raumtyp des ganzen Bürogebäudes seine mit dem NESA-Programm entwickelten Lösungen berücksichtigen. Der bereits optimierte, komplette Büroentwurf kann dann an die beteiligten Fachingenieure zur detaillierten Simulation und Dimensionierung weitergereicht werden.

4. Schneller Vorentwurf durch sofortige Berechnungen

Die Folgen einzelner Entwurfsentscheidungen, seien es bauliche Orientierung der Raumes, seine bauphysikalischen Eigenschaften oder die Platzierung der Arbeitsplätze im Raum werden sofort berechnet und dargestellt. Die „NESA Planungshilfe Büroarbeitsplatz“ ermöglicht durch diese schnelle Rückkopplung zwischen Entscheidung und Auswirkung interaktives Lernen der komplexen Zusammenhänge der Niedrig-Energie-Solar-Architektur.

Dazu ist eine Neuberechnung sofort nach jeder Entwurfsänderung nötig, es kann nicht auf die Eingabe eines kompletten Entwurfs gewartet werden. Zu diesem Zweck werden für nicht explizit vom Nutzer eingegebene Werte Vorgaben genutzt. Diese stützen sich auf Normen oder die bauliche Praxis. Sie sind vom Nutzer einsehbar und veränderbar. Da jede Änderung eine Neuberechnung bedingt, müssen alle möglichen Eingaben stets zu einem berechenbaren Büroraum führen. Dies ist eine der Leitideen der intuitiven Benutzerführung.

5. Schneller Vorentwurf durch visuelle Nutzerschnittstelle

Damit das Programm vom Anwender ohne lange Einarbeitungszeiten leicht bedienbar ist, wurde ein grafisches, maussensitives Eingabemodul entwickelt. In Lageplan (Abb. 4), Grundriss, Außenansicht und 3D-Perspektiven kann der

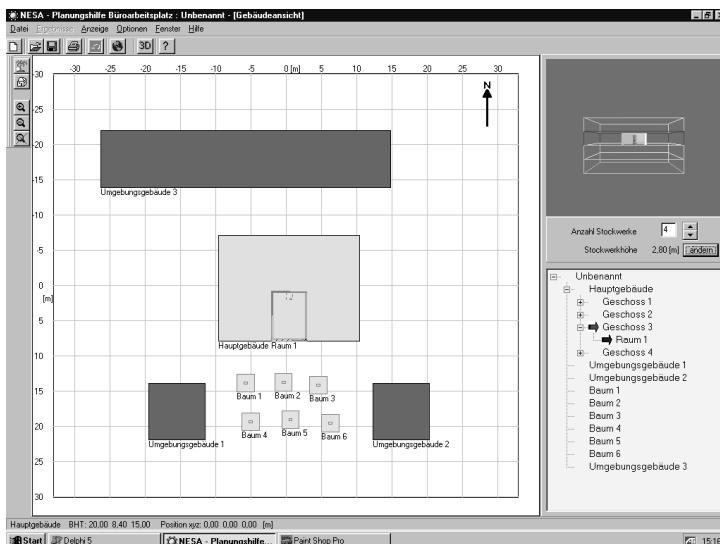


Abb. 4: Lageplan mit Bürogebäude und zu berechnendem Büroraum

Programmnutzer alle Eingaben überprüfen, variieren, sowie präsentieren. Der Standort des Gebäudes wird mit einem Mausklick auf einer Landkarte gewählt. Damit lädt das Programm im Hintergrund die zugehörigen Klimadaten, sowie die geografische Lage. Benachbarte Gebäude und Bepflanzung zeichnet der Nutzer rund um das Bürogebäude in den Lageplan. Gebäudehöhe und Lage sind mit wenigen Mausbewegungen variierbar. Die Lage des Raumes im Gebäude kann ebenfalls durch einfache Verschiebung entlang einer Außenwand verändert werden, dabei werden dem Nutzer nur für die Modellierung sinnvolle Möglichkeiten angeboten. Fenster, horizontaler und vertikaler Sonnenschutz werden für alle Außenwände grafisch eingegeben. Büromöbel, Leuchten und Geräte sowie animierte Personen an ihren Arbeitsplätzen lassen sich auf intuitive Weise im Büroraum positionieren. Mit dem Platzieren virtueller Personen, der Leuchten und Bürogeräte werden gleichzeitig die internen Wärmelasten für die Berechnungen zur Verfügung gestellt.

Aus den grafischen Geometrieingaben des Benutzers werden automatisch alle für die Energieberechnungen relevanten Flächen ermittelt. Geometrische Daten, z.B. Fenster- und Monitorpositionen, fließen mit Sonnenstandsdaten und umgebenen Gebäuden und Bepflanzung in die Blendungsberechnung ein. Die Software enthält alle für die Berechnung notwendigen Klimadaten und Materialkennwerte in Datenbanken. Abhängig vom gewählten Standort werden die entsprechenden Klimadaten automatisch geladen und die Sonnenstandsdaten berechnet.

6. Lichtberechnungen: Tageslicht und Kunstlicht

Alle Lichtberechnungen laufen im Programmhintergrund. Schon während des Zeichnens eines Fensters werden die Auswirkungen auf die Tageslichtverteilung im Büroraum visualisiert (Abb. 5). Neben dem Tageslichtquotienten werden Beleuchtungsstärken bei klarem und bedecktem Himmel sowie zylindrische Beleuchtungsstärken und Schattigkeit berechnet. Sowohl reines Kunstlicht als auch Mischlicht können simuliert werden. Zur Festlegung der erforderlichen Kunstlicht-Nennbeleuchtungsstärke analysiert das Programm automatisch, ob z.B. tageslichtorientierte Arbeitsplätze eingerichtet wurden. Weiter prüft es, ob eine arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung vorgesehen ist. Der Programmnutzer erhält dann Aussagen darüber, ob die Beleuchtungsanlage ausreichend oder zu groß geplant wurde. Die Kunstlichteinschaltzeiten werden automatisch für jede Leuchte des Büroraumes in Abhängigkeit vom vorhandenen Tageslicht und den gewählten Büroarbeitszeiten berechnet. Die daraus resultierenden internen Wärmelasten fließen in die Kühllastberechnung und die Stromverbrauchsabschätzung ein.

7. Komfort-Analyse: Blendung und Überhitzung

Abhängig vom Gebäudestandort und der Arbeitsplatzsituation der zukünftigen Büroraumnutzer werden eventuell auftretende Blendungserscheinung auf den virtuellen Bildschirmen monats- und stundengenau angezeigt, so dass der Architekt im Entwurf Fenstergrößen, deren Positionen sowie die Anordnung der Büromöbel und Monitore optimieren kann. Das Programm stellt verschiedene Sonnenschutzmaßnahmen zur Verfügung und berücksichtigt den Einfluss der

umgebenden Verbauung Abb. 6). Für die Sommermonate werden die entstehenden Raumtemperaturen stundengenau berechnet. Überheizungszeiten mit Raumlufttemperaturen größer als 26 °C werden markiert (s. Abb 7: Kühllastdialog).

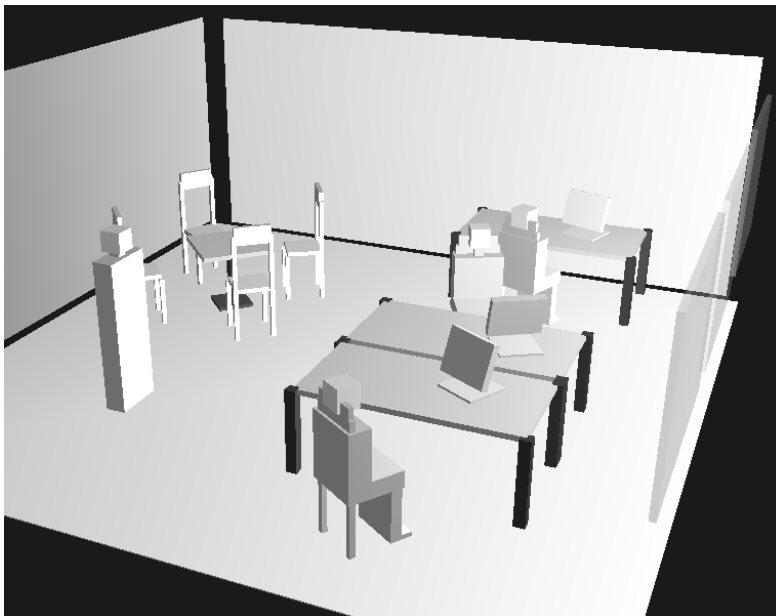
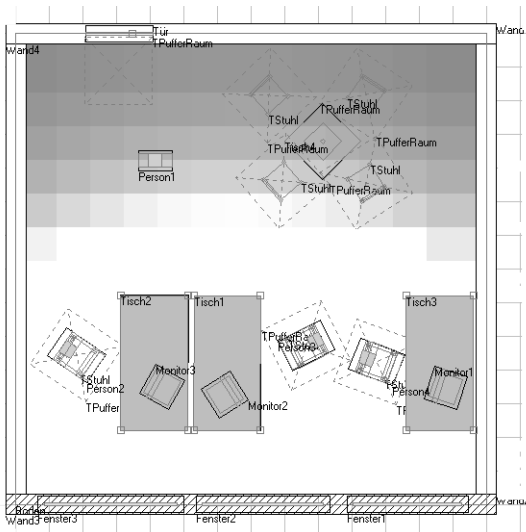


Abb. 5: Tageslichtquotienten eines Büroraumes und dreidimensionale Ansicht

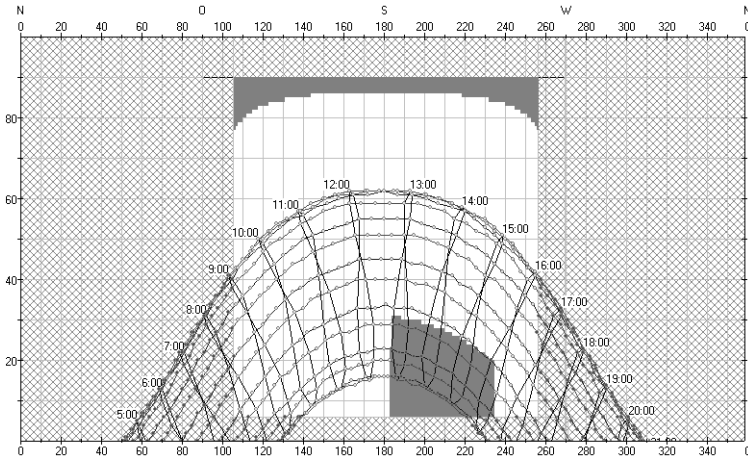


Abb. 6: Sonnenverlaufskurven und Verschattung durch umgebende Bebauung

8. Energie- und CO₂-Berechnungen

Heizwärmebedarf, Kühlenergie und sonstige Stromverbräuche werden in Primärenergie umgerechnet und der daraus resultierende jährliche CO₂-Ausstoß wird angezeigt. Umweltbewussten Planern wird damit schon in den frühen Planungsphasen von Bürogebäuden eine wichtige Entwurfshilfe zur Verfügung gestellt.

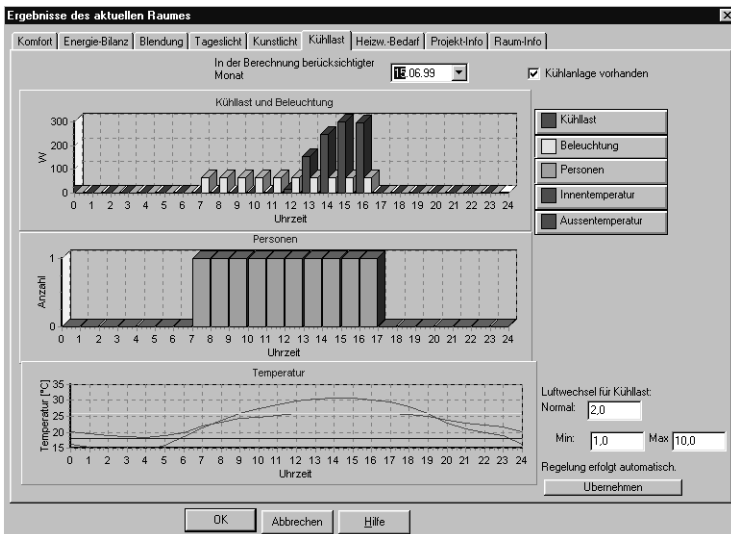


Abb. 7: Kühllastdialog

9. Ergebnisdarstellung

In einer ausführlichen Ergebnispräsentation werden Informationen zu allen Energie-, Beleuchtungs- und Komfortberechnungen dargestellt. Auch diese Ausgabe erfolgt vorzugsweise visuell. Dort wo die Art der berechneten Daten keine grafische Darstellung erlaubt, zeigen Farben Änderungen und deren Bewertung an. Alle Ergebnisse werden auch in einer Schnellbewertung angezeigt, so dass der Planer direkt die Auswirkungen von Änderungen des Raumes, der Möblierung und der Personenanzahl auf Heizwärmebedarf, Kühllast und Komfort erkennen kann.

Da die „NESA-Planungshilfe Büroarbeitsplatz“ sowohl unterschiedliche Raumtypen als auch Variationen unter diesen bewertet, existieren komfortable Möglichkeiten zu Auswahl und Darstellung der Kennwerte von zu vergleichenden Büroräumen (Abb. 8).

10. Förderung und Vertrieb

Das Software-Projekt wurde vom Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein Westfalen im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft Solar gefördert. Im Sommer 2000 können sich Interessierten eine im Umfang reduzierte Beta-Version aus dem Internet zum Kennenlernen herunterladen: Im Herbst 2000 wird die Vollversion der „NESA-Planungshilfe Büroarbeitsplatz“ über die gleiche Adresse zu bestellen sein.

Raumvergleich

Hauptgebäude

Hauptgebäude			Geschr.
k-Wert Boden	[W/m²K]	0,60	
k-Wert Dach	[W/m²K]	0,30	
LuftWechselzahl	[1/h]	0,80	
AV-Verhältnis:			
Gesamte Außenfläche	[m²]	1.188,00	796
Volumen (BRT)	[m³]	2.520,00	840

Räume

Raum 1. 1. 1. 1
Geschoss 3
Interne Gewinne
(während der Heizperiode)

	[kWh/a]			
durch Personen :	74,90	37,45	37,45	37,45
durch Leuchten :	126,00	126,00	126,00	126,00
durch Geräte :	535,00	535,00	535,00	535,00
Gesamtgewinne :	735,90	698,45	698,45	698,45

*nicht ber. = der Wert wurde noch nicht berechnet. Berechnungen können im Menü Ergebnisse aufgerufen werden.

Buttons: DruckVorschau, Drucken, OK, Hilfe

Abb. 8: Vergleichsdialog

Computerunterstützte Lichtplanung in der Architektur

Neue Ansätze zur Evaluierung qualitativer Lichtplanung

Stephen Wittkopf

Abstract

Dieser Beitrag zeigt neue Ansätze, wie der als sehr hoch geltende Aufwand für computerunterstützte Lichtsimulationen verringert werden kann, um diese Technik für die Lehre und Planung vom Licht in der Architektur effizienter zu verwenden.

Schlüsselbegriffe

Licht, Lichtplanung, Architektur, Gestaltung, Entwurf, Planungsbeispiel, Virtuelles Labor, Visualisierung, 3D-CAD, Simulation, backwards Raytracing, Radiosity, World Wide Web

1. Einführung

Computerunterstützte Architektur-Visualisierungen sind mittlerweile bei der Präsentation von Bauvorhaben selbstverständlich geworden. Erlaubt ist was gefällt und was hilft, die Vorstellung des Architekten zu verdeutlichen. Realitätsnähe, d.h. wie ein Bauwerk später aussehen wird, ist eher ein untergeordnetes Ziel, oft geht es um die Verbildlichung von Konzepten, für die CAD und Bildverarbeitungsprogramme viele neue Ausdrucksformen bieten.

2. Computerunterstützte Simulation

Der präsentationsorientierten Visualisierung steht die planungsorientierte Simulation gegenüber. Die computerunterstützte Lichtsimulation bietet speziell bei der Lichtplanung die Möglichkeit, einen Beleuchtungsentwurf qualitativ und quantitativ zu überprüfen. Die Grundlage dafür bildet ein dreidimensionales CAD-Modell, dessen Geometrie um Material- und Lichteinstellungen ergänzt wird. Die anschließenden Berechnungen der Lichtverteilung basieren auf den anerkannten Algorithmen der globalen Beleuchtung (backwards Raytracing und Radiosity) und ergeben nahezu fotorealistische Darstellungen. Sie ermöglichen sowohl die Darstellung der qualitativen Lichtwirkungen als auch die quantitative Ausgabe von Beleuchtungsstärken, Leuchtdichten oder Tageslichtquotienten. Die virtuelle Kamera kann gegenüber der Fotokamera im handwerklichen Modell jede Position und Zielrichtung annehmen und steht dabei keinem Licht im Weg, bzw. erfordert keine aufwendigen Öffnungen im Modell. Parameter der Beleuchtung, der Geometrie oder des Materials können einzeln verändert und deren Auswirkungen isoliert betrachtet werden.

Dipl.-Ing. Architekt Stephen Wittkopf
Fachhochschule München
Fachbereich Architektur
Karlstrasse 6
D-80333 München

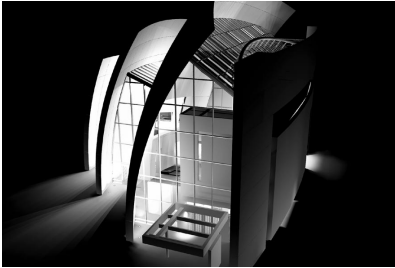


Abb. 1-2: Chiesa2000 (Simulation), Architekt: Richard Meier. Die virtuelle Kamera kann im Gegensatz zur Fotokamera im handwerklichen Modell jede Position einnehmen

3. Allgemeine Akzeptanz

Lichtplaner und Architekten blicken trotzdem noch skeptisch auf die computerunterstützte Lichtsimulation. Die Gründe dafür liegen auf der Hand. Die erforderlichen Vorarbeiten (Pre-Processing) dauern einfach noch viel zu lange, bis Simulationen berechnet werden können und Ergebnisse vorliegen, die als verlässliche Planungsgrundlage herangezogen werden können. Die Zeit ist nach einer endlich gelungenen Simulation viel zu knapp für weitere Variantenüberprüfungen, dort also, wo die Simulation ihre Vorteile ausspielen könnte. Die gewonnenen Erkenntnisse werden darüberhinaus nur sehr selten in den Entwurf eingearbeitet. Dieser ganze unterschätzte Aufwand lässt das eigentliche Ziel, die Überprüfung bzw. Optimierung eines Entwurfs in weite Ferne rücken und letztlich dient die Simulation doch nur der Präsentation und nicht der Planung.

4. Unterschätzter Pre-Processing Aufwand

Einer der häufigsten Fehler ist die Annahme, dass mit dem Vorhandensein eines 3D-CAD Modells eigentlich schon alles bereit sein müsste für eine Simulation per Knopfdruck. Diese Forderung ist sicherlich nachvollziehbar, die Praxis sieht aber ganz anders aus.

Oft ist dem Anwender nicht bewusst, dass 3D-CAD Volumenmodelle, die für Werkplanungen und Massenermittlungen erstellt werden, nicht automatisch auch für Lichtsimulationen geeignet sein müssen. Diese bevorzugen 3D-Flächenmodelle und spezielle Layer-Strukturierungen. Die notwendige Anpassung ist mit viel zeitraubender Handarbeit verbunden.

Weitere Verzögerungen treten auf, wenn die gewünschten Materialien oder Leuchten nicht aus Bibliotheken abrufbar sind und aufwendig erstellt werden müssen. Gerade im Materialbereich steht der Anwender dann oft vor der Aufgabe, physikalische Eigenschaften seines Materials detailliert zu definieren. Gerade für die Simulation architektonisch interessanter Materialien, deren physikalische Eigenschaften sehr komplex sind, muss neben der Körperfarbe (z.B. über den RAL-Standard) auch das Verhältnis von gerichteten und diffusen Reflexionen, bzw. Transmissionen definiert werden. Erst dadurch kann in der Simulation z.B. ein gesandstrahltes Glas von Milchglas oder klarem Glas differenziert werden. Noch komplexer wird es z.B. bei polarisiertem Glas oder gebürstetem Aluminium, denn hier sind die Verhältnisse aus diffusen und gerichteten Transmis-

sionen bzw. Reflexionen nicht konstant, sondern abhängig vom Winkel des einfallenden Lichts. Diese Werte werden durch Funktionen beschrieben, die die bidirektionale Transmission (BTDF), bzw. Reflexion (BRDF) beschreiben. Obwohl sie für eine physikalisch exakte Simulation des Materials wichtig sind, sind sie von den meisten Baustoffherstellern nicht dokumentiert und werden dementsprechend auch von den meisten Simulationsprogrammen nicht berücksichtigt. Zur Zeit werden aber entsprechende Messgeräte entwickelt, die von einer beliebigen Oberfläche entsprechende Kenngrößen ermitteln. Gerade bei der Verwendung von Radiosity Programmen, die auf einer vereinfachten Reflexion, bzw. Transmission von Licht auf Oberflächen (ideal diffus) basieren, sollte man auf die Verwendung solcher Materialien verzichten.



Abb. 3–4: Byzantine Fresco Chapel Museum (Simulation), Architekt: F. de Menil. Die realistische Lichtwirkung des gesandstrahlten Glases ergab sich zufällig durch eine physikalisch nicht nachvollziehbare Einstellung des Glas-Brechungsindex

Auch die Berechnung funktioniert nicht auf Knopfdruck, oft muss man noch viele Parameter einstellen, bis man in akzeptabler Zeit ein gutes und verlässliches Simulationsergebnis erzielt. Denn während sich das reale Licht in Architekturmodell in sekundenbruchteilen mit Lichtgeschwindigkeit verteilt hat, ist die Nachbildung dieses Vorgangs im Rechner ein komplexer und die entsprechende Berechnung ein dementsprechend langwieriger Prozess. Rechenzeiten von mehreren Stunden sind keine Seltenheit. Solche Antwortzeiten sind für Planungszwecke sicherlich ungeeignet.

Eine Methode, die Berechnungszeit zu verkürzen, ist die Vergabe von abstrakten Eigenschaften, mit denen man z.B. die Berechnungsqualität des Schattens oder der Lichtreflexion einzelner Flächen steuern kann. Damit kann man dort die Komplexität der Berechnung reduzieren oder sogar ganz ausschalten und so die Berechnungsdauer deutlich verkürzen. Allerdings ergeben sich oft unnatürliche Eindrücke, wenn man diese Prozessparameter falsch setzt. Ein Stuhl, der den Boden berührt, aber keinen Schatten wirft (weil diese Eigenschaft ausgeschaltet wurde), scheint fälschlicherweise über dem Boden zu schweben. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass eine computerunterstützte Simulation mit zeitaufwendigen Vorarbeiten und vielen Stolpersteinen verbunden ist,

und gemessen an dem Aufwand eigentlich zu wenig verwertbare Erkenntnisse abfallen. Dies spiegelt sich dann auch in der Praxis wieder, in der Architekten und Lichtplaner diese Simulationen an spezialisierte Dienstleister abgeben.

5. Zielsetzung

Es gilt also, diese verzögernden Faktoren zu untersuchen und neue Ansätze zu finden, mit denen die computerunterstützte Lichtsimulation als Planungswerkzeug effizient genutzt werden kann. Im Hochschulumfeld gilt weiterhin zu überlegen, wie dieses Instrument dem lernenden Architekten helfen kann, den komplexen Zusammenhang zwischen Licht, Form und Material so zu verstehen, dass er die gestalterische Kraft des Lichts gezielt planen und einsetzen kann.

6. Neue Ansätze zur effizienteren Nutzung von computerunterstützten Lichtsimulationen

Vom Verfasser werden derzeit drei Ansätze verfolgt, mit denen die computerunterstützte Lichtsimulation zur effizienten Evaluierung qualitativer Lichtplanungen und innovativer Wissensvermittlung von der Gestaltkraft des Lichts in der Architektur beiträgt:

- Aufbau einer Visuellen Enzyklopädie von Lichtwirkungen
- Erstellung von CAALiDe Tutorials (Computer Aided Architectural Lighting Design)
- Entwicklung von Virtuellen Licht-Laboren

7. Visuelle Enzyklopädie von Lichtwirkungen

Im Rahmen des Lehrauftrags „Architekturvisualisierung im Internet“ am Fachbereich Architektur der TU Darmstadt wurden bereits im SS 99 erste Beispiele eines visuellen Nachschlagewerks für Lichtstimmungen entwickelt. Es ermöglicht einem Anwender verschiedene Beleuchtungsvarianten hinsichtlich ihrer Lichtwirkung zu vergleichen und darüberhinaus für einzelne ein prinzipielles lichttechnisches Rezept, ein „Making of“ zu erhalten. Für die Vergleichbarkeit der Varianten wurde darauf geachtet, dass sowohl Betrachterstandpunkt und Verschlusszeit (einer virtuellen Kamera), als auch Material und Form der Raumelemente konstant gehalten werden, damit die Unterschiede nur dem Licht zugewiesen werden können. Für die visuelle Darstellung der Lichtwirkungen wurden im Vorfeld computerunterstützte Simulationen eingesetzt, d.h. der Anwender selbst erstellt keine Simulationen, er betrachtet sie nur. Es liegt auf der Hand, das auf herkömmliche Weise, d.h. Bau und Fotografieren von haptischen Modellen, diese Bandbreite an Variationen viel teurer wäre, als es mit der Simulation ist. Beim Betrachten der Beispiele wird oft gemutmasst, ob nicht doch irgendetwas anderes an der Architektur verändert wurde als nur das Licht. Diese Gestaltkraft hätte man dem Licht nicht zugetraut.

Im Rahmen dieses visuellen Nachschlagewerks leistet die computerunterstützte Lichtsimulation also einen wertvollen Beitrag, weil zum einen die Gestaltkraft des Lichts eindrücklich aufgezeigt wird und damit in den Vordergrund architektonischer Überlegungen rückt, und zum anderen weil die Darstellung des „Making of“ einer Lichtwirkung gezielte Anregungen für individuelle Projekte liefert.

Aufgrund dieser positiven Erkenntnis wird diese Visuelle Enzyklopädie weiter ausgebaut.

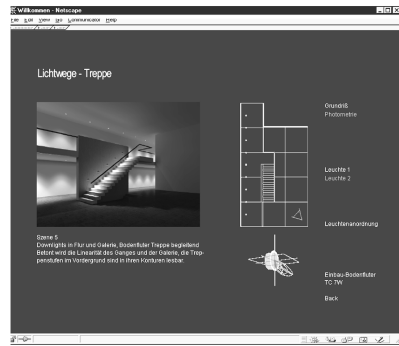
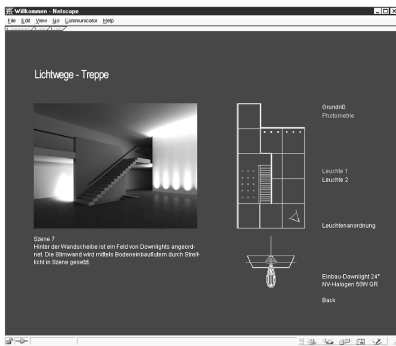
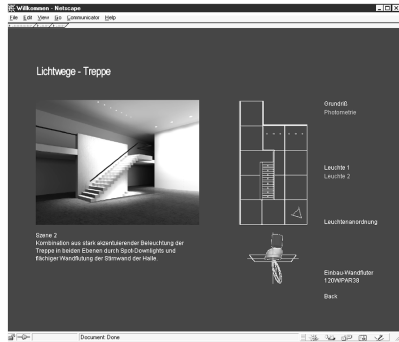
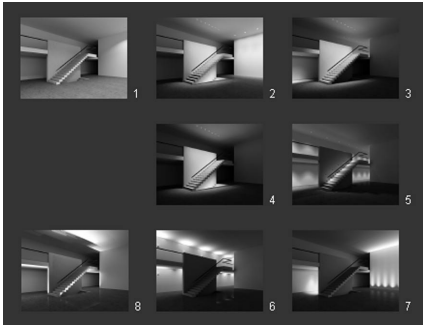


Abb. 5-8 Visuelles Nachschlagewerk verschiedener Beleuchtungen am Planungsbeispiel Treppe. Die Simulationen zeigen die Lichtwirkungen und zusammen mit den verantwortlichen lichttechnischen Angaben visualisieren sie das „Making of“ einer Lichtstimmung.

8. Software-Tutorial CAALiDe

Beim Umgang mit Software zur Erstellung und Simulation eines 3D-CAD Modells hat sich immer wieder gezeigt, dass brauchbare Ergebnisse erst nach einigen leidvollen Erfahrungen möglich sind. Die Vielfalt der Programmfunktionen ist für einen Anfänger so unübersichtlich, dass er keinen roten Faden erkennt, wie man zu guten Ergebnissen kommt.

Im Rahmen der Gastprofessur für „Entwerfen und CAAD“ am Fachbereich der Fachhochschule München wurden für das Fach „Computer Aided Architectural Lighting Design (CAALiDe)“ Software-Tutorials erstellt, mit denen Studenten schnell motivierende und gute Ergebnisse erzielen können. Dazu wurde auf die sonst übliche Erstellung der CAD Modelle verzichtet. Es wurden vielmehr bereits vorbereitete CAD Modelle als virtuelle Planungsbeispiele zur Verfügung gestellt, deren zeitraubendes Pre-Processing schon abgeschlossen war und in denen vor allem die Gestaltkraft des Lichts besonders deutlich erfahrbar ist. Das Ziel des Faches ist es, ausgehend von dem Startzustand des Planungsbeispiels, Varien-

ten zu entwerfen, zu simulieren und die Ergebnisse zu vergleichen. Z.B. soll die atmosphärische Stimmung eines Innenraums in Abhängigkeit von verschiedenen Sonnenständen und Bewölkungsgraden dargestellt und diskutiert werden. Diese Tutorials sind Bestandteil des Internet-Curriculums CAALiDe und stehen über die Virtuelle Universität der Fernuniversität Hagen im Internet zur Verfügung. Dadurch können Studenten jederzeit selbstständig auf die Tutorials zurückgreifen, was der Präsenzlehre zusätzlichen Freiraum zur Vermittlung architektonischer Inhalte bietet. Eine abschliessende Bewertung dieses Ansatzes ist erst zum Ende der Gastprofessur möglich.

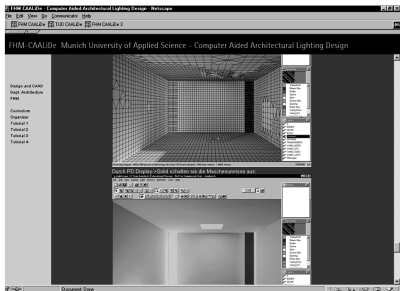
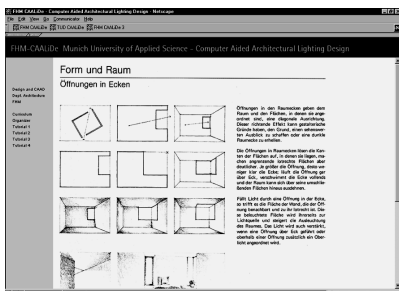


Abb. 9-10: Die webbasierten Tutorials orientieren sich an architektonischen Inhalten und stellen virtuelle Planungsbeispiele zur Verfügung, an denen unter genauer Anleitung zielgerichtet Beleuchtungsvarianten simuliert werden können.



Abb. 11-12: Planungsbeispiel nach dem Vorbild der Therme in Vals, Architekt: Peter Zumthor. Die Darstellungsmatrix ermöglicht das einfache Umschalten verschiedener Beleuchtungsvarianten. Diese Simulationen dienen wiederum als Grundlage für eine Visuelle Enzyklopädie von Lichtwirkungen.

9. Virtuelle Lichtlabore

Grundlage der Überlegungen ist es, ein virtuelles Lichtlabor zur Verfügung zu stellen, in dem auf einfache Weise Beleuchtungsexperimente möglich sind, die zum Aufbau eines visuellen Wortschatzes an Lichtwirkungen führen, die wiederum Voraussetzung für eine erfolgreiche Lichtplanung sind. Wie in einem realen Raumlabor können vorbereitete Leuchten, Raumtypologien und Materialien verwendet werden, nur sind im virtuellen Labor die Freiheitsgrade der Änderungen

größer. Hier lassen sich Wände und Decken einfacher verschieben, Materialien austauschen und mehrere Leuchten auf einmal austauschen. Auch hier garantiert eine Verwendung von vorbereiteten Planungsbeispielen eine bestmögliche Simulation.

Im Gegensatz zur Arbeit mit herkömmlichen komplexen Software-Programmen, wird das virtuelle Licht-Labor über ein neu entwickeltes System gesteuert. Für dieses System wurde eine Benutzeroberfläche entwickelt, die es dem Benutzer intuitiv ermöglicht, zielgerichtete Experimente mit Licht durchzuführen. Im Gegensatz zu den üblichen Programmen wurde die Anzahl der Funktionen auf ein notwendiges Minimum reduziert und durch die objektorientierte Programmierung wurden den Objekten intelligente realitätsbezogene Eigenschaften zugeordnet. Bei den meisten Programmen wird z.B. beim Spotlight die Neigung auf die gesamte Leuchte übertragen, obwohl sich nur das Gehäuse innerhalb des sonst festgestellten Bügels drehen sollte. Desweiteren „wissen“ Leuchten in der Regel nicht, dass sie z.B. an einer Stromschiene befestigt sind und sich eigentlich mitbewegen müssten, wenn die Lage der Stromschiene verändert wird. Durch die objektorientierte Programmierung können solche „Vater-Kind-Beziehungen“ berücksichtigt werden.

Diese Benutzeroberfläche basiert auf den Technologien des World Wide Web. Das System wird über die Auswahl einer bestimmten Website automatisch in einen Browser geladen und greift über das Internet auf die Hochleistungsrechner zu, die die Simulationen in einer annehmbaren Zeit berechnen können. Die Ergebnisse werden darüberhinaus in automatisch erstellte WWW-Dokumente integriert, die den einfachen Vergleich von Varianten ermöglichen.

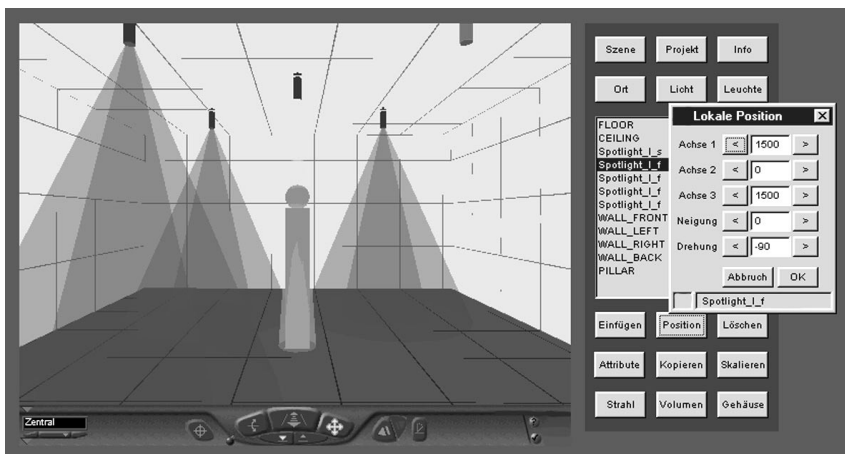


Abb. 13: Virtuelles Lichtlabor, Benutzeroberfläche

10. Zusammenfassung

Die drei Ansätze a) visuelle Enzyklopadie an Lichtwirkungen b) Software Tutorial zur computerunterstützten architektonischen Lichtplanung und c) Experimente in virtuellen Lichtlaboren zeigen eine sinnvolle und effiziente Nutzung der com-

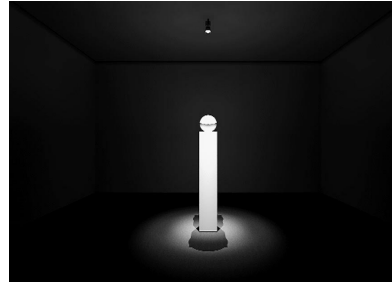
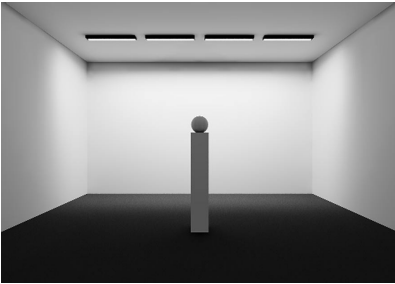
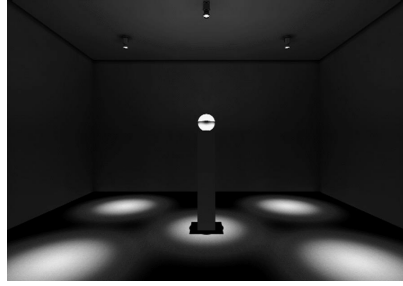
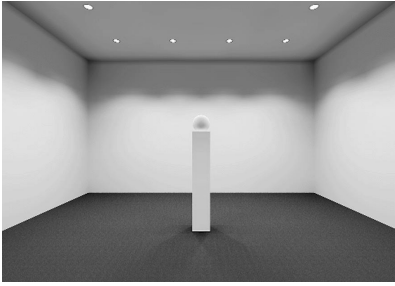


Abb. 14-17: Simulation eines Mockup Raums. Verschiedene Lichtstimmungen durch Variation der akzentuierten und flächigen Beleuchtung, die unterschiedliche Wahrnehmungshierarchien aufbauen.

puterunterstützten Lichtsimulationen als Planungswerkzeug für Architekten. Sie dokumentieren die Gestaltkraft des Lichts, geben Inspirationen für den kreativen und zielgerichteten Einsatz und ermöglichen die Evaluierung eigener Beleuchtungskonzepte. Trotzdem darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass es auch Beispiele gibt, die sich aufgrund der extremen Anforderungen an eine physikalische Exaktheit zur Zeit nicht für eine Simulation eignen. Obwohl die Entwicklung der Simulationssoftware immer weiter voranschreitet, und davon auszugehen ist, dass die allgemeine Suggestionskraft computergenerierter Bilder weiter zunehmen wird, ist eins klar: Die Erkenntnisse im realen Raum mit realem Licht über treffen stets die virtuellen Abbilder, nur sind sie mit hohen Kosten verbunden.

Danksagung

TU Darmstadt, Fachgebiet CAD in der Architektur (Abb. 3 bis 8)
 ERCO Leuchten (Abb. 1, 2, 14 bis 17)

Innovative Ansätze zur virtuellen Beleuchtungsplanung

Frank Schöffel, Wolfram Kresse, Stefan Müller

1. Einleitung

Computerunterstützte Verfahren zur Beleuchtungs-Simulation und -Visualisierung haben in den letzten Jahren zum Sprung aus dem akademischen Umfeld in die Planungsbüros von Architekten und Ingenieuren angesetzt. Verschiedene grundlegende Verfahren bieten dabei unterschiedliche Möglichkeiten, weisen jedoch auch bestimmte Einschränkungen auf. Unter den physikalisch basierten Verfahren sind in erster Linie Raytracing-Ansätze und die Radiosity-Methode zu nennen. Das Radiosity-Verfahren bietet die Möglichkeit der freien Navigation und Blickpunktwahl durch den Benutzer, was den Einsatz dieses Verfahrens in Anwendungen der sogenannten „Virtuellen Welten“ ermöglicht, wo der Benutzer ein stereoskopisches Bild der Umgebung und somit das Gefühl der Immersion (Eintauchen in die computersimulierte Szene) vermittelt bekommt.

Allerdings können heute verfügbare Werkzeuge, die auf der Basis des Radiosity-Verfahrens arbeiten, nur mit Szenen von eingeschränkter Komplexität sinnvoll umgehen. Weitere Einschränkungen betreffen die effiziente Aktualisierung der Beleuchtungssimulation in Szenen, in denen eine Lichtsimulation bereits durchgeführt wurde, als Reaktion auf interaktive Szenenänderungen durch den Benutzer.

In diesem Beitrag wird das Prinzip der Radiosity-Methode skizziert, und es werden Weiterentwicklungen dieses Verfahrens vorgestellt, die den effizienten Einsatz des Verfahrens in Szenen realistischer Größe ermöglichen und darüber hinaus interaktives Arbeiten in der dreidimensionalen, mit realistischen Beleuchtungsverhältnissen versehenen Szene erlauben. Durch den Einsatz derartiger Verfahren in Kombination mit Techniken der „Virtuellen Realität“ (VR) lassen sich durch „Virtuelle Prototypen“ auch im Bereich der qualitativen Beleuchtungsplanung Entwicklungskosten und -zeit einsparen. Anhand mehrerer Anwendungsbeispiele werden die Möglichkeiten derartiger Verfahren aufgezeigt. Die Palette der Anwendungen reicht dabei von Architekturprojekten bis hin zum Automobilbau.

2. Globale Beleuchtungssimulation mit dem Radiosity-Verfahren

Zur Simulation sowohl von Kunst- und Tageslicht werden in der dreidimensionalen Computergrafik sogenannte globale Beleuchtungsmodelle eingesetzt. Ein solches Verfahren ist das relativ bekannte Ray-Tracing, eine andere Methode arbeitet nach dem aus der Thermodynamik stammenden Radiosity-Verfahren.

Frank Schöffel
Wolfram Kresse
Stefan Müller
Fraunhofer Institut Graphische Datenverarbeitung
Abteilung Visualisierung & Virtuelle Realität
Rundeturmstraße 6
D-64283 Darmstadt

2.1 Raytracing vs. Radiosity

Ein Raytracer berechnet stets – per Strahlverfolgung aus einer gegebenen Perspektive – ein Standbild, wobei für jede Perspektive in der Regel die Beleuchtung neu simuliert wird. Die Berechnungsdauer der Bilder liegt in der Größe von Minuten oder Stunden und ein interaktiver Planungsprozeß wird meist nur sehr ungenügend unterstützt. Durch Zusammensetzen von Einzelbildern können auch Animationen mit vorab festgelegter Kamerabewegung erstellt werden.

Im Gegensatz zum Raytracer ist das Ergebnis einer Radiosity-Berechnung kein zweidimensionales Standbild, sondern Beleuchtungswerte in einer dreidimensionalen Szene. Die Radiosity-Methode arbeitet unabhängig vom Betrachterstandpunkt, und berechnet den Strahlungsaustausch zwischen den Objekten der Szene auf der Grundlage thermodynamischer Gleichungen.

Neben punktförmigen Lichtquellen können beim Radiosity-Verfahren flächige Lichtquellen berücksichtigt werden, was weiche Schattenverläufe ermöglicht. Üblicherweise werden nur diffuse Reflexionen berücksichtigt; Spiegelungen oder glänzende Materialien können in der Regel nicht simuliert werden. Durch die Beschränkung auf die diffusen Anteile erreicht man die Blickpunktunabhängigkeit, die den großen Vorteil des Verfahrens darstellt: Hierdurch wird es möglich, eine vorab für eine dreidimensionale Szene einmal simulierte Beleuchtung in Walk-Through-Anwendungen der Virtuellen Realität einzusetzen, in denen sich der Betrachter frei bewegen kann, ohne daß für jede neue Betrachterposition neue Berechnungen notwendig wären.

Sehr gute Ergebnisse liefert schließlich auch die Kombination von Radiosity- und Raytracing-Methoden, die allerdings nur sehr selten von aktuellen Lichtsimulationssystemen unterstützt werden. Hierbei werden mit Hilfe von Radiosityverfahren in einem interaktiven Prozeß die diffusen, perspektive-unabhängigen Lichtanteile in der Szene berechnet und mit einem Raytracer inkl. der blickpunktabhängigen Spiegelungen und Transparenzen dargestellt.

2.2 Grundlagen

Bei der klassischen Radiosity-Methode werden im wesentlichen die folgenden Schritte durchgeführt /CoWa93//SiPu94/:

- Als Eingabe-Daten werden die dreidimensionale Beschreibung der Szene, zerlegt in planare Flächen, sowie die notwendigen Materialbeschreibungen (Farben, Reflexionseigenschaften) benötigt. Hierzu gehört auch die Definition, welche der Polygone als flächige Lichtquellen betrachtet werden sollen, und welche Strahldichte sie besitzen sollen.
- In einem ersten Schritt werden die Polygone der Szene in kleinere Einheiten (Patches) zerlegt.
- Zwischen jedem Patch-Paar wird die Sichtbarkeitsbeziehung (Formfaktor) berechnet.
- Unter Zugrundelegung dieser Sichtbarkeitsbeziehungen wird der Strahlungsaustausch simuliert, und durch Lösen eines Gleichungssystems das Energiegleichgewicht berechnet. Dabei werden sämtliche Reflexionen berücksichtigt, so daß die Lösung physikalisch korrekt ist. Das Ergebnis hiervon sind

Strahldichtewerte oder die spezifische Ausstrahlung (Radiosity) für jedes Patch.

- Diese Patch-Radiositäten müssen abgebildet werden auf Farben, üblicherweise auf Eckpunktfarben der Patches (Mapping).
- Schließlich kann die Szene dargestellt werden, indem anstelle der ursprünglichen Polygone die einzelnen Patches gerendert werden.

Die Lösung des kompletten Gleichungssystems ist für komplexe Szenen aufgrund des enormen Speicher- und Zeitaufwandes nicht mehr realisierbar. Stattdessen wird häufig ein iteratives Verfahren verwendet, das den Strahlungsaustausch schrittweise annähert und bei genügender Genauigkeit abgebrochen werden kann (Progressive Refinement).

Da die Berechnung auf einem Finite-Elemente-Ansatz basiert und jeweils ein Wert für jedes Flächenelement (Patch) berechnet wird, ist die Patch-Unterteilung entscheidend für die Qualität der Simulation. Sinnvoller als eine gleichmäßige Unterteilung ist eine Unterteilung, die in Bereichen geringer Helligkeitsunterschiede große Patches, und in Bereichen, in denen große Helligkeitsunterschiede herrschen, kleine Patches erzeugt. Eine solche Methode ist das adaptive Meshing, bei dem Patches weiter unterteilt werden, wenn ihre Radiosity zu stark von der der Nachbarn abweicht. Es resultiert in einer feinen Patchunterteilung entlang von Schattenkanten. Durch die zahlreichen Parameter zur Steuerung der Unterteilung ist das adaptive Verfahren in der Praxis schwierig anzuwenden, kann jedoch – bei ähnlicher Gesamtanzahl der Patches wie bei der regelmäßigen Unterteilung – deutlich bessere Ergebnisse liefern.

2.3 Komplexe Szenen: Hierarchisches Radiosity und Clustering

Um die Komplexität der Berechnungen weiter zu reduzieren, kann man sich überlegen, dass es für bestimmte Patch-Paare nicht nötig ist, hier auf dem feinsten Unterteilungsgrad der Patches zu arbeiten. Soll z.B. die Reflexion von einer Fläche auf eine weit entfernte Objekt simuliert werden, so genügt eine grobe Unterteilung. In der Fortführung dieses Gedankens gelangt man zu mehreren unterschiedlich feinen Patch-Unterteilungen pro Fläche. Je nach Entfernung und zu übertragender Strahlung erfolgt der Radiosity-Austausch auf verschiedenen Leveln der entstehenden Patch-Hierarchie, was die Komplexität der Simulation drastisch reduziert. Der Aufwand kann allerdings immer noch sehr hoch sein, wenn bereits die Eingabe-Daten der Szene aus sehr vielen kleinen Flächen bestehen. Neuartige Verfahren setzen die Hierarchie daher nach oben fort und fassen die ursprünglichen Szenen-Polygone zu Gruppen (Clusters) zusammen. Radiosity kann dann auch auf sehr hohem Level ausgetauscht werden, nämlich zwischen Clustern. Hierzu werden Formfaktoren für ganze Gruppen von Polygonen in einem Wert abgeschätzt, womit sich ein deutlicher Geschwindigkeitsgewinn für die Simulation in komplexen Szenen ergibt. Die Konstruktion effizienter Cluster-Hierarchien zeichnet dabei die Effizienz des Radiositysystems aus.

2.4 Integration von realen Leuchten und Tageslicht

Neben den uniformen diffusen Flächen können auch Lichtquellen mit vermessener Abstrahlcharakteristik und Tageslicht in den Radiosity-Prozeß integriert werden. Verschiedene Modelle zur Beschreibung der Leuchtdichteverteilung in Abhängigkeit vom Ort, Datum etc. können zur Simulation von direktem Sonnenlicht

und diffusem Himmelslicht eingesetzt werden. Zur Simulation des Tageslichtes mit Hilfe des Radiosity-Verfahrens nach einem dieser Modelle wird der Himmel als Halbkugel über der Szene betrachtet und in 145 Elemente aufgeteilt, die als Lichtquellen fungieren. Ihnen wird – je nach Ort, Datum und Bewölkung – eine unterschiedliche Helligkeit zugeordnet, und anschließend eine Radiosity-Simulation mit diesen 145 Lichtquellen durch. Da die Sichtbarkeitsbeziehungen von diesen Himmels-Lichtquellen zur Szene fest ist, kann auf einfache Weise eine neue Simulation für einen veränderten Sonnenstand durchgeführt und so z.B. eine Animation erstellt werden /MKGS95/.

2.5 Dynamische Umgebungen / Interaktion

Besondere Herausforderungen stellen dynamische Umgebungen dar, in denen der Benutzer die Szene interaktiv verändern kann (z.B. Möbel verschieben, Material-Parameter verändern,...) oder in denen sich Objekte autonom bewegen. Mit jeder Veränderung stets die korrekte Beleuchtungs- und Schattensituation bereitzustellen, gelingt aufgrund der Komplexität der Berechnungen nur für



Abb. 1: Simulation verschiedener Sonnenstände bei klarem Himmel und Simulation bei bedecktem Himmel (rechts).

kleine Szenen. In komplexeren Modellen müssen spezielle Verfahren eingesetzt werden, die zunächst die lokalen Änderungen aktualisieren und indirekte Effekte erst dann korrigieren, wenn die Interaktion beendet ist. Während der Interaktion steht dann nur ein ungefährer, dafür aber schneller zu berechnender Schatten zur Verfügung, die genauere Korrektur wird erst dann nachgeholt, wenn die dazu erforderliche Zeit zur Verfügung steht. Die Entwicklung derartiger effizienter Algorithmen ist ein aktuelles Forschungsthema.

2.6 Darstellung von Radiosity-Simulationsergebnissen in Virtuellen Umgebungen

Um die ausgeleuchtete Szene schließlich auf dem Monitor in einer photorealistischen Darstellung anzeigen zu können, müssen die Simulationsergebnisse (Strahldichten) zunächst in Farbwerte abgebildet werden, die vom Ausgabegerät darstellbar sind. Dabei müssen die begrenzten Darstellungsmöglichkeiten des Ausgabegerätes (Leuchtdichtebereich, Farbraum) sowie das nichtlineare Verhalten bei der Helligkeitsabbildung berücksichtigt werden. Auch die Eigenschaften des menschlichen Auges müssen berücksichtigt werden, um eine visuell überzeugende Darstellung zu erzielen.



Abb. 2: Interaktion in VR-Anwendungen mit Korrektur der Schatten.

berücksichtigt werden. Auch die Eigenschaften des menschlichen Auges müssen berücksichtigt werden, um eine visuell überzeugende Darstellung zu erzielen.

Die aus dieser Abbildung in den Farbraum des Ausgabegerätes resultierenden Farbwerte werden schließlich entweder in Form von Eckpunktfarben oder als (Schatten-)Textures in das Modell integriert und so an das VR-System übergeben. Im VR-System kann der Benutzer dann frei navigieren und

das Modell begutachten. Wenn eine Rückkopplung an das Simulationsprogramm besteht, kann die Beleuchtung auch an Szenenänderungen angepaßt werden /Schö97/.

2.7 Photometrische und Colorimetrische Kalibrierung [WK]

Bei der Darstellung der Simulationsergebnisse auf verschiedenen Ausgabegeräten ist zu beachten, daß diese – je nach Kalibrierung – im Allgemeinen bei gleichen darzustellenden Daten unterschiedliche Ergebnisse liefern bezüglich Farbe und Helligkeit. Um visuell gleiche Ergebnisse auf unterschiedlichen Geräten zu erhalten, müssen die Ausgabegeräte zunächst ausgemessen werden und ihre Eigenschaften von dem VR-System, das die Szene darstellt, berücksichtigt werden. Diese Messungen und Kalibrierungen können mit Meßgeräten oder auch mit Hilfe digitaler Kameras durchgeführt werden. Die Beleuchtungssimulation arbeitet in einem normierten Farbraum. Die Ergebnisse, die ebenfalls in einem genormten Farbraum abgespeichert werden, werden dann durch entsprechende Korrekturmatrizen bei der Darstellung in den jeweiligen Farbraum des Displays transformiert. Neueste Verfahren berücksichtigen auch die darstellbaren Leucht-

dichten und die Nichtlinearitäten des Ausgabegerätes und erreichen damit, dass – innerhalb gewisser Toleranzbereiche – die photometrische und colorimetrische Qualität der Darstellung mit den simulierten Werten soweit übereinstimmt, daß die Werte direkt an der Leinwand mit entsprechenden Meßgeräten abgefragt werden können. Es können auch spezielle Probleme bestimmter Ausgabegeräte, wie z.B. ungleichmäßige Helligkeitsverteilung über eine Projektionsfläche, softwaremäßig korrigiert werden /KrSM00/.

3. Anwendungsbeispiele

Die beschriebenen Verfahren zur globalen Beleuchtungssimulation werden nicht mehr nur im akademischen Bereich verwendet, sondern immer mehr auch in industriellen Anwendungen eingesetzt. Die vorstehend genannten Erweiterungen des Radiosity-Verfahrens wurden im Rahmen eines europäischen Forschungsprojektes „ARCADE“ weiterentwickelt und in die Forschungsumgebung Genesis am Fraunhofer IGD integriert /MüUG93/, das u.a. zur photorealistischen Aufbereitung von virtuellen Modellen für den Einsatz in VR-Systemen verwendet wird. Einige der dabei bearbeiteten Anwendungsfälle sollen hier exemplarisch kurz vorgestellt werden.

3.1 (Innen-)Architektur

Im Bereich der Architektur können dreidimensionale, interaktiv begehbare Modelle das Verständnis für einen Entwurf im Vergleich zu zweidimensionalen Plänen und Zeichnungen beim Laien oft deutlich verbessern. So wurden beispielsweise bei der Umgestaltung des Lufthansa-Terminals am Rhein-Main-Flughafen in Frankfurt die Computervisualisierung der neuen Counter und seiner Alternativen in der Umgebung der Flughafenhalle als Entscheidungshilfe für das Re-design sowie als Planungshilfe eingesetzt (Abb. 3 links).

Ein weiteres Beispiel für den Einsatz von globaler Beleuchtungssimulation in dreidimensionalen Architektur-Modellen ist in Abb. 3 rechts gegeben, wo die Schatteneffekte dem Modell zu einem sehr realistischen Eindruck verhelfen.

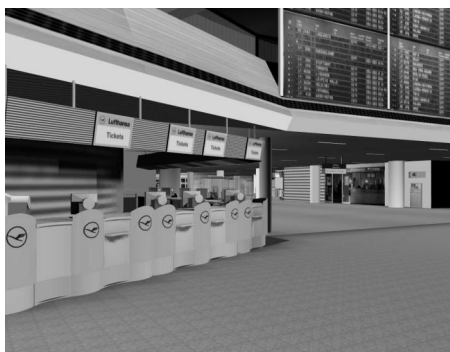


Abb. 3: Radiosity-Texturen in der interaktiven Architektur-Visualisierung mit VR-Techniken: Flughafenhalle (links) und Modell des VR-Labors des Fraunhofer IGD (rechts).

3.2 Fahrzeugbau

Auch in Bereichen außerhalb der Architektur hat sich die Virtuelle Realität inzwischen als Werkzeug etabliert. Beispielsweise werden im Automobilbau VR-Techniken zur interaktiven Präsentation, bei der Entscheidungsfindung und im Prozess des Design-Review eingesetzt, um den Bau physikalischer Prototypen zu ersetzen. Auch hier spielt eine realistische Beleuchtung eine große Rolle.

So wurde eine Lichtsimulation des Fahrzeuginnenraums in einer Nachtsituation durchgeführt, um verschiedene Beleuchtungsvarianten zu vergleichen und Entscheidungen über zukünftige Design-Konzepte treffen zu können (Abb. 4). Der Benutzer kann sich während der Präsentation in den virtuellen Modellen frei bewegen und zwischen verschiedenen vorberechneten Beleuchtungs-Situationen hin- und herschalten.



Abb. 4: Simulation und dreidimensionale Präsentation verschiedener Beleuchtungskonzepte im Fahrzeuginnenraum (Daten: BMW AG).

3.3 Visualisierung lichttechnischer Größen

Nicht immer ist die photorealistische Darstellung der Simulationsergebnisse gewünscht, sondern die Überprüfung bestimmter Vorgaben steht im Vordergrund. Die lichttechnischen Größen sind einfach aus den Radiosity-Werten ableitbar. Die Darstellung kann dann entweder als numerischer Wert an bestimmten, per Mausklick definierten Stellen in der 3D-Szene erfolgen, oder beispielsweise auch in Form von Falschfarben oder als Isolux-Linien auf einzelnen (auch virtuellen) Ebenen im Raum.



Abb. 5: Anzeige lichttechnischer Größen in der 3D-Szene.

3.4 Städtebau

Im Bereich Städtebau wurden die Auswirkungen verschiedener Bauformen und Bauhöhen in Straßenzügen auf die Beleuchtung und den Tageslichteinfall in die Straße und auch in die Fensteröffnungen der Gebäude untersucht. In den nachfolgenden Abbildungen sind einige Varianten der Bebauung dargestellt, für die eine Tageslichtsimulation durchgeführt wurde.

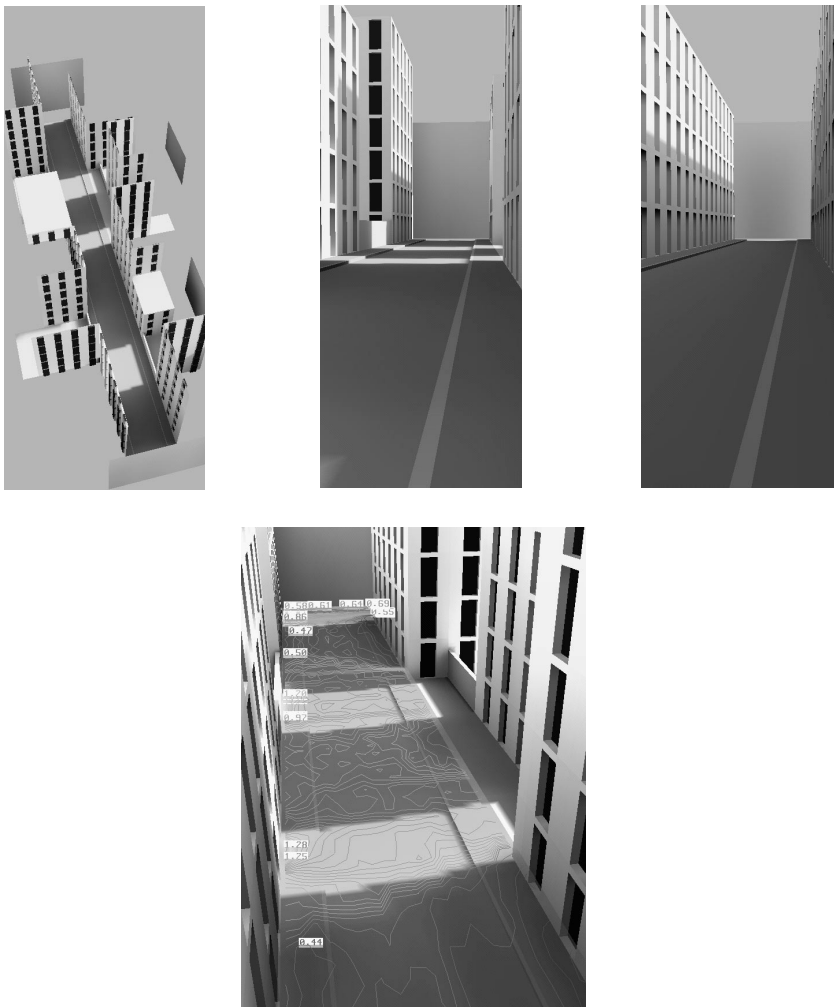


Abb. 6: Simulation des Tageslichteinfall in einen Straßenzug bei unterschiedlicher Bebauung (Daten und Bilder: Pascal Frey, L'école d'architecture de Paris La Villette).

3.5 Rekonstruktion von Bauwerken

Auch bei der Rekonstruktion historischer Stätten kann die virtuelle Realität einen wichtigen Beitrag leisten, sowohl bei der virtuellen Präsentation nicht mehr existierender Bauten als auch bei Bauwerken, die zwar auch in Realität besichtigt werden können, aber einem breiteren Publikum z.B. weltweit vorgeführt werden soll. So wurde der Dom von Siena im Rahmen eines Forschungsprojektes als virtuelles Modell nachgebildet, mit Hilfe des Radiosity-Verfahrens realitätsgetreu ausgeleuchtet und mit VR-Techniken auf der EXPO 2000 einem breiten Publikum präsentiert.



Abb. 7: Simulation der Bibliothek im Dom von Siena.

4. Zusammenfassung und Ausblick

4.1 Die Potenziale der neuen Radiosityverfahren

Mit Hilfe des traditionellen Radiosity-Verfahrens und seinen modernen Erweiterungen (hierarchisches Radiosity, Clustering, Radiosity in dynamischen Umgebungen) ist es heute möglich, selbst komplexe 3D-Modelle effizient und unter Berücksichtigung der lichttechnischen Gegebenheiten (Information der Lichtquellcharakteristiken, Materialeigenschaften und Tageslicht) virtuell auszuleuchten. Im Zusammenhang mit Systemen der Virtuellen Realität werden diese Modelle interaktiv erlebbar, was sowohl für die Präsentation der Planungen, die Entscheidungsfindung, die qualitative Überprüfung und den interaktiven Planungsprozeß innovative Lösungsansätze bietet. Hierfür wurden in diesem Beitrag verschiedene Anwendungsbeispiele (Architektur, Design und Automobilbau) skizziert, die durch die rasanten Entwicklungen der 3D-Graphikunterstützung im PC-Bereich immer mehr an Bedeutung gewinnen werden. Darüber hinaus bieten Radiosityverfahren in Kombination mit Raytracingmethoden eine sehr effiziente Grundlage für eine hohe Darstellungsqualität der betrachteten Objekte, die ein großes Potenzial für neue und innovative Präsentationen aufweist (z.B. Internet). Unter Berücksichtigung der photometrischen Konsistenz des Gesamtsystems ist es dabei sogar möglich, die Darstellung der Szenen auf den Ausgabe geräten so zu kalibrieren, daß eine realitätsnahe Darstellung möglich wird, was die Glaubwürdigkeit der dargestellten Bilder deutlich erhöht.

4.2 Ausblick:

Die aktuellen Forschungsthemen der Radiosityforschung beschäftigen sich vor allem mit der schnellen Aktualisierung von Radiositysimulationen in dynamischen Umgebungen, um die interaktiven Planungsmöglichkeiten der Systeme zu verbessern. Darüber hinaus gibt es interessante Ansätze, um Radiosityverfahren auch für nicht-diffuse Umgebungen zu erweitern. Aus beiden Ansätzen sind mittelfristig sehr interessante Lösungen zu erwarten, die die Qualität der Interaktion und der Darstellung weiter deutlich verbessern werden.

Neue Impulse ergeben sich außerdem durch Forschungen in dem neuen Technologiebereich der „Augmented Reality“ (erweiterte Realität). Im Gegensatz zur virtuellen Realität werden hierbei reale und virtuelle Bilder kombiniert und überlagert. So werden beispielsweise Bilder eines realen Raumes mit virtuellen Möbeln perspektivegerecht bestückt und den realen Beleuchtungsverhältnissen so angepaßt, daß virtuell und real kaum mehr unterschieden werden kann. In einem nächsten Schritt werden diese virtuellen Modelle einem Benutzer auf einer teildurchsichtigen Datenbrille in Realzeit eingeblendet. So kann sich der Betrachter durch einen teilweise eingerichteten Raum bewegen und mit Hilfe dieser Datenbrille die zusätzlichen Einrichtungsgegenstände interaktiv planen und in die realen Gegebenheiten einpassen.

Literatur

- /CoWa93/ Cohen, M.F.; Wallace, J.R.: „Radiosity and Realistic Image Synthesis“. Academic Press Professional, Boston, Mass., 1993.
- /KrSM00/ Kresse, W.; Schöffel, F.; Müller, S.: „An Autocalibration Tool for the Photometric and Colorimetric Consistency of IPTs“, Proceedings of the 4th International IPT Workshop, Ames, Iowa, USA, Juni 2000.
- /MKGS95/ Müller, S.; Kresse, W.; Gatenby, N.; Schöffel, F.: „A Radiosity Approach for the Simulation of Daylight“, Sixth Eurographics Workshop on Rendering (1995). In: Hanrahan, P.M.; Purgathofer, W. (Hrsg.): Rendering Techniques '95. Springer Verlag, 1995, S. 137–146.
- /MüUG93/ Müller, S.; Unbescheiden, M.; Göbel, M.: „GENESIS – Eine interaktive Forschungsumgebung zur Entwicklung parallelisierter Algorithmen für VR-Anwendungen“. In: Warnecke, H.-J.; Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Virtual Reality – Anwendungen und Trends (Reihe ‚Forschung und Praxis‘, Bd. T35). Springer Verlag, 1993, S. 321–341.
- /Schö97/ Schöffel, F.: „Online Radiosity in Interactive Virtual Reality Applications“, ACM VRST '97 (Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology), 1997, S. 201–208.
- /SiPu94/ Sillion, F.; Puech, C.: „Radiosity and Global Illumination“. Morgan Kaufmann, San Francisco, Calif., 1994.

Lichtsimulationen

Fotorealistische Darstellung von Licht und Beleuchtung in der Architektur

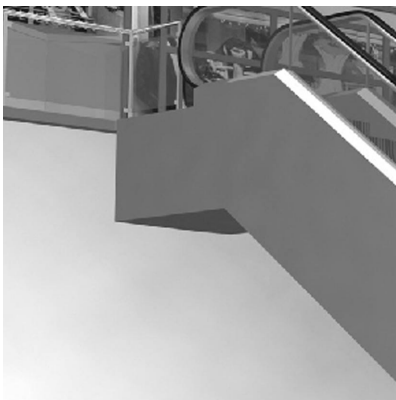
Jens Reinheckel

Wie fertige Lichtlösungen aussehen, möchten Bauherren natürlich gerne schon vor der Installation erfahren. Visuelle Darstellungen von technischen Lichtplanungen sind demnach ein immer aktuelles Thema, welches bisher auf vielfältigste Art und Weise gelöst wurde. Jedoch versuchte man immer nur, zum Teil durch die Nutzung sehr aufwendiger Berechnungsprogramme, eine annähernd realitätsnahe Darstellung der Berechnungsergebnisse aus der Lichtplanung zu erzielen. Daß heißt, es wurden nur die lichttechnischen Daten visualisiert, die Architektur bzw. Innenarchitektur mußte sich zwangsläufig unterordnen.

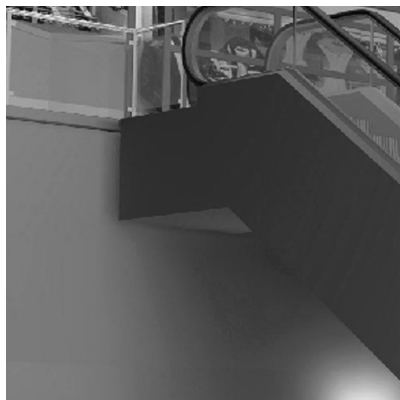
Computeranimationen, welche architektonische Planungen selbst für Experten wie bereits realisierte Bauvorhaben aussehen lassen, haben darum meistens eines gemeinsam: Sie wurden mit einer Software bearbeitet, die einzig und allein zur realitätsnahen Wiedergabe von Sonnen- und Kunstlichtverhältnissen dient.

Mit jenen Programmen ist es möglich, in Kombination mit der räumlichen Situation durch vorherige, dreidimensionale Modellierung der Objekte mit all den dafür vorgesehenen Farben und Werkstoffen, lichttechnische Projektierungen zu präsentieren.

Der große Vorteil einer lichtsimulierten Darstellung ist der extrem fotorealistische Gesamteindruck. War es zuvor nur mit hohem Aufwand möglich, Werkstoffe mit



Ausschnitt ohne Lichtsimulation

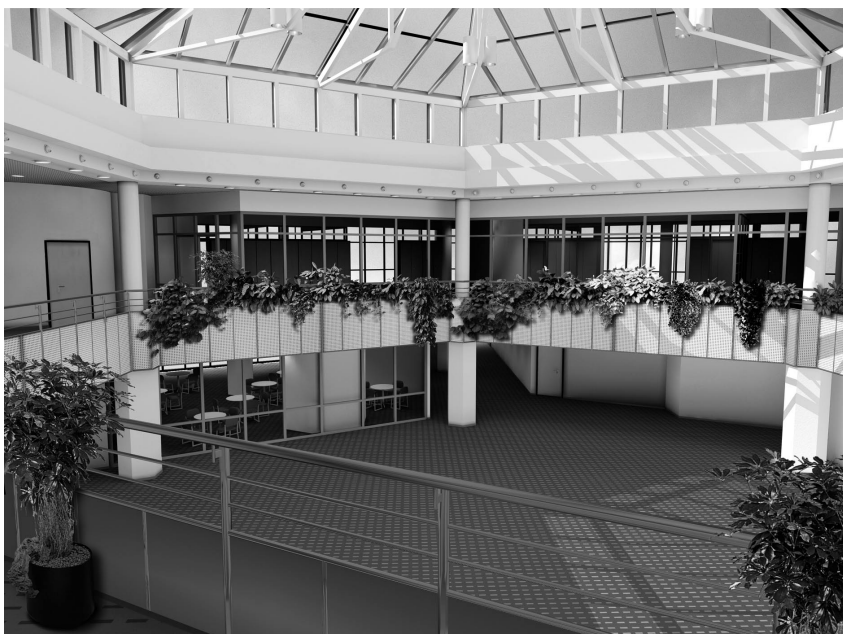


Ausschnitt mit Lichtsimulation

Jens Reinheckel
Raum Visionen
Zum Reuteranger 17
D-31020 Salzhemmendorf

deren physikalischen Eigenschaften wie z.B. Farbwiedergabe, Reflexionen und Refraktionen realistisch wiederzugeben, so war die authentische Darstellung aller Licht- und Schattenverhältnisse quasi unmöglich.

In einer im April 2000, gemeinsam mit der AEG Lichttechnik durchgeführten Vergleichsberechnung für ein spezielles Projekt zwischen 3 verschiedenen Lichtsimulationsprogrammen sowie der in unserem Hause eingesetzten Lichtsimulationssoftware Lightscape, wurde nach Auswertung aller Ergebnisse im ungünstigsten Fall eine Übereinstimmung der mittleren Beleuchtungsstärken (Em) auf der Nutzebene von 97,5 % erzielt.



Sonnen- und Kunstlichtsimulation des Kongreßcenters Mitte der Nürnberg Messe GmbH

Das bedeutet, daß die Planer völlig neue Möglichkeiten erhalten. Denn sie können sich bereits in der Entwurfsphase entsprechender Projekte viel intensiver als bisher mit der Gesamtsituation, einschließlich der Frage der Sonnen- und Kunstlichtverteilung, auseinandersetzen und mögliche Fehlentwicklungen von Anfang an vermeiden. Denn der Einfluß der Architektur (Fenster- und Fassadengestaltung, Tragwerk-Konstruktionen usw.) wird bei unseren Lichtsimulationen berücksichtigt bzw. berechnet. Das kann viel Zeit und Geld sparen, was letztlich jeden Bauherren freuen dürfte.

Mehrere Möglichkeiten des Importes von CAD-Daten in unsere Systeme erleichtern ein kooperatives Arbeiten mit Geschäftspartnern.

Falls Sie mehr über die Möglichkeiten moderner Lichtsimulationen wissen möchten oder unser komplettes Leistungsspektrum kennenlernen wollen, rufen Sie uns einfach an (Tel. 05153-1371, Fax 05153-1459) oder besuchen Sie uns auf unserer Homepage unter www.raumvisionen.de.

Die Realität und ihre Abbilder

Hans-Joachim Schmidt

Jede Planung muss sich im wahrsten Sinne des Wortes am Ergebnis messen lassen. Daher war und ist die Frage, wie genau sich ein Licht-Effekt vorhersehen und vorausberechnen lässt, ein zentrales Thema der Lichttechnik. Durch das Aufkommen moderner Lichtsimulationsmethoden muss man sich Gedanken über die Erzeugung, Bewertung und den Vergleich von Bildern anstatt von Zahlen machen, was das Thema dieses Beitrags ist.

Was ist Lichtsimulation und was nicht?

Im Unterschied zu einer einfachen Berechnung z.B. nach der Punktbeleuchtungsformel berücksichtigt ein Simulationsalgorithmus alle Aspekte der Lichtausbreitung und des Verhaltens der Materialien in einer beliebigen Szenerie. Die Art und Qualität der Umsetzung ist bei verschiedenen Algorithmen unterschiedlich. In einer vergleichenden Untersuchung [1] hat sich die vom Lawrence Orlando Berkeley Laboratory entwickelte „Backwards Raytracing“-Methode [2] als besonders gut für die Zwecke der Beleuchtungssimulation geeignet herausgestellt und im folgenden sollen nur deren Ergebnisse betrachtet werden. Beispiel für eine handelsübliche Software, die diese Rechenmethode in Lizenz verwendet, ist das Programm SiVIEW [3]. Man kann mit dem genannten Simulationsalgorithmus auch Zahlenwerte berechnen, oft aber werden die perspektivischen Leuchtdichtebilder bevorzugt. Bei weitem nicht jedes 3D-Bild aus dem Computer ist aber das Ergebnis einer Simulation. Im Bereich der dekorativen Außenbeleuchtung wird zur Darstellung der Tagwirkung z.B. gerne mit einem Bildbearbeitungsprogramm das Foto einer Leuchte in das Bild der künftigen Umgebung hineinmontiert. Auf solchen Bildern werfen dann z.B. die Bäume einen Schatten, die Leuchten aber nicht. Fast jedes CAD-Programm hat inzwischen einen integrierten „Shader“ oder „Renderer“, mit dessen Hilfe sich ein dreidimensionales CAD-Modell farbig ausfüllen lässt. Solche Programme arbeiten nicht mit den echten Eigenschaften von Materialien und Lichtquellen und täuschen Lichteffekte nur vor. Dementsprechend unrealistisch sind die Ergebnisse. Abbildung 1 zeigt einen Vergleich zwischen Shading und Lichtsimulation für die selbe Szenerie.

Wie realistisch ist die Lichtsimulation?

Wenn der Simulationsalgorithmus genau nach den physikalischen Gesetzen der Lichtausbreitung arbeitet und wenn die geometrischen und photometrischen Eigenschaften der Objekte und Lichtquellen in der abgebildeten Szenerie korrekt modelliert wurden, dann ist die Lichtsimulation mit dem Computer genauer und realistischer als eine Fotografie. Diese Aussage mag zunächst überraschen,

aber das fotografische Abbild ist keineswegs so wirklichkeitsgetreu, wie oft angenommen wird:

- Durch Abbildungsfehler der Objektive erscheinen gerade Objekte gekrümmt.
- Die „Vignettierung“ bewirkt, dass die Mitte des Bildes stets heller ist als die Ecken.
- Durch Beugungserscheinungen wirken Lichtquellen grösser als sie sind.
- Nur eine begrenzte Tiefenzone des Bildes ist scharf.
- Der Empfänger, gleich ob Film oder Chip, reagiert in Bezug auf Kontrastwiedergabe und spektrales Verhalten anders als das Auge.

Man kann diese systematische Fehler der Fotografie zwar durch geeignete Maßnahmen weitgehend unterdrücken, aber man kann niemals ein Foto ohne sie machen. Die rechnerische Simulation ist frei von solchen Problemen. Wenn der Algorithmus stimmt, hängt hier die Qualität der Ergebnisse nur von der Qualität der verwendeten Daten ab. Bei der Betrachtung der im folgenden gezeigten Vergleiche muss man sich also darüber im klaren sein, dass weder das Foto noch die Simulation genau die „Realität“ wiedergeben. Wenn diese beiden grundverschiedenen Verfahren allerdings Ergebnisse liefern, die einander zum Verwechseln ähnlich sind, dann darf man von einem hohen Grad an Realismus ausgehen.



Abb. 1: Shading und Lichtsimulation

Wie wirken sich die Eigenschaften des Auges aus?

Überhaupt nicht, wenn die zu vergleichenden Bilder unter identischen Bedingungen präsentiert werden. Keinesfalls darf natürlich ein „Licht reflektierendes“ Foto direkt mit der – Licht abstrahlenden – Bildschirmanzeige verglichen werden. Weitere Überlegungen zum Bild-vergleich sind in [4] zu finden.

Besonders wirklichkeitsnah wird die Darbietung einer simulierten Szene, wenn die gebotenen Leuchtdichten und Kontraste den realen Verhältnissen entsprechen. Bei der Anzeige auf Bildschirmen oder bei der Projektion mit einem Dia- oder Datenprojektor lassen sich Leuchtdichten bis etwa 200 cd/m^2 erzeugen, was für die Innen- und Aussenbeleuchtung mit künstlichem Licht in vielen Fällen ausreicht. Ausgedruckte Bilder können, je nach Art der Beleuchtung, mit beliebiger Leuchtdichte präsentiert werden und Kontraste bis etwa 300:1 sind mit heutigen

Foto

Simulation

MIT



SICK



KARNER



SCHMIDT

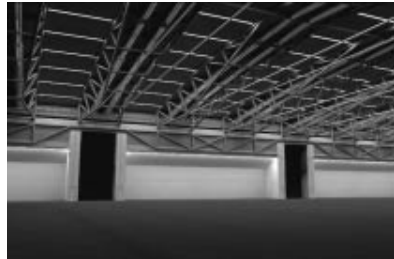


Abb. 2: Vergleiche zwischen Foto und Simulation

Drucktechniken darstellbar. Zur realistischen Simulation der Blendung etwa in Situationen mit Tageslicht müssen wesentlich höhere Kontraste erzeugt werden können. Eine Versuchsanordnung hierfür arbeitete mit Diaprojektoren, deren Bild durch ein Stereo-Okular betrachtet wurde und konnte Leuchtdichte bis zu 10 000 cd/m² bei entsprechenden Kontrasten erzeugen [5]. Ein Wert, der etwa einer sonnenbeschienenen Fläche im Innenraum entspricht. Durch Verwendung von Filmprojektionstechnik ließe sich natürlich auch jede höhere Leuchtdichte bis hin zur permanenten Erblindung des Beobachters realisieren.

Vergleiche zwischen Foto und Simulation

In Abbildung 2 sind Bildvergleiche des Massachusetts Institute of Technology (MIT) [6], von Karner [7], Sick [5] und vom Autor dargestellt. Ein weiteres, hier nicht dargestelltes Beispiel findet sich in [8]. Die Fotos erkennt man im wesentlichen an den bereits geschilderten, typischen Abbildungsfehlern und die Simulationen an kleinen Nachlässigkeiten bei der Modellierung. Das Herausfinden der Abweichungen im Einzelfall sei dem Leser überlassen. Entscheidend ist, dass es sich nur um geringe Unterschiede handelt.

Schlussfolgerung

Die mit der genannten Simulationsmethode aufgrund von geometrischen und photometrischen Daten erstellten Bilder lassen sich fotografisch nachweisen. Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass auch die hohe numerische Genauigkeit des Verfahrens erwiesen ist, u.a. in [9]. Der Wert dieser Methode als Planungswerkzeug zur Vorhersage der Intensität und Verteilung von Licht in einem beliebigen Umfeld ist damit unter Beweis gestellt.

Literatur

- [1] KHODULEV A, KOPYLOW E: Physically Accurate Lighting Simulation in Computer Graphics Software <http://rmp.kiam1.rssi.ru/articles/pals/index.htm>
- [2] LARSON G W, SHAKESPEARE R: Rendering with RADIANCE Morgan Kaufman Publishers, Inc. San Francisco, 1998
- [3] www.siview.de
- [4] SCHMIDT H J: A new method of lighting design Proc. CIE Symposium i75 Years of Photometry Budapest, 1999
- [5] SICK F: Zur Bedeutung eines visuellen Komfort-Indexes Proc. Symposium Innovative Lichttechnik in der Architektur Karlsruhe, 1994
- [6] MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY: Design Studio of the Future <http://sap.mit.edu/projects/studioimages.html>
- [7] KARNER K: Assessing the realism of local and global illumination models R.Oldenbourg, Wien, 1997
- [8] Sicherheitsfaktor Licht DESIGN&LICHT 1/00 Erlangen, 2000
- [9] LICHTTECHNISCHES INSTITUT, LiTG BEZIRKSGRUPPE KARLSRUHE: Proc. Lichttechnisches Symposium am 3.4.98 Karlsruhe, 1998

Computer Aided Planning – Die Planungstreppe zur Lichtlösung

Siegfried Luger

Die Anforderungen an moderne Gebäude sind in den letzten Jahren ständig gewachsen und verlangen heutzutage hohe Kompetenz von Architekten, Planern und Elektroinstallateuren um eine Projektierung erfolgreich zu gestalten. Neben der energetischen Betrachtungsweise treten Flexibilität, Wohlbefinden und langfristige Aspekte ins Zentrum des Interesses. Auf die Planungs- und Bauphase entfallen 20 % der Kosten für ein Gebäude, doch beeinflussen diese die 80 % Nachfolgekosten im gesamten Lebenszyklus einer Immobilie /1/.

Dieses neue Bewusstsein rückt die Qualität und das Ergebnis einer Planung zunehmend in den Vordergrund. Der gesamte Planungsprozess ist einem Wandel unterzogen und bedarf neuer Lösungskonzepte. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurde von uns für den Bereich der LICHTLÖSUNGEN ein entsprechendes Verfahren entwickelt.

Als Lichtlösung verstehen wir die umfassende Betrachtung aller Lichtaufgaben in einem Gebäude. Angefangen von der Lichtplanung, der Sicherheitsbeleuchtung bis hin zum Lichtmanagement. Je nach Anwendung stehen teilweise sehr unterschiedliche Anforderungen und Parameter im Vordergrund und diesen sollte jeweils Rechnung getragen werden.

Technisch gesehen, hat der Einzug von digitalisierten Gebäudesystemtechniken (LUXMATE, LON, EIB, etc.) und die Informationsübertragung über verschiedene

Medien wie Busleitung, Luft (Infrarot, Funk) oder das Wechselstromnetz den Komplexitätsgrad der Anlagen erhöht. Als wichtiges Merkmal der technischen Evolution können wir heute die Systemvernetzung betrachten, die neben der primären Bedürfnisbefriedigung eben auch die planerischen Prozesse weitgehend tangieren.

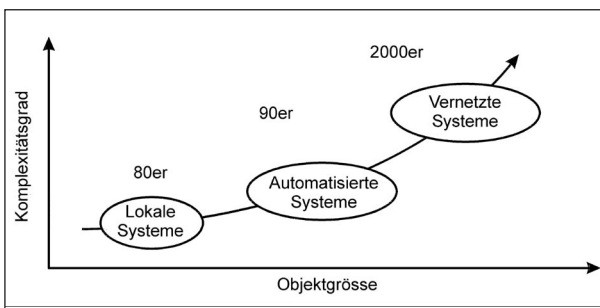


Abb. 1: Einflüsse auf den Komplexitätsgrad von Systemen

Ing. Siegfried Luger
ZUMTOBEL STAFF GmbH
Schweizer Straße 30
A-6850 Dornbirn

Diese Komplexitätssteigerung von Planungsaufgaben und der implizite Zwang zum schnelleren und effektiveren Arbeiten führen zunehmend zu einer größeren Bedeutung von softwareunterstützten Planungstools.

Zum Beispiel war im Bereich der Mikroelektronik das computerunterstützte Design Voraussetzung dafür, dass die rasanten Fortschritte der Miniaturisierung (Large Scale Integration) realisiert werden konnten. Ebenso ist der Einzug und die Durchdringung von CAD-Werkzeugen in die Arbeitswelt des Ingenieurs und Planers unaufhaltsam. Allein in Deutschland gibt es derzeit über 40 Software-Tools /2/ in dem Segment des Computer Aided Facility Managements, einem in Europa eher jungen Bereich.

Der im folgenden dargestellte Ansatz zeigt einen softwareunterstützten Planungsprozess in 7 Stufen der den Nutzer von der Anwendung bis hin zur Detaillösung führt.

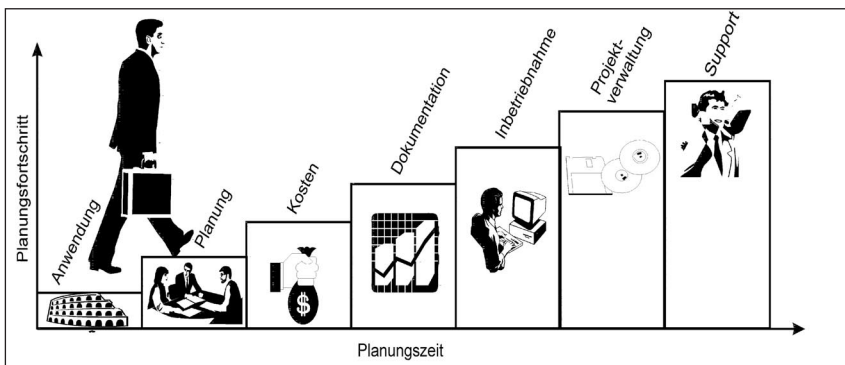


Abb. 2: Mit der 7-stufigen Planungstreppe zum Erfolg.

Stufe 1 – Anwendungsideen

Jede Anwendung zeichnet sich durch eine Anzahl unterschiedlichster Anforderungen aus, die schlussendlich einer Lösung zugeführt werden müssen. Die Objektgröße muss als zusätzlicher Parameter betrachtet werden, der schlussendlich Einfluss auf das Ergebnis haben wird.

Über sogenannte Hauptanwendungsgebiete werden die Applikationen in verschiedene Kategorien unterteilt, um dadurch einen schnelleren Zugang für den Planer zu ermöglichen.

Die Anforderungen und Lösungsergebnisse werden in die Bereiche Allgemeinbeleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung und Gebäudesystemtechnik unterteilt und sollen am Beispiel für einen Büroraum verdeutlicht werden.

Mitgelieferte und erstellte Anwendungsbeispiele sind in einem Datenpool abgespeichert und können direkt in den Planungsprozess übergeben werden. Durch Adaptierung auf die aktuellen Projektbedürfnisse kann damit auf einfache Weise das Beispiel editiert werden und liefert innerhalb kürzester Zeit die abgewandelte Lösung. Diese neu generierten Applikationen sind Grundlage für einen Projektdatenpool, der als Fundus für weitere Arbeiten dienen soll.

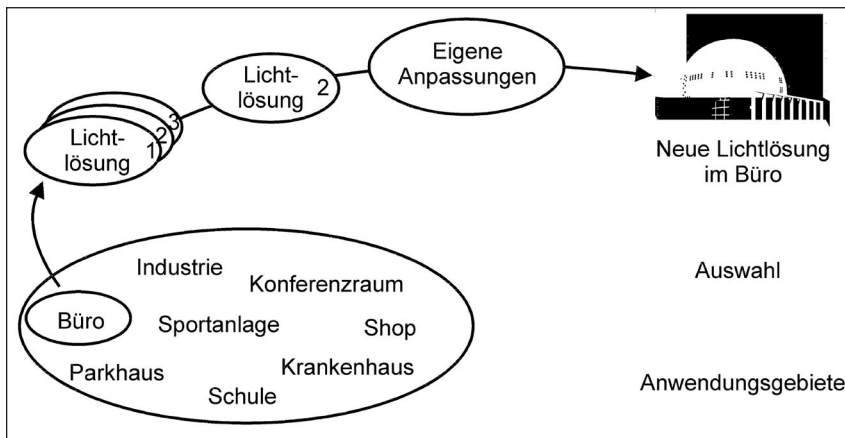


Abb. 3: Vorgefertigte Anwendungsideen als Einstieg für neue Lösungen

Stufe 2 – Planungsprozess

Der Planungsprozess ist das Herzstück einer softwarebasierten Projektbearbeitung. Ziel dieses Prozesses ist es, Eigenschaften bzw. Funktionen an das Projekt letztlich in Produkte und Lösungsvorschläge umzuwandeln. Es ist naheliegend, dass die Qualität des Ergebnisses gerade an dieser Stelle von größter Bedeutung ist, da z. B. hier die Weichen für die Kosten gestellt werden. Änderungswünsche der Kunden und Ausarbeitungsvarianten können durch softwareunterstützte Tools entsprechend einfach implementiert und ausgeführt werden.

Je nach Grad der Automation können wir zwischen manuellen, halbautomatischen (Konfigurator) und vollautomatischen (künstlicher Intelligenz) Prozessen unterscheiden, wobei das halbautomatische Verfahren aus Kostengründen und Kundennutzen heutzutage als das wirkungsvollste bezeichnet werden kann.

Der Prozess einer Lichtlösungsplanung kann in folgende Schritte unterteilt werden.

Lichtplanung

In der Lichtplanung werden Typ und Anzahl der Leuchten auf Grundlage von vordefinierten Beleuchtungsniveaus errechnet. Für die Sicherheitsbeleuchtung erfolgt nach der Festlegung der Fluchtwege die Berechnung des benötigten Beleuchtungsniveaus und lokalisiert die entsprechenden Leuchten für den Notfall.

Aufbau der Gebäudestruktur (Gebäude, Etagen, Räume)

Der Raum gilt als Grundzelle der gesamten Planung /3/. Die Räume werden zu Etagen zusammengefasst, wobei Schaltschränke automatisch oder manuell eingefügt werden können. Auf diese Art und Weise wächst ein Projekt bis zu seiner gesamten Ausbaustufe an und spiegelt sich in lokalen Einheiten wider.

Produktauswahl

Bei diesem Schritt muss grundsätzlich von zwei Anwendergruppen eines derartigen Software Tools ausgegangen werden – dem Einsteiger und dem Profi. Um dem Rechnung zu tragen, empfiehlt es sich einen Einsteiger-Modus mit sogenannten Wizzards und einen Profi Modus mit einer Schnellauswahl vorzusehen. Wurde ein Produkt ausgewählt, wird dieses in die entsprechende Gebäudestruktur eingefügt.

Zuordnung der Produkte in die Gebäudestruktur

Produkte werden den Räumlichkeiten zugewiesen, wobei anzumerken ist, dass der halbautomatische Prozess unterstützend in die Planung eingreift. Es wird z. B. davon ausgegangen, dass ein Modul für die Hutschienen Montage in einem Schaltschrank positioniert werden soll, und falls sich dieser noch nicht in der Gebäudestruktur befindet, wird er selbständig vom Programm eingefügt. Eine besondere Bedeutung kommt den sogenannten Plausibilitätsprüfungen zu. Durch diese Prüfungen wird festgestellt, ob die Treiberfähigkeiten, die Anschlussleistungen und die Verbindungen überhaupt möglich sind. Auf diese Weise konzentriert sich der Anwender mehr auf die prinzipiellen Funktionen und Eigenschaften und wird von Details – die jedoch zum Gelingen des Projektes nötig sind – entlastet und teilweise sogar befreit.

Dass dieses duale Prinzip den Bedürfnissen der Anwender sehr nahe kommt, zeigte sich bereits bei den ersten Prototypen-Tests mit ausgewählten Testpersonen.

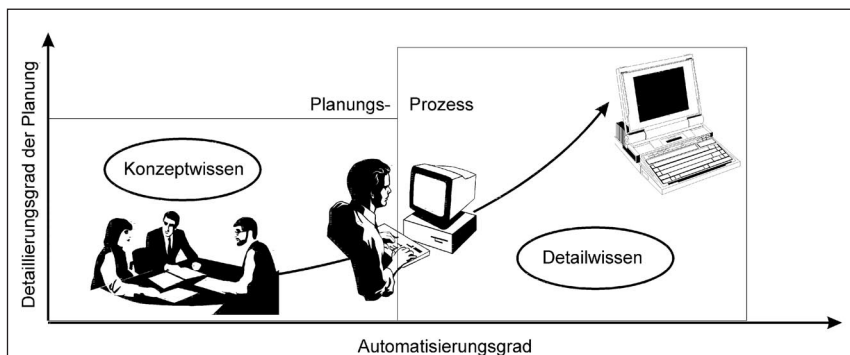


Abb. 4: Das duale Prinzip führt zu effizienteren Planungen.

Vernetzung von Bussystemen und Gewerken

Die Vernetzung gewinnt wie in der Einleitung bereits erwähnt zunehmend an Bedeutung und wird grundsätzlich vom Programm eigenständig vorgeschlagen. Die Grundstruktur bildet der 2-Drahtbus der bei größeren Projekten segmentiert und der Gebäudestruktur angepasst wird. So ist es z. B. vorteilhaft in Gebäuden pro Etage entsprechende Busbezirke zu bilden.

Die zentralen Versorgungseinheiten fügt das Programm selbständig in das Netzwerk ein.

Stufe 3 – Kostenschätzung und Ausschreibung

Das Ergebnis des Planungsprozesses führt schlussendlich in die verschiedensten Ausgaben, wobei die Kostenschätzung zu Beginn betrachtet werden soll. Der Planer, der einen entsprechenden Kostenrahmen als Vorgabe für sein Konzept erhält, muss diesen SOLL/IST Abgleich durchführen. Hier kommt der computerunterstützten Planung eine ganz besondere Bedeutung zu. Denn auf Grund der kurzen Planungszeiten ist es nun möglich, Varianten und Optionen in der Planung zu berücksichtigen.

Die Kostenschätzung wird aufgegliedert in die Bereiche Allgemeinbeleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung und Gebäudesystemtechnik und kann in verschiedensten Ausgabe Zusammenstellungen konfiguriert werden. Die Wichtigsten sind dabei die Selektion nach der Gebäudestruktur sowie die Gliederung nach Produkttypen. Die entstandenen Massenaufstellungen dokumentieren gemeinsam mit den Kostenpositionen den Planungsschritt und bilden die Grundlage für die Generierung der Ausschreibung.

Um länderspezifische Normen abzudecken, sind vor allem die GAEB, die AVA, aber auch die Standard ASCII-Schnittstelle zu unterstützen /4/. Der entstandene Export als Ausschreibung der gesamten Lichtlösung kann dann in Ausschreibungsprogramme importiert werden um eine komplette Ausschreibung generieren zu können.

Stufe 4 – Dokumentation

In diesem Planungsschritt kann von Seiten des Programms sehr viel automatisiert generiert werden, da hier nur noch die Aufbereitung von bereits eingepflegten Daten und Informationen erfolgt. Für eine hochwertige und inhaltlich korrekte Dokumentation muss gerade auf dieser Stufe konventionell mit einem erheblichen Aufwand gerechnet werden.

Die Dokumentation soll zugleich aktuell und umfassend alle Planungsschritte des Projektes beinhalten. Dazu wird ein dynamisches Pflichtenheft – vom ersten Kundenkontakt bis hin zum Projektabschluss – geführt. Die Systembeschreibung komprimiert die Planung auf die Strukturelemente, die im Wesentlichen aus den Räumen, Etagen und den Schaltschränken bestehen. Neben den textlichen Ausgaben stehen noch eine Reihe von Listings zur Verfügung, die je nach Wunsch unterschiedlich sortiert werden können. Hier bietet sich insbesondere eine Gruppierung nach Räumen, Kategorien wie z. B. Bediengeräte und Gewerken an.

Das Schaltschema dient dem Planer als Konzeptentwurf für den Elektroinstallateur und spiegelt die Planungsideen wider. Davon abgeleitet können dem Elektroinstallateur Detailpläne für den Schaltschrank mit genauen Klemmenangaben generiert werden.

Der Adressierungsplan ist überall dort notwendig, wo Bussysteme Anwendung finden. Mit der Adressierungsvorschrift werden busfähige Produkte Räumlichkeiten zugewiesen und in Folge neben den Einzeladressen noch in Gruppen zusammengefügt. Die Bedienelemente werden ebenfalls in diesem Schritt mit einer bestimmten Gruppe und einem bestimmten Raum verknüpft. Dieser an sich komplexe Vorgang kann durch die Software deutlich vereinfacht werden.

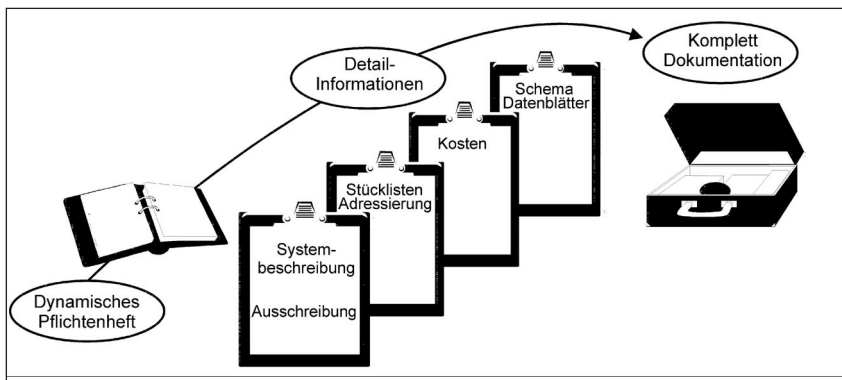


Abb. 5: Vom Pflichtenheft bis zur kompletten Dokumentation

Stufe 5 – Inbetriebnahme

Eine Projektierung sollte nicht mit der Dokumentation enden /5/. Denn die Inbetriebnahme kann sich in der Praxis als kritischer Erfolgsfaktor für das Gelingen des Projektes erweisen.

In dieser Phase wurde die Planung bereits abgeschlossen und die gelieferten Produkte wurden an Ort und Stelle montiert. Was gestern kein Thema war, steht heute im Umfeld von programmierbaren Systemkomponenten im Mittelpunkt. Wie wird das System korrekt adressiert, programmiert und justiert?

Oft helfen Checklisten dem Elektriker grobe Fehlverdrahtungen im Vorfeld auszuschließen bzw. zu eliminieren. Die automatisch erstellten Adressierungspläne können als Grundlage für das Inbetriebnahmeverfahren herangezogen werden. Um ein gesamtes System korrekt aufzusetzen, brauchen wir in dieser Phase die Information von sogenannten Raumszenarien. Hier schließt sich der Kreis zu unserem Einstieg, denn Anforderungen an die Räumlichkeiten können für die jeweilige Applikation übernommen oder aber selbst definiert werden.

Ist die Anlage nun entsprechend abgenommen, wird öfters noch die Frage nach einem Raum- bzw. Logbuch gestellt, das die Auflistung aller Komponenten verlangt, die tatsächlich in dem Projekt verbaut wurden. Dieser Quer-Check gleicht die Planung mit der Realität ab und dient zur Abrechnung mit dem Auftraggeber. Die Anlagendaten können mittels dem Software Tool in das Projekt-File zurückgelesen werden.

Stufe 6 – Projektverwaltung

Neben der Projektierung benötigen softwareunterstützende Tools selbstverständlich eine Archivierung. Diese bezieht sich zum einen auf die selbst bearbeiteten Projekte mit deren Daten und zum anderen auf einen generellen Datenpool.

Was verstehen wir darunter? Für die Zukunft besteht die Möglichkeit, ein Projektpool der Allgemeinheit zur Verfügung stellen zu können. Neben dem „How to do“ können die Projekte statistischen Analysen unterzogen werden. Dieser Projekt-Daten-Pool sollte zukünftig im Internet angeboten werden und bildet eine ideale Symbiose zwischen moderner Informations- und Planungstechnologie.

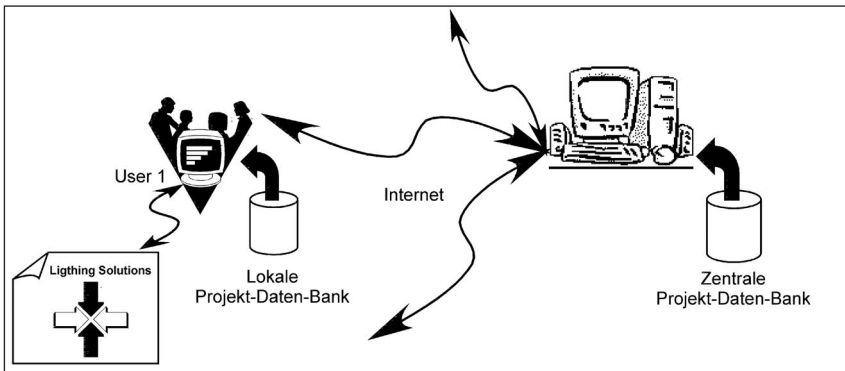


Abb. 6 : Daten- und Projektaktualität mittels Vernetzung

Stufe 7 – Support

Unter dem Thema Support verstehen wir verschiedenste Hilfestellungen, die im Planungsprozess unterstützend Verwendung finden. Neben dem klassischen Help, das primär programmtechnische Hilfe liefert, liegt das Hauptziel in der Aktualität des verwendeten Programmes und deren Daten und Inhalten. Die Sicherstellung von neuen Inhalten wie z. B. Produkt-Updates, muss als Key-Faktor verstanden werden. Auch in diesem Fall bietet uns bei entsprechend aufbereiteten Datensätzen das Internet den Lösungsansatz. Gut gepflegte Download-Seiten sorgen für den Support von neuen Elementen oder können teilweise programmtechnische Anpassungen durchführen.

Fazit

Die ersten Feedbacks konnten mit einem Software Prototyp gewonnen werden. Dabei wurde festgestellt, dass die prinzipielle Strategie um LICHTLÖSUNGEN in Zukunft planen zu können, richtig gewählt wurde. Die Probanden waren nach einer Kurzeinführung in das Programm in der Lage, einen Konferenzraum mittlerer Größenordnung innerhalb kürzester Zeit durchzuplanen. Die Reduktion der Planungszeit, die verbesserte Qualität der Planung und die Anwendungsorientierung können als die Hauptnutzen der softwareunterstützten Planung gesehen werden.

Ein unserer Meinung nach wichtiger Erfolgsfaktor war die Wahl der Schnittstelle zwischen Know how bzw. Kreativität des Planers und dem automatisierten Verfahren des Programms.

Hier kann nochmals konstatiert werden, dass es zu einer positiven Verschiebung der Planungsaufgaben kommt, nämlich von der Beschäftigung von Detailproblemen hin zu den konzeptionellen Arbeiten, wo auch die Erfahrung und Kreativität verlangt wird.

Das Planen von LICHTLÖSUNGEN auf Basis von Computer Aided Planning mit der 7 stufigen Planungstreppe erscheint uns geeignet den hohen Anforderungen an die Planungsaufgaben von heute und morgen gewachsen zu sein.

Neue Techniken verlangen nach neuen Methoden – es liegt an uns, diese zu nutzen.

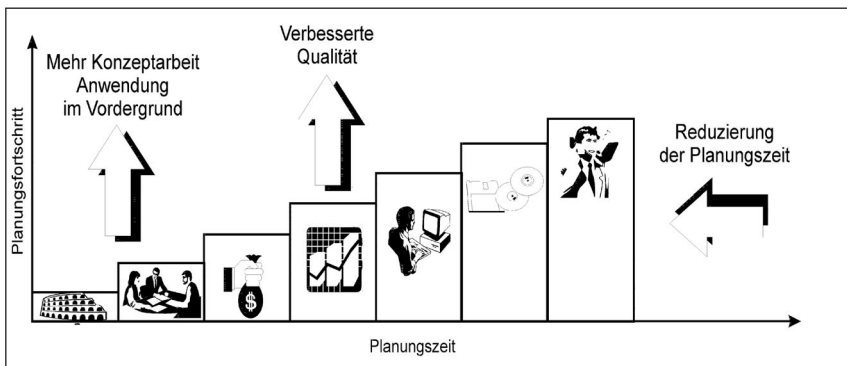


Abb. 7: Hauptnutzen einer softwareunterstützten Planung

Literatur

- /1/ René Keuter: Lutz – Handbuch Facility Management, 4. Erg. Lfg., 4/98
- /2/ Ebert Ingenieure: Computer Aided Facility Management (CAFM), Marktübersicht, 1999/2000
- /3/ Hans Rudolf Kranz: Building Control – 2. Auflage, S.1-14ff., 1997
- /4/ K.-M. Koch, U. Radzieowski: Elektro Praktiker, S. 260ff., 3-2000
- /5/ Stefan Hauer, Walter Werner: Licht im Raum als Teil der Gebäudefunktion, Licht 98, S. 455ff., 1998

Photorealistische Lichtsimulation unter Praxisbedingungen: Lightscape, Radiance & Co

Peter Apian-Bennewitz, Kurt Altmann

Zielgruppe dieser Studie sind Planer, die sich für die Thematik exakter visualisierter Lichtverteilung im professionellen Umfeld interessieren. Anfänger finden Information zur Abschätzung des Aufwands und der dadurch erreichbaren Ergebnisse, primär für Experten sind die beschriebenen Details.

In dieser, von der Licht Akademie in Auftrag gegebenen Studie waren drei Kriterien von besonderer Bedeutung: Praxisbezug, Photorealistische Darstellung und quantitative Aussagen über das Licht. Sie gliedert sich in drei Teile: Die Auswahl eines Modellobjekts und dessen kurze Erläuterung, die Erstellung eines dreidimensionalen CAD-Modells und den Import in die Simulationsprogramme, sowie im Hauptteil die Simulation selbst.

Mit zunehmender Leistungsfähigkeit von Personal Computern stiegen nicht nur die Ansprüche der Anwender, sondern auch die Versprechungen der Hersteller von Software. Oftmals stellt sich jedoch heraus, daß eine Software, die für kleinere Projekte durchaus praktikabel erscheint, aus programminternen oder betriebssystembedingten Gründen bei größeren Projekten der Praxis an Limits stößt.

Gleichzeitig soll der Leser dieser Studie sich mit der geschilderten Problematik identifizieren können. Exotische Erkenntnisse im Gebrauch von Renderfarmen mit 100 oder mehr Maschinen oder High-End Grafikworkstations mit Anschaffungskosten von mehreren zehntausend Mark waren nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

Auch wurde davon ausgegangen, daß sich ein einfacher viereckiger Büroraum mit Einrichtung ohne Probleme mit allen bei der Studie berücksichtigten Programmen realisieren läßt. Gesucht wurde daher ein reales Objekt der Praxis mit skalierbarer Geometrie, die eine stufenweise Steigerung der Komplexität innerhalb des Modells erlaubt.

Das Thema Licht sollte eine herausragende Bedeutung einnehmen: Tages- und Kunstlicht sollten gleichermaßen vertreten sein.

Peter Apian-Bennewitz
pab-opto, Technische Visualisierungen
Gilgenmatten 44
79114 Freiburg

Kurt Altmann
Ingenieurbüro Altmann
Karl-Hoffmann-Str. 7
76137 Karlsruhe

Die Wahl fiel daher auf des Kimbell Art Museum in Fort Worth, Texas (Architekt: Louis I. Kahn).

Die Besonderheit des Entwurfes von Louis Kahn ist die Behandlung des Tageslichts zur natürlichen Beleuchtung der Exponate. Über die gesamte Länge des zykloiden Deckengewölbes existiert in dessen Zenit eine ca. 76 cm breite Lichtöffnung, die durch eine tonnenförmige Plexiglasabdeckung abgedichtet wird.

Um eine direkte Sonneneinstrahlung zu vermeiden, wurde an der Innenseite des Deckengewölbes, unterhalb der Lichtöffnung, ein Reflektor konzipiert. Dieser besitzt eine Art Kamm, der bis in die Deckenöffnung ragt, um selbst unter flachem Winkel einfallendes direktes Sonnenlicht auszublenden.

Diese Beleuchtung wurde mit drei Programmen berechnet, wobei eines (3d-Studio MAX) in einer frühen Phase ausschied. Bei den beiden anderen handelt es sich um Lightscape von AutoCAD, ein Programm, das sich besonders in der Kunstlichtsimulation breiter Anwendung erfreut, und Radiance, vom Lawrence Berkeley National Lab, das ebenfalls weltweit für Lichtsimulationen unterschiedlichster Natur verwendet wird.

Die Ergebnisse umfassen die Handhabung der Programme in diesem Praxis-kontext, die Rückwirkungen der Simulationsprogramme auf die Strukturierung



Abb. 1: Simulierte Innenansicht des Kimbell Art Museums mit Materialmodellierung für Decke und Travertin/Parkett Böden



Abb. 2: Detailansicht einer Ausstellungsvitrine mit erhöhter Modellierungstiefe

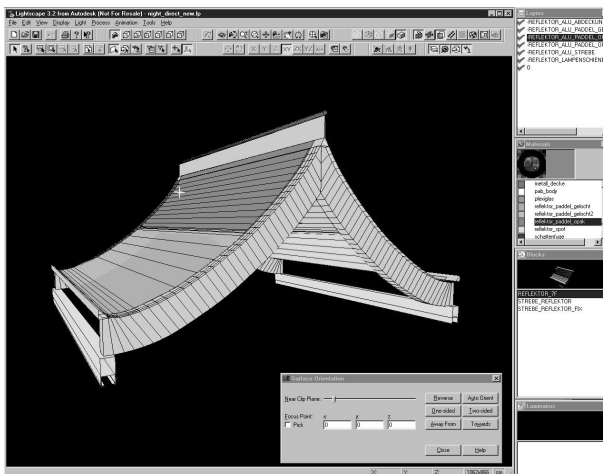


Abb. 3: Modellierung der „Lichtpaddel“ unterhalb der Deckenöffnung in Lightscape

der CAD-Daten, die Darstellung der Ergebnisse, sowie Abschätzungen zum Aufwand einer solchen Simulation in der Praxis.

Als Beispiel der Ergebnisse sind zwei Bilder des Museums in Abb. 1 und 2 angefügt, deren Reproduktion als schwarz/weiß 300dpi Druck in diesem Tagungsband nicht den vollen Umfang der Simulation wiedergeben kann. Das dritte Bild zeigt ein Modell der Lichtpaddel, die unterhalb der Öffnungen im zyklischen Deckengewölbe das Licht in den Innenraum lenken.

Die 60 Seiten umfassende Studie mit den Simulationsergebnissen ist frei im World Wide Web unter http://www.pab-opto.de/render_vergleich in vollem, aktuellem Umfang erhältlich.

Erweiterte Einsatzmöglichkeiten der internationalen Lichtplanungssoftware ADELINe in der neuesten Version

Jan de Boer, Hans Erhorn

1. Einleitung

Unter Leitung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik wurde in Kooperation mit namhaften internationalen Forschungsinstituten das lichttechnische Planungswerkzeug ADELINe (Advanced Daylighting and Electric Lighting Integrated New Environment) im Rahmen eines Forschungsprojektes der internationalen Energieagentur weiterentwickelt [1/ 2/]. Die Software wird in Deutschland von mehr als 200 Firmen und Institutionen, im wesentlichen Planungsbüros und Industrieunternehmen, eingesetzt. Mit der nun erhältlichen Version 3 steht ein im Funktionsumfang und in der Handhabung deutlich verbessertes Programm zur Verfügung.

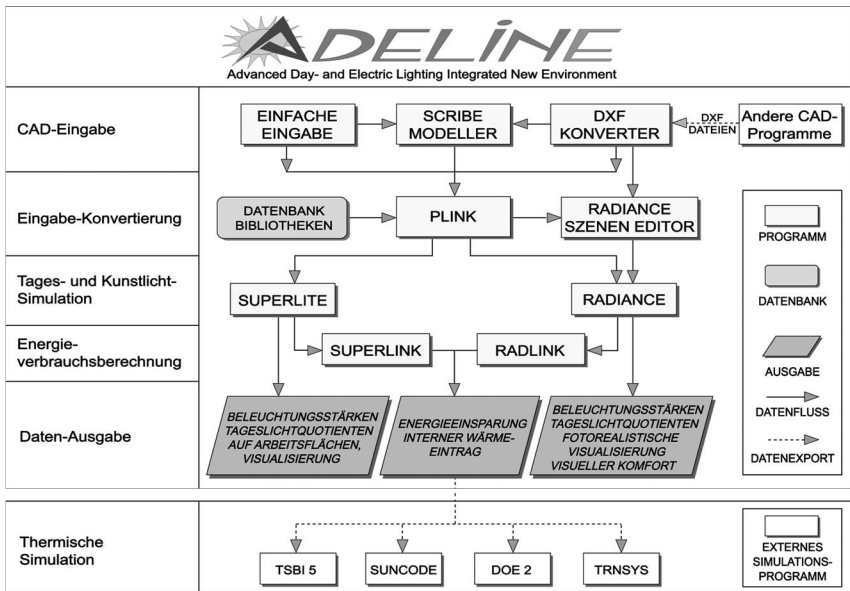


Abb. 1: Übersicht über das Programmpaket ADELINe 3.0.

Dipl.-Ing. Jan de Boer, Dipl.-Ing. Hans Erhorn
 Fraunhofer-Institut für Bauphysik
 Nobelstraße 12
 D-70569 Stuttgart

2. Neue Funktionalität

Abb. 1 zeigt den schematischen Aufbau des nun unter Windows NT/95/98 laufenden Programmsystems. ADELINe enthält die zwei international validierten Lichtberechnungsprogramme SUPERLITE und RADIANCE. Die Programme SUPERLINK und RADLINK stellen die Verbindung zwischen Tageslichtberechnungen und thermischen Gebäudeberechnungsprogrammen her. Zahlreiche Programmmodule zur Eingabe der Gebäudedaten und Berechnungsparameter sowie Ausgabedialoge unterstützen den Nutzer in einer effizienten und differenzierten Bewertung der natürlichen und künstlichen Beleuchtungsverhältnisse in Gebäuden. Bei der Entwicklung der Version 3 sind folgende Erweiterungen vorgenommen worden:

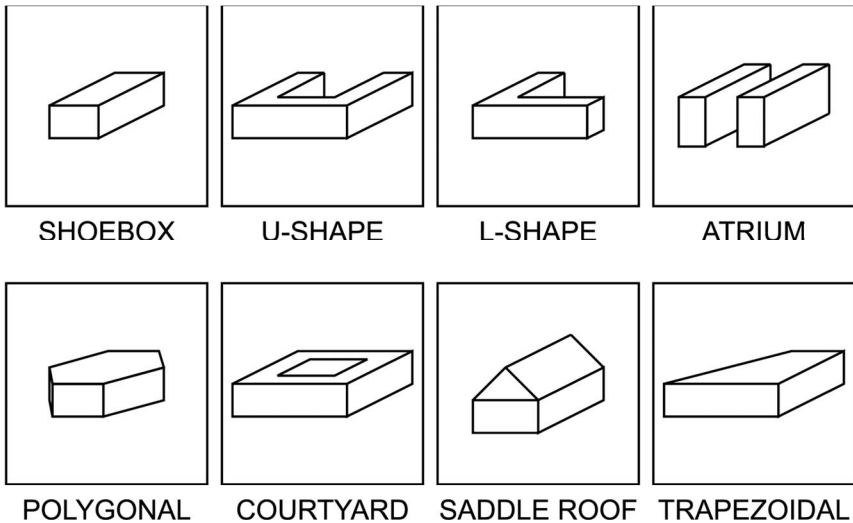


Abb. 2: Auswahlbare parametrisch zu beschreibende Grundgeometrien der „Einfachen Eingabe“

2.1 Einfache Eingabe

Das System wurde um eine umfangreiche „Einfache Eingabe“ ergänzt. Wie Abb. 2 zu entnehmen ist, können neben dem einfachsten Fall einer „Schuhbox“, d. h. eines quaderförmigen Raumes, andere Grundgeometrietypen wie allgemein polygonale Räume bis zu einfachen Atrien parametrisch beschrieben werden. Der Einsatz eines CAD-Tools zur Definition dieser häufig vorkommenden Geometrien ist nicht mehr erforderlich. Die anderen berechnungsrelevanten Parameter werden nutzergeführt abgefragt. Somit wird eine signifikante Reduktion des Modellierungsaufwandes gerade in der entscheidungsintensiven frühen Entwurfsphase erreicht. Unterschiedliche Entwurfsvarianten können bei kurzen Eingabe- und Berechnungszeiten (unter 10 min, Variation einzelner Parameter noch schneller) unmittelbar miteinander verglichen werden und somit kosteneffizient einer optimalen Lösung zugeführt werden. Die „Einfache Eingabe“ ist derart in das Programmpaket integriert, daß sämtliche Module der ADELINe-Ausgabe

mitgenutzt werden können. Die parametrisch definierten Modelle können innerhalb der Programmumgebung als Keimzelle für komplexere Modelle genutzt werden.

2.2 Grafischer Szeneneditor für Radiance

Das Zusammensetzen einzelner Szenen aus bereits bestehenden Objekten sowie die Definition von Blickpunkten zum Rendern war in der bisherigen Integration von RADIANCE in das ADELINe Programmsystem weitestgehend nur numerisch möglich. Mit dem RADIANCE SCENE EDITOR, dargestellt in Abb. 3 ist nun die grafisch interaktive Komposition von Szenen in Wire Frame Darstellung mit integriertem Hidden Line Removal möglich. Objekte können mittels der Maus frei translatiert, rotiert und skaliert werden. Material-, Leuchten- und Möbeldatenbanken ermöglichen ein schnelles Zusammensetzen detaillierter Szenen. Blickpunkte zum Rendern photorealistischer Ansichten können grafisch interaktiv durch eine virtuelle Kamera festgelegt werden.

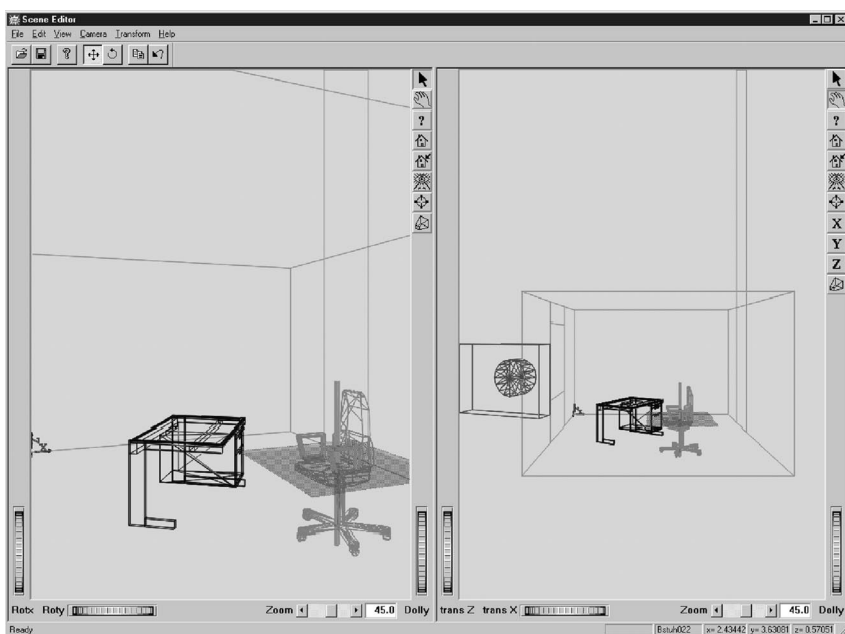


Abb. 3: Grafisch interaktive Szenenkomposition mit dem Radiance Szenen-Editor.

2.3 Verbesserte Integration der Kunstlichtplanung

Unter dem Gesichtspunkt des integralen Planungsansatzes sollte sowohl für die Tageslichtsimulation als auch für die Kunstlichtauslegung ein einheitliches Modell genutzt sowie eine einheitliche Software eingesetzt werden. Programme, die aus dem Bereich der Kunstlichtplanung kommen, bieten nur selten die Möglichkeit, auch Tageslicht zu berechnen. Programme wie Radiance und Superlite bie-

ten aufgrund des allgemeinen Beleuchtungsmodells generell die Möglichkeit, wie in Abb. 4 dargestellt, bei nur einem Modell, zugleich Tages- und Kunstlichtsituationen zu berechnen.

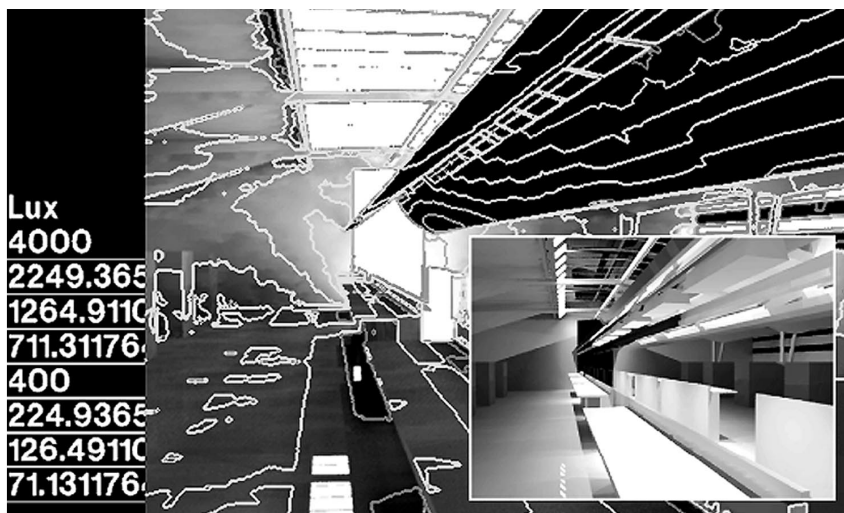


Abb. 4: Photorealistische Visualisierung mit Isoluxlinien. Ein bestehendes Modell kann sowohl für Tages- als auch für Kunstlichtberechnungen genutzt werden.

Neue wie in Abb. 5 dargestellte Dialoge unterstützen die Verwaltung von Leuchtdatenbanken unterschiedlicher Hersteller. Die Leuchten können mittels Auswahldialogen selektiert werden und direkt mit Hilfe des grafischen Szeneneditor (Radiance) plaziert werden.

2.4 Sonstige Erweiterungen

Zahlreiche weitere neue Dialoge und AusgabeprozEDUREN sind in der Version ADELIN 3 hinzugekommen. So lassen sich z. B. nun, wie bereits von Superlite bekannt, auch in Radiance die Beleuchtungsstärken und Tageslichtquotienten auf frei definierbaren virtuellen Arbeitsflächen errechnen. Die Erzeugung der für die Analyse der Leuchtdichte- und Beleuchtungsstärkeverhältnisse hilfreichen Falschfarbendarstellungen wird von der grafischen Bedieneroberfläche unterstützt. Die Möbeldatenbank (300 Einrichtungsgegenstände) und Materialdatenbanken (1600 Materialien) sind erheblich erweitert worden. Die 3D-DXF Schnittstelle (bis AutoCad® Release 14) unterstützt erheblich mehr DXF-Grundelemente. Die im Programmsystem nun enthaltene RADIANCE Version 3.0 enthält zahlreiche Neuerungen. Weitere Information zur neuen Programmversion 3 und den Serviceleistungen sind im Internet unter <http://www.ibp.fhg.de/wt/adeline/index.html> zu finden.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Mit der verbesserten Nutzerführung, der fortschreitenden Verknüpfung der Tageslicht- mit der Kunstlichtplanung und der Verbindung der Lichtberechnung

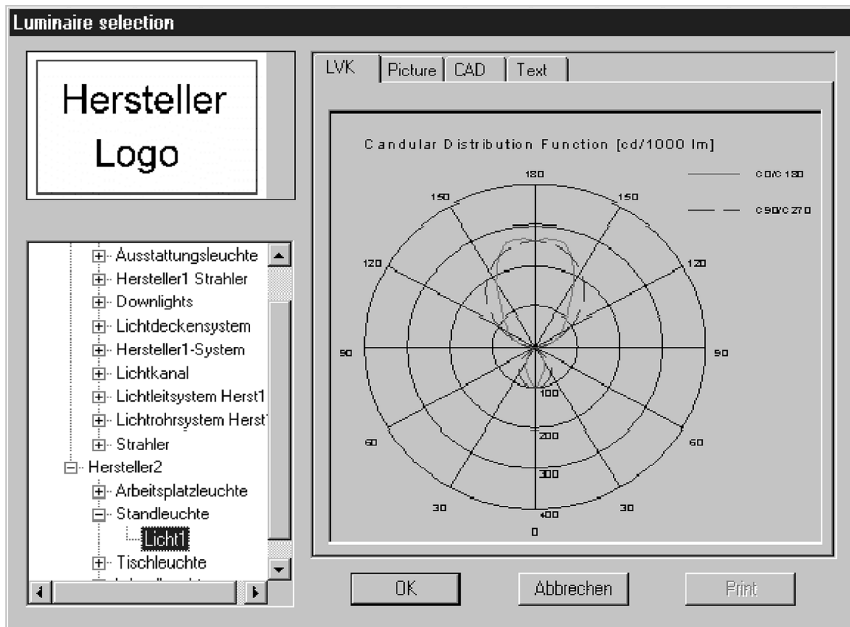


Abb. 5: Dialog zum Zugriff auf Leuchtendatenbanken.

mit der thermischen Gebäudesimulation steht mit ADELIN 3 ein leistungsfähiges Planungswerkzeug zur Verfügung, das den Planer von der frühen Entwurfsphase bis zur Detailplanung begleitet.

Auch zukünftig bleibt die konzentrierte Programmbetreuung sichergestellt. In Einführungsseminaren werden die Grundlagen der Lichtsimulation dargestellt und die projektbezogene Anwendung des Programmsystems trainiert. Über das eingerichtete Hotlinefax kann auch künftig dem Nutzer bei der Bearbeitung des „Alltagsgeschäftes“ kurzfristig geholfen werden. Damit sind auch weiterhin die Grundsteine für eine erfolgreiche Praxisanwendung gelegt.

Aus der fortschreitenden Entwicklung der Fassadentechnologie und weiter steigenden visuellen und thermischen Komfortanforderungen an Arbeitsplätze definiert sich der zukünftige Entwicklungsbedarf für lichttechnische Planungswerkzeuge. Von Planerseite wird dringend die Bereitstellung von Planungshilfsmitteln zur quantitativen Bewertbarkeit innovativer lichttechnischer Fassadenkomponenten wie z. B. lichtlenkender Gläser, oder neuartiger Jalousiebehänge gefordert. Verfahren zur Bewertung der visuellen Komfortverhältnisse, d. h. Bewertung von Blendung und Analyse der Kontrastverhältnisse, bedürfen einer Implementation.

Literatur

- /1/ De Boer, J.; Erhorn, H.: Survey Simple Design Tools, A Working Document of Task 21 / Annex 29, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, 1998
- /2/ Dirksmüller, M.: ADELIN 3 - Documentation, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, 1999

Das Vorhaben wurde vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) und dem Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) gefördert (Förderkennzeichen: 0329037E).

„Licht im Büro“ – Eine interaktive Hilfe rund um die Bürobeleuchtung

Ahmet Çakir, Gisela Çakir

„Nur gute Beleuchtung schafft günstige Sehbedingungen, vermindert die Ermüdung der Augen, fördert und erhält das physische und psychische Wohlbefinden und damit Lebensfreude und Lebenskraft des Menschen.“ (aus den Leitsätzen der DIN-Norm zur Beleuchtung, Juli 1953)

Noch nie in der Weltgeschichte wurden mehr Lampen und Leuchten für die künstliche Beleuchtung hergestellt als in den letzten Jahren. Vermutlich hat es auch nie so viele Menschen mit derart belastenden visuellen Aufgaben gegeben wie an den heutigen Bildschirmarbeitsplätzen. Dennoch gab es beim letzten Weltkongress der IEA, des internationalen Verbandes der Ergonomie- bzw. Human Factors Gesellschaften, keinen einzigen Beitrag zur Beleuchtung. Es wurden immerhin



etwa 1750 Vorträge allesamt mit Bezug auf die menschliche Arbeit gehalten! Die Sorgfalt unserer Gesellschaft beim Umgang mit Licht verhält sich offenbar umgekehrt proportional zur Bedeutung des Lichts und der Beleuchtung.

Welche Gründe hierfür auch maßgeblich sein mögen, diese Situation sollte mit allen verfügbaren Mitteln geändert werden. Insbesondere bedeutsam wäre eine Haltungsänderung bei Fachleuten, die nicht unbedingt Lichttechniker sind, aber etwas mit der Gestaltung von Arbeit und Arbeitsstätten zu tun haben, beispielsweise Sicherheitsingenieure, Betriebsärzte, Arbeitsmediziner, insbesondere aber Architekten.

Mit der CD-ROM „Licht im Büro“ hat das ERGONOMIC Institut im Jahr 1999 eine interaktive Arbeitshilfe rund um die Bürobeleuchtung geschaffen, multimedial umgesetzt von der freshwater connection, Berlin. Die behandelten Themen reichen von „A“ wie AKZEPTANZ bis „Z“ wie ZONALE BELEUCHTUNG, von ÖKONOMIE beim Umgang mit Licht bis ÖKOLOGIE.

Dr.-Ing. Ahmet Çakir
Dipl.-Ing. Gisela Çakir
ERGONOMIC Institut für Arbeits- und Sozialforschung
Forschungsgesellschaft mbH
Soldauer Platz 3
D-14055 Berlin

Die Absicht bei der Aufbereitung des Themas „Licht im Büro“ als CD-ROM war, den Zugang und Umgang mit dem Thema Licht in all seinen Facetten unter Nutzung heute möglicher Techniken zu erleichtern. Bei der Materialsammlung wurde großer Wert auf die Präzision der Aussagen gelegt. Aus diesem Grunde wurden manche aus heutiger Sicht interessant scheinende Themen wie z.B. die gesundheitliche Wirkung von Vollspektrumlampen nicht behandelt, weil es aus Sicht der Autoren noch relativ wenig fundierte Aussagen hierzu gibt. Da zum Thema „Licht und Gesundheit“ in nächster Zeit ohnehin Einiges an wissenschaftlichen Aussagen zu erwarten ist, bedeutet dies allerdings nur einen Aufschub bis zur beabsichtigten Aktualisierung der CD-ROM.

Die Begrenzung des Themas auf das Büro bedeutet nicht, dass in anderen Bereichen weniger Probleme mit Beleuchtung bestehen. Der Grund ist vielmehr der Erkenntnisstand der Autoren, die sehr umfangreiche Studien über Büroarbeit durchgeführt haben und dabei auch den Zusammenhang der Arbeitsbelastung mit der Beleuchtung mit Datenmaterial belegen können.

„Licht im Büro“ wendet sich an alle, die sich mit dem Thema Bürobeleuchtung befassen, d.h. an Lichtplaner, Architekten, Betriebsärzte, Betriebs- bzw. Personalräte und Sicherheitsingenieure, aber auch an den Nutzer.

Da eine derart heterogene Zielgruppe unterschiedliche Nutzungsbedürfnisse aufweist, wurde Wert darauf gelegt, den eiligen Nutzer, der gezielt auf eine Information zugreifen will, ebenso zu unterstützen wie denjenigen, der sich mit dem Themenkomplex insgesamt befassen will. Dementsprechend enthält „Licht im Büro“ verschiedene Komponenten, die miteinander auf vielfältige Weise vernetzt sind, und die einen unterschiedlichen Zugang zu dem Informationsmaterial bieten wird.

Strukturierte Themen: Es werden sechs Themen angeboten, auf die sowohl unter allgemeinen als auch unter bestimmten Aspekten zugegriffen werden kann. Die Informationen werden in akustischer Form und als Lesetext angeboten. Sie werden durch statische und computeranimierte Grafiken ergänzt. Der Zugriff zu den Themen ist auf zwei Arten möglich. Die Führung über das Themenmenü bietet sich an, wenn man alle Aspekte eines Themas betrachten will. Die Führung über die Matrix ermöglicht den gezielten und unmittelbaren Zugriff auf einzelne Themenaspekte. Diese bestehen aus konzentriert dargestellten Texten, Grafiken und Animationen.

The screenshot shows a window titled "MATRIX" with a grid of topics and aspects. The topics are listed in columns: Lichttechnik, Lichtvorschriften, Licht & Gesundheit, Lichtplanung, Lichtsysteme, and Wirtschaftlichkeit. The aspects are listed in rows: Allgemein, Lichtqualität, Individualität, Flexibilität, Design, Akzeptanz, Ökologie, and Wartung. Each cell in the grid contains a small square icon, indicating a connection between the topic and the aspect.

	Lichttechnik	Lichtvorschriften	Licht & Gesundheit	Lichtplanung	Lichtsysteme	Wirtschaftlichkeit
Allgemein	■	■	■	■	■	■
Lichtqualität	■	■	■	■	■	■
Individualität	■	■	■	■	■	■
Flexibilität	■	■	■	■	■	■
Design	■	■	■	■	■	■
Akzeptanz	■	■	■	■	■	■
Ökologie	■	■	■	■	■	■
Wartung	■	■	■	■	■	■

At the bottom of the window, there is a navigation bar with buttons: Hilfe, Themen, Matrix, Buch, Index, - < > +, and Exit.

Die behandelten Themen sind:

- Lichttechnik
- Vorschriften zu Licht und Beleuchtung
- Licht und Gesundheit
- Lichtplanung
- Lichtsysteme und
- Wirtschaftlichkeit.

Jedes Thema ist mit acht Aspekten vernetzt:

- Allgemeines zu dem Thema
- Lichtqualität
- Individualität
- Flexibilität
- Design
- Akzeptanz
- Ökologie
- Wartung.

Eine Besonderheit wird im Hinblick auf Vorschriften und sonstige Regelwerke geboten: An den entsprechenden Stellen wird auf relevante Textpassagen der einschlägigen gesetzlichen Regelwerke zum Arbeitsschutz verwiesen, die direkt über die Themen zugänglich sind. Hierbei wird der Benutzer direkt auf diejenigen Stellen in der jeweiligen Vorschrift geführt, die den jeweiligen Aspekt von Licht bzw. Beleuchtung regeln. Der Benutzer kann aber auch die gesamte Vorschrift durcharbeiten. Breiter Raum ist dem Zusammenhang zwischen Vorschriften wie dem Arbeitsschutzgesetz bzw. der Arbeitsstättenverordnung, Normen zur Beleuchtung und Arbeitsumwelt und den oben angeführten Hauptthemen gewidmet.

Studie „Licht und Gesundheit“: Zu weiterführenden Informationen gelangt man über die Verbindungen zum Buch mit den Ergebnissen der Studie „Licht und Gesundheit – Eine Untersuchung zum Stand der Beleuchtungstechnik in deutschen Büros“, die hierfür die 4. Aktualisierung erfuhrt.



In dem mediengerecht aufbereiteten Buch „Licht und Gesundheit“ werden die Ergebnisse aus 15 Jahren Forschungsarbeit an 3.800 Arbeitsplätzen dargestellt. Das Buch erlaubt sowohl den Ausdruck als auch die schnelle Navigation innerhalb des Buches.

Es enthält zudem Verbindungen zu den anderen Komponenten.

Der Zugang zum Buch ist über drei Wege gegeben:

- über das Inhaltsverzeichnis auf einzelne Kapitel,
- über den Index auf bestimmte Sachthemen,
- aus den strukturierten Themen durch Verweise.

Der gesamte Text des Buchs kann auch zusammenhängend gelesen werden.

Index: Ein breit angelegter Index ermöglicht den direkten Zugriff zu Themen des Interesses.



Glossar: Ein umfassendes Glossar bietet sowohl dem Laien als auch dem Fachmann Unterstützung.

Da die vielfältigen Möglichkeiten der CD-ROM nur dann genutzt werden, wenn eine geeignete Benutzerführung vorhanden ist, wurde bei der Entwicklung der Navigation zwischen den einzelnen Komponenten besonderer Wert auf eine hohe Benutzungsfreundlichkeit, insbesondere auf Selbsterklärungsfähigkeit gelegt. Dementsprechend knapp konnte die Hilfe gehalten werden.

Auf die CD-ROM kann sowohl unter MacOS als auch auch unter Windows 95 bzw. NT zugegriffen werden. Dabei wird direkt von der CD-ROM aus gearbeitet, eine Installation auf dem Rechner ist nicht erforderlich. Der Zugriff ist schnell und komfortabel.

Energieeinsparung in Grundschulklassenräumen

Alpin Köknel Yener

1. Einleitung

Der Sehkomfort in Grundschulklassenräumen spielt eine wichtige Rolle, sowohl für die Ausführung der Sehaufgabe, als auch für die Leistung in intellektuellen Aktivitäten. Die wichtigste Bedingung des Sehkomforts ist das Erreichen der erforderlichen Beleuchtungsstärken durch Ausnutzung des Tageslichtes oder Kunstlichtes, oder durch Kombination von beiden. Wegen der Veränderung des Tageslichtes über den Tag und über das Jahr in Richtung und Intensität sollte das Kunstlicht sollte als eine Ergänzung während der Tageszeit verwendet werden. Die Beleuchtungsenergieeinsparung durch kombinierte Ausnutzung von Tageslicht und Kunstlicht in Innenraumbeleuchtung hat eine wichtige Bedeutung, besonders in Gebäuden, die den ganzen Tag benutzt werden; wie Schulen, Büros, Banken, usw.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Bestimmung der Energieeinsparung in Grundschulklassenräumen, wobei eine Integration von Tageslicht und Kunstlicht berücksichtigt wird.

2. Beleuchtungssystemplanung in Grundschulklassenräumen

Die Beleuchtung eines Klassenzimmers soll für Tätigkeiten wie Schreiben, Lesen sowie Erkennen von Texten und Zeichnungen auf der Wandtafel geeignet sein. Die Sehaufgaben kommen in zwei Ebenen vor; horizontale Tischflächen und senkrechte Wandtafel. Die erforderliche Horizontalbeleuchtungsstärke für Klassenräume mit guten Tageslichtverhältnissen ist als 300lx angegeben, aber das Kunstlichtsystem selbst soll 500lx auf den Arbeitsplätzen erzeugen können /1/, /2/.

2.1 Das Tageslichtsystem

Die Klassenräume nach Süden oder südlichen Richtungen zu orientieren ist zweckmäßig, um den Heizungsenergiebedarf zu minimieren. Der Blendungseffekt wegen des direkten Sonnenlichtes soll dabei berücksichtigt werden.

Ausreichende Beleuchtung mit Tageslicht allein kann nicht immer bis zu der ganzen Raumtiefe erreicht werden. Zusätzliche Beleuchtung mit künstlichem Licht wird deswegen während der Tageszeit häufig benötigt. Die Normalklassen mit ausgerichteter Sitzanordnung müssen so geplant werden, daß das Tageslicht von links einfällt /1/, /2/.

2.2 Das Kunstlichtsystem

In Normalklassen sollen gut abgeschirmte Leuchtstofflampenleuchten in Lichtbandanordnung parallel zur Fensterwand und damit zur Blickrichtung geordnet

Ass. Prof. Dr. Alpin Köknel Yener
Technische Universität Istanbul, Fakultät für Architektur
Taşköprü, Taksim 80191
TR-Istanbul,

sein, um Direktblendung und Reflexblendung zu vermeiden. Das erste Lichtband soll in Fensternähe, das zweite in etwa $1/2$ bis $2/3$ der Raumtiefe angeordnet, zur Vermeidung von Reflexblendung aber nicht direkt über Arbeitsflächen angebracht werden. Die Lage der Arbeitsplätze ist bei der Lichtplanung zu berücksichtigen /1/, /2/.

In Klassenräumen mit freier Sitzanordnung ist eine Zuordnung von Arbeitsplatz und Leuchte nicht möglich. Hier ist Direktbeleuchtung durch regelmäßig angeordnete, gut abgeschirmte Leuchstofflampenleuchten zweckmäßig /1/, /2/.

Wenn beim Planungsprozeß keine Sitzanordnung vorgesehen ist, kann man ein regelmäßig angeordnetes Beleuchtungssystem planen. Das Kunstlicht soll nicht nur als eine Ergänzung für das Tageslicht behandelt werden, sondern eine regelmäßige Beleuchtungsstärke von 500lx soll auf den Arbeitsplätzen durch das Kunstlicht erzeugt werden.

Das Schuljahr beginnt in der Türkei ungefähr am 15. September und endet am 15. Juni. In manchen Schulen in größeren Städten der Türkei (Istanbul, Ankara, usw.) sind die Schüler in zwei Gruppen geteilt; die erste Gruppe hat Unterricht am Vormittag und die zweite Gruppe am Nachmittag. Die Nutzungszeit derartiger Schulgebäude dauert bis 17.00 Uhr. Außerdem der Unterrichtsplan von manchen Schulen dauert von 9.00 Uhr oder 8.30 Uhr bis 16.00 Uhr. In beiden Fällen ist es zweckmäßig, das künstliche Beleuchtungssystem nicht nur als eine Ergänzung für das Tageslicht, sondern auch als ein unabhängiges System für Abends (Unterrichtsstunden nach dem Sonnenuntergang) zu planen.

Eine Energieeinsparung ist möglich, wenn die künstliche Beleuchtung in der Abhängigkeit von dem vorhandenen Tageslicht partiell geschaltet oder gedimmt werden kann. Die Steuerung derartigen Schaltens oder Dimmens kann entweder von Hand oder automatisch erfolgen. Die tageslichtabhängigen Dimmanlagen, wobei eine festgelegte Beleuchtungsstärke ständig vorhanden ist, erzeugen zwar eine höhere Energieeinsparung, aber die Erstellungskosten dieser Systeme sind auch hoch /2/.

3. Berechnung des Beleuchtungsernergiebedarfs in Grundschulclassenräumen
Im Rahmen dieser Arbeit ist ein Klassenraum mit folgenden Eigenschaften angenommen:

Ort	: Istanbul, Breite 40° , Länge 29°
Klima	: Warm
Orientierung	: Südost
Raubbreite	: 8.0m
Raumtiefe	: 6.5m
Raumhöhe	: 3.0m
Fensterbreite	: 6.0m
Fensterhöhe	: 1.9m
Lichttransmissionsgrad des Fensterglases	: 70%
Lichtreflexionsgrad des Bodens	: 20%
Lichtreflexionsgrad der Wände	: 60%
Lichtreflexionsgrad der Decke	: 80%

Die Tageslichtverteilung des gegebenen Klassenraumes ist durch die Anwendung des mittleren Himmelsmodells berechnet /3/, /4/, /5/, /6/. Die Tageslichtbeleuchtungsstärken sind als mittlere stündliche Werte bestimmt, indem die Berechnungen für den 15.Tag jedes Monats des Schuljahrs (September bis Juni) und für alle Stunden zwischen 9.00 Uhr und 17.00 Uhr an diesen Tagen durchgeführt werden. Durch die Berechnung der Tageslichtbeleuchtungsstärken für bestimmte Referenzpunkte kann man die Tageslichtverteilung des Klassenraumes für jede Stunde graphisch darstellen. Darüber hinaus können die Raumzonen, die nicht genügend beleuchtet sind und das benötigte künstliche Licht als mittlere stündliche Werte für jeden Monat bestimmt werden. Das künstliche Beleuchtungssystem besteht aus zwei Lichtbändern, mit je vier zweilampigen Leuchten mit Leuchtstofflampen, 36W / 1.2m. Manuelle Steuerung ist angenommen worden. Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärken ist dabei berücksichtigt.

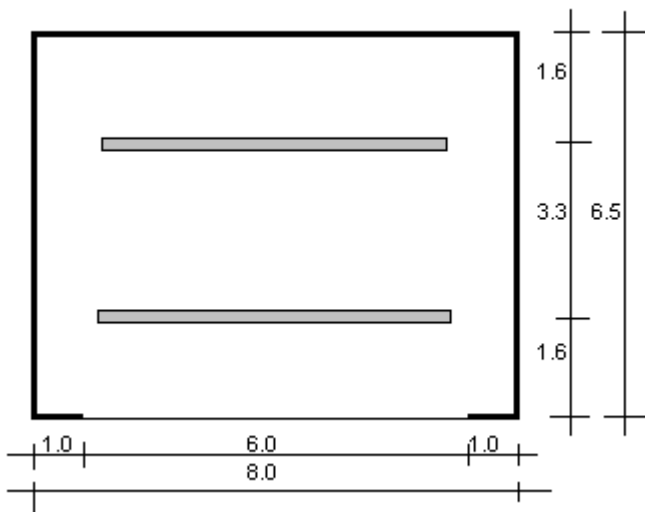


Abb. 1: Schematischer Plan des Klassenraumes

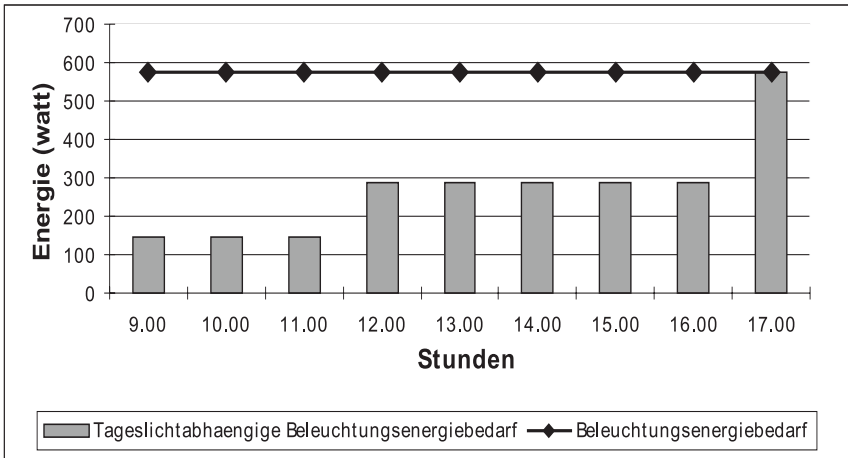


Abb. 2: Beleuchtungsenergiebedarf im September

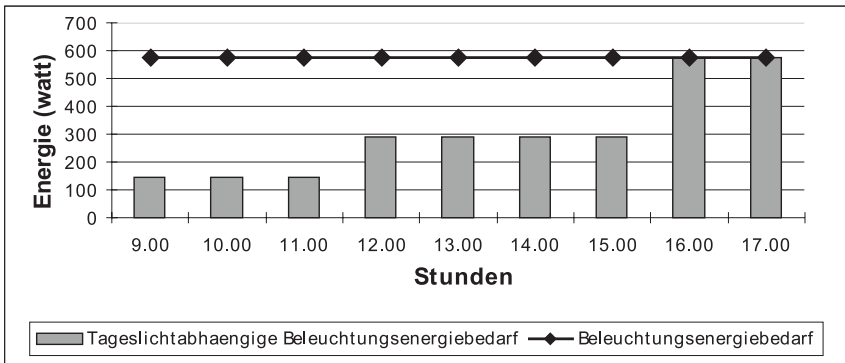


Abb. 3: Beleuchtungsenergiebedarf im Oktober

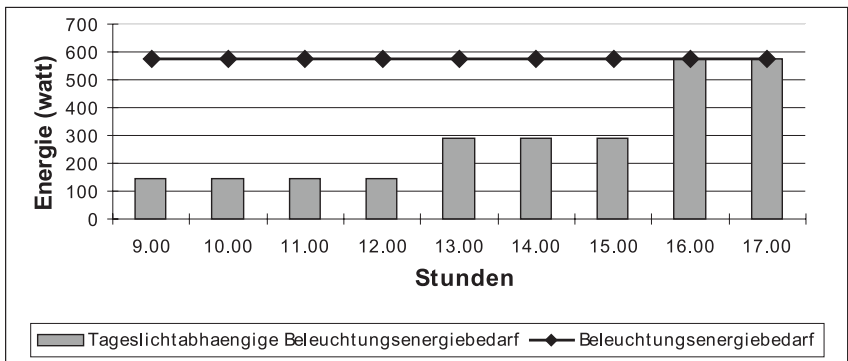


Abb. 4: Beleuchtungsenergiebedarf im November

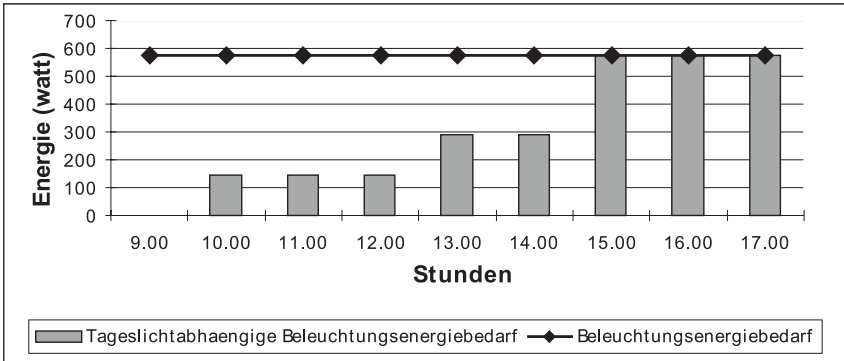


Abb. 5: Beleuchtungsenergiebedarf im Dezember

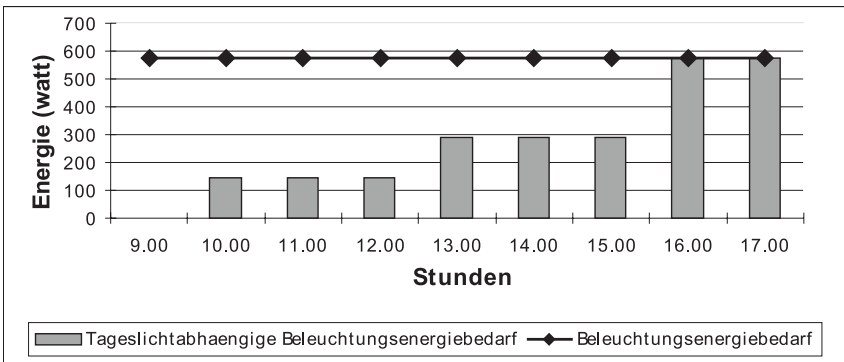


Abb. 6: Beleuchtungsenergiebedarf im Januar

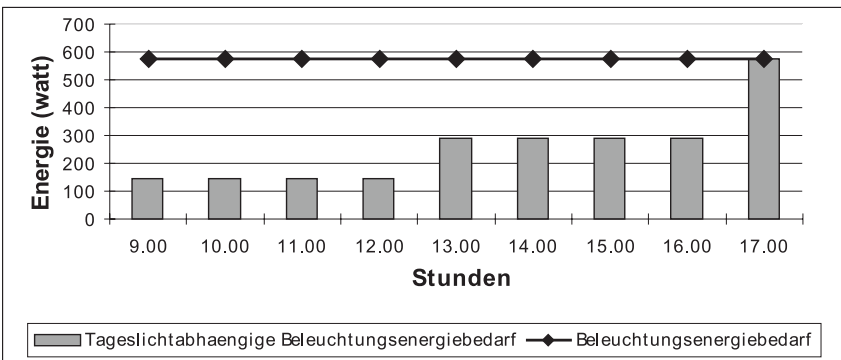


Abb. 7: Beleuchtungsenergiebedarf im Februar

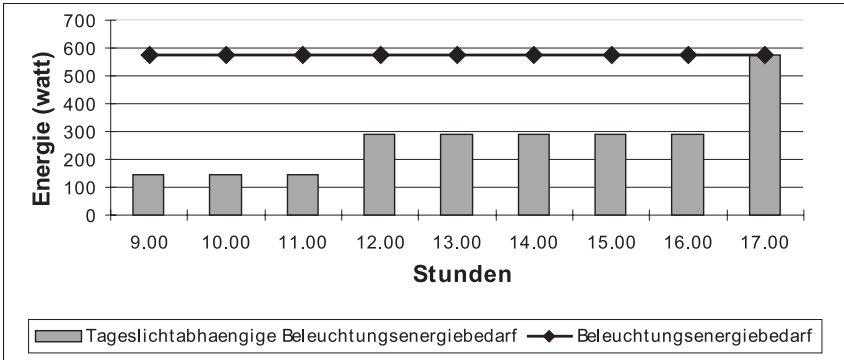


Abb. 8: Beleuchtungsenergiebedarf im März

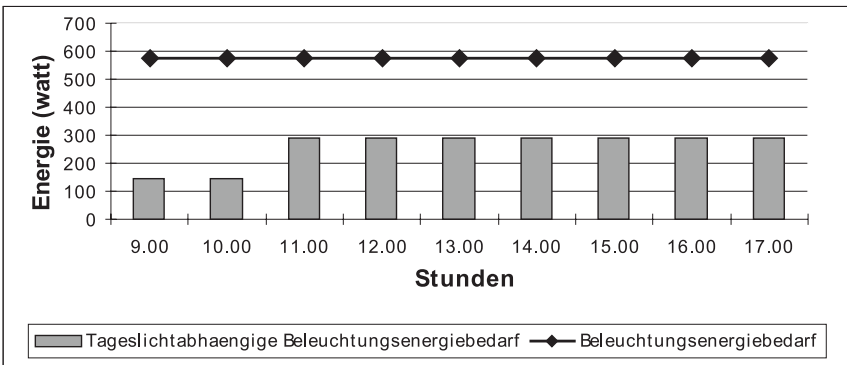


Abb. 9: Beleuchtungsenergiebedarf im April

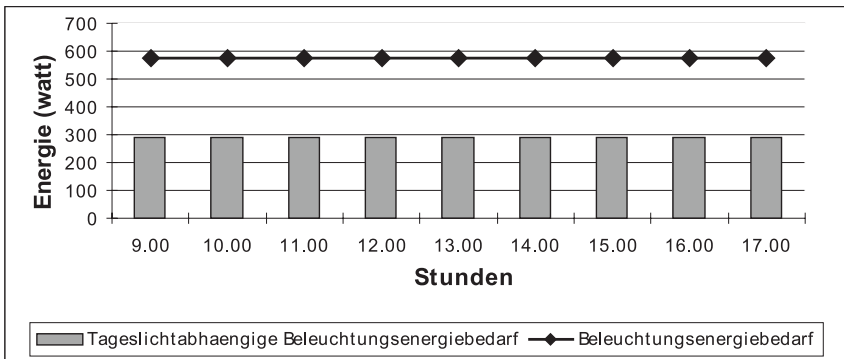


Abb. 10: Beleuchtungsenergiebedarf im Mai

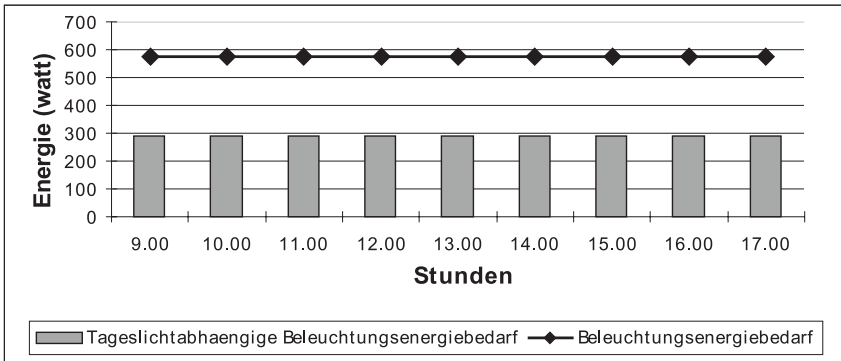


Abb. 11: Beleuchtungsenergiebedarf im Juni

4. Bewertung der Ergebnisse

Die Graphen in Abbildungen 2-11 stellen die Verhältnisse zwischen dem tageslichtabhängigen Beleuchtungsenergiebedarf und dem gesamten Beleuchtungsenergiebedarf, der einen konstanten Wert von 576 W pro Stunde hat. Weil der Klassenraum nach Südosten orientiert ist, die Tageslichtwerte sind in meisten Fällen teilweise genügend. In diesen Fällen ist nur eine ergänzende künstliche Beleuchtung in der Abhängigkeit von dem vorhandenen Tageslicht erforderlich. Eins von den zwei Lichtbändern oder nur die Hälfte von einem Lichtband kann eingeschaltet werden. Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärkeverteilung soll dabei berücksichtigt werden. Obwohl die vorhandenen Tageslichtwerte in Mai und Juni ziemlich hoch sind, sollte das hintere Lichtband im Klassenraum während des ganzen Tages eingeschaltet bleiben, um die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärkeverteilung zu erzeugen. Die mittleren monatlichen Energieeinsparungswerte durch das Schuljahr sind in Tabelle 1. gegeben. Die Zusatzbeleuchtung auf der Wandtafel ist dabei nicht berücksichtigt.

SCHULJAHR	ENERGIEEINSPARUNG
September	56%
Oktober	53%
November	55%
Dezember	53%
Januar	56%
Februar	60%
März	56%
April	60%
Mai	50%
Juni	50%

Tabelle 1: Mittlere monatliche Energieeinsparung durch tageslichtabhängiges Beleuchtungssystem

5. Schlussfolgerungen

Für die Beleuchtungsenergieeinsparung durch kombinierte Ausnutzung von Tageslicht und Kunstlicht in Innenraumbelichtung sollen die Nutzungszeit der Räume durch den Tag und durch das Jahr und das vorhandene Tageslicht während dieser Zeit bestimmt werden. Bei der Planung der künstlichen Beleuchtung sind getrenntes Schalten oder Dimmen von Leuchten oder Leuchtenreihen zu berücksichtigen. Wenn genügendes Tageslicht in der fensternahen Zone vorhanden ist, sollen die entsprechenden Leuchten abgeschaltet werden können.

Obwohl der Sonnenschein ein stimulierendes Effekt auf den Menschen hat, kann das direkte Sonnenlicht Blendungen erzeugen. Deshalb müssen in Räumen mit großen Fenstern Sonnenschutzeinrichtungen oder Sonnenschutzgläser benutzt werden.

Literaturverzeichnis

1. Anon, CIE Publication, No. 29.2, Guide on Interior Lighting, 1986
2. Anon, Handbuch für Beleuchtung, Ecomed Verlag, 1992
3. Aydınlı, S., über die Berechnung der zur Verfügung stehenden Solarenergie und des Tageslichtes, VDI-Verlag, Berlin, 1981
4. Küçükdoğu, M., Enarun, D., Ünver, R., Yener, A., Eine Anwendung des mittleren Himmelsmodells für die Türkei, Lux-Europa, Edinburg, 1993
5. Berköz, E., Küçükdoğu, M., Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı, TÜBİTAK, Intag 201, Istanbul, 1995
6. Yener, A., Ein Modell zur Bestimmung natürlicher Beleuchtungsstärke in Innenräumen, Licht 98 Tagungsband, s. 190-197

Niederspannungsnetz als Datennetz?!

LON – BUS – POWERNET zur Lampenkontrolle in der Straßenbeleuchtung

Lothar Schwartz

Die Idee und die Möglichkeit der Umsetzung aus der Sicht des Anwenders:

In Deutschland wird der überwiegende Teil der Straßenbeleuchtung über Rundsteueranlagen geschaltet. Die Schaltbefehle werden dabei dem Mittelspannungsnetz überlagert und gelangen über die Transformatorstationen und den Niederspannungsnetzanschluß an die Schaltstellen der Straßenbeleuchtung. Rein datentechnisch kann man diese Übermittlung als Einbahnstraße sehen. Man sendet lediglich den Ein- und Ausschaltbefehl. Ob der Befehl angekommen ist, läßt sich auf direktem Wege nicht feststellen. Nur der Anruf Dritter wird uns auf einen Fehler aufmerksam machen. Dieser hat jedoch zur Folge, daß der gesamte Bereich der betroffenen Schaltstelle unbeleuchtet ist.

So ist man schon länger bemüht, Abhilfe zu schaffen. Vor allem in den neuen Bundesländern sind bereits seit Jahren funktionstüchtige Anlagen in Betrieb. Jedoch sind diese Anlagen mit einem eigenen Datennetz oder zumindest mit separaten Steueradern ausgestattet. Für den Ausbau von Anlagen solcher Technik und für neue Netze ist dieses Konzept sicher ausgereift und zu bevorzugen.

Aber wie können wir bestehende Anlagen mit Geräten zur Datenübertragung ausrüsten? Hier bieten sich durch den Einsatz der noch jungen POWER-NET Technologie neue Möglichkeiten an. Unter dem Einsatz des weltweiten Standards LON – BUS sind mittlerweile sehr vielversprechende Komponenten lieferbar, mit denen allerlei Aufgaben lösbar sind.

Zurück zum Kabelnetz der Straßenbeleuchtung. Hier betreiben wir ein Netz, das nur zu 50% der Jahresstunden genutzt wird. Schaut man sich den Straßenquerschnitt der Versorgungsstrassen hinsichtlich ihrer Auslastung an, ein sehr unbefriedigender Umstand. Dabei liegt der Vorteil dieses Netzes doch klar auf der Hand, erreiche ich doch nahezu jeden Punkt in der Stadt. Weiter habe ich hier ein Netz, das losgelöst von der zukünftigen Datenübertragung im Versorgungsnetz eigenständige Aufgaben übernehmen kann. Für den Einsatz von POWER-LINE ist von Nutzen, daß alle 300m-600m in den Schaltstellen eine Spannungsversorgung zur Verfügung steht, die neben den Meß- und Schaltgeräten zur Signalaufbereitung den Einsatz von Routern, Repeatern oder Bridges ermöglicht. Derzeit haben wir eine Versuchsanlage mit einer Netzlänge von rund 1700m in Betrieb. Bevor ich die Testanlage weiter beschreibe, möchte ich zunächst auf die möglichen Schwierigkeiten hinweisen, die mir derzeit bekannt sind. Da wäre zunächst die Frage: Sind Anlagen gemäß DIN EN 50065 (C-Band) genehmi-

Lothar Schwartz
ASEAG Energie GmbH
Kaiserstraße 86
D-52134 Herzogenrath

gungspflichtig? Welche Reichweite werden diese Netze im Endausbau haben? Wie steht es um die Netzqualität im Hinblick auf die angeschlossenen Leuchten? Sie sehen, es steckt noch eine Menge Arbeit in der Realisierung des LON-BUS-POWER-NET in der Straßenbeleuchtung, jedoch bin ich der festen Überzeugung, daß sich ein solches Netz, unter Ausnutzung all seiner Möglichkeiten in Zukunft wirtschaftlich und nutzbringend betreiben läßt. Es ist ohne weiteres vorstellbar, daß beispielsweise LON-BUS-POWER-NET in Zukunft sogar Rundsteueranlagen ersetzen kann. Auch der Einsatz in Schaltwarten ist möglich, so können freiwerdende Steueradern Telekommunikationskunden zur Verfügung gestellt werden.

Der Netzaufbau:

Für unsere Versuchsanlage haben wir uns für das C-Band nach DIN EN 50065 entschieden. Hierbei liegt das Frequenzband zwischen 125 und 140 KHz, mit dem zugelassenen Nutzer „Anwendungsbereich mit Protokoll (Gebäude-Automatisation u. Management)“.

Als Transceiver ist der PLT-21 von ECHELON im Einsatz, zukünftig der PLT-22. Alle Geräte, die auf diesem Prinzip aufbauen und das passende Protokoll (Standardnetzwerkvariable von LONWORKS®) verwenden, können an diesem Netz betrieben werden. Die Wahl fiel dabei nicht zufällig auf den PLT-21. Einer seiner entscheidenden Vorteile ist die Tatsache, daß der Chip in der Lage ist, Daten auch im spannungslosem Zustand der Übertragungsleitung zu senden.

Bei der Interfacekarte ist darauf zu achten, daß neben dem NEURON® Chip TMPN3150 der NSI Standart verwendet wird. Die theoretischen Leistungsdaten sind bei 15km Netzlänge eine Übertragungsrate von 4,8 kbit. Da jedoch Knotenpunkte an zentralen Stellen auch per Funk oder Zweidraht erreicht werden können, sollte sich die Netzlänge noch deutlich steigern lassen. Hinzu kommt noch eine auf die Bedürfnisse des Anwenders zugeschnittene Visualisierungssoftware.

Für unsere Stromkreisüberwachung wurde durch die Firma GESYTEC aus Aachen eigens ein Gerät entwickelt. Ohne besondere Anpassung konnte eine Meßgenauigkeit von 4% erreicht werden, mittlerweile sind 0,5-1% realistisch. Das bedeutet, selbst der Ausfall einer Kompaktleuchtstofflampe wird zuverlässig gemeldet. Der entscheidende Durchbruch für die zuverlässige Lampenausfallanzeige der angeschlossenen Stromkreise war die Auswertung des Leitwertes.

Beim Aufbau der Teststrecke wurde von der Überlegung ausgegangen, daß neben dem Einbau der Überwachungseinheiten und notwendigen passiven Kopplgliedern keine weiteren Komponenten notwendig sind. Da aber die angeschlossenen Verbraucher, die Leuchten selbst, Störschwingkreise darstellen, haben wir nachträglich auf der gesamten Teststrecke Trägerfrequenzsperrn phasenseitig im Leuchtenabgang eingebaut. Damit konnte die Dämpfung der Übertragungsstrecke deutlich verbessert werden. Die Kosten der Bauteile für die Trägerfrequenzsperrn sind vergleichsweise gering und der Einbau der Sperrn erfolgte am Kabelübergangskasten und hielt sich somit in Grenzen.

Unsere Testanlage setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

1. PC mit Interfacekarte und Software
2. Router LONBUS → Powernet
3. Meßelektronik
4. Router → Powernet
5. Koppler
6. Trägerfrequenzsperre

Derzeit ist der Router → Powernet (Übersichtsplan Verteiler 7013) außer Betrieb, trotzdem erreichen wir alle Geräte ohne Probleme. Die Testanlage ist jetzt seit 20 Monaten in Betrieb. Alle Meßelektroniken arbeiten von Beginn an störungsfrei.

Eine Beispielrechnung für eine Anlage nach unserem Konzept mit 200 Einschaltstellen und 10.000 Leuchtstellen:

200	Meßelektroniken	zu	890,- DM	178.000,- DM
	Einbau	zu	110,- DM	22.000,- DM
6500	Frequenzsperren	zu	10,- DM	65.000,- DM
	Einbau	zu	7,50 DM	48.750,- DM
20	Datensammler	zu	1.500,- DM	30.000,- DM
	Einbau	zu	165,- DM	3.300,- DM
1	Software, Sonstiges	zu	25.000,- DM	25.000,- DM
			ca. Netto	<u>372.050,- DM</u>

Weitere Aufgaben, die LON-BUS-POWER-NET lösen kann:

1. Im Objektmanagement alle Aufgaben, wie Messen, Steuern, Schalten und Regeln
2. Verkehrszählung
3. Beleuchtete Werbeflächen überwachen
4. Ersatz Rundsteueranlage
5. Einzelne Leuchten überwachen
6. Optimierung von Wartungsdiensten und Energieeinsatz
7. Weitere Dienstleistungen.

Von nachfolgend aufgeführten Firmen wurden wir unterstützt:

Gesytec GmbH, Aachen

Gebrüder Stoye GmbH

Intron GmbH & Co. KG Brüggen

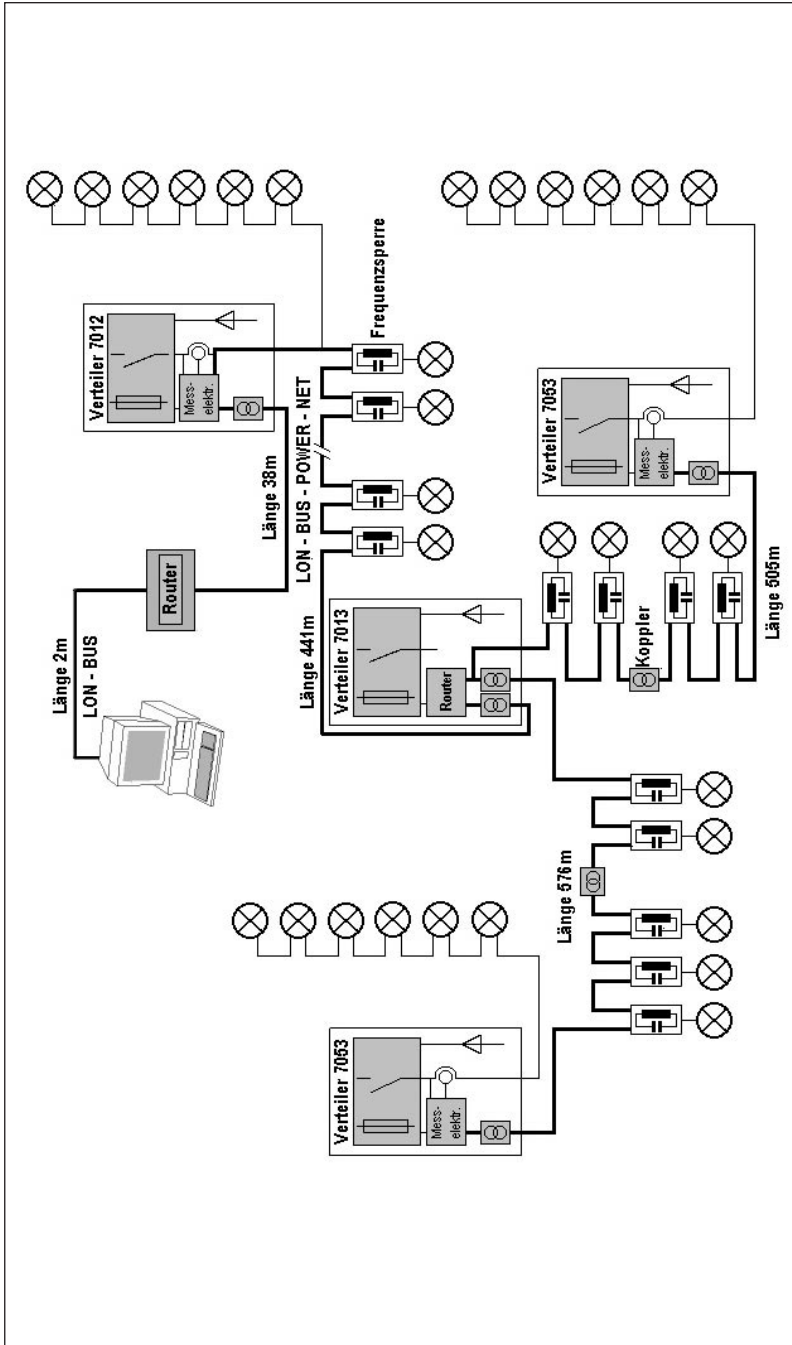
AEG – Lichttechnik Springe

Philips Licht Springe

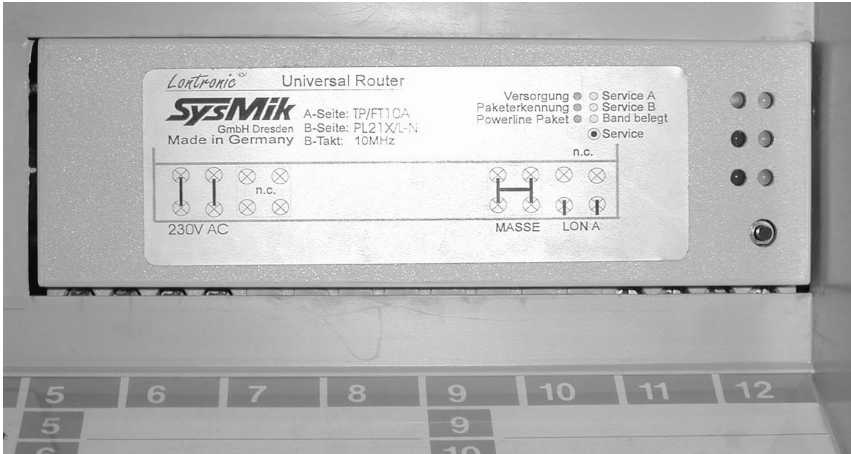
SysMik GmbH Dresden

Weitere Adressen unter der LON – Produktdatenbank

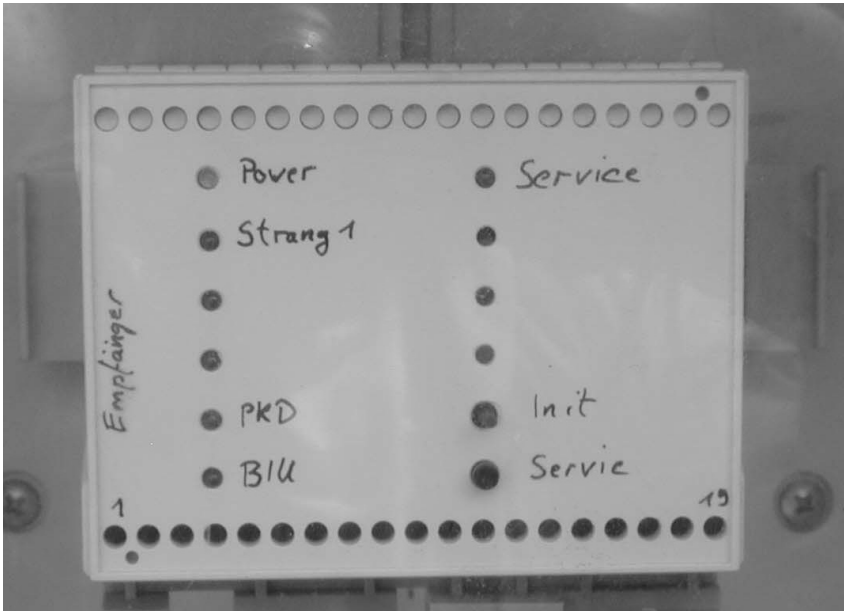
<http://www.lno.de/LNODB/default.htm>



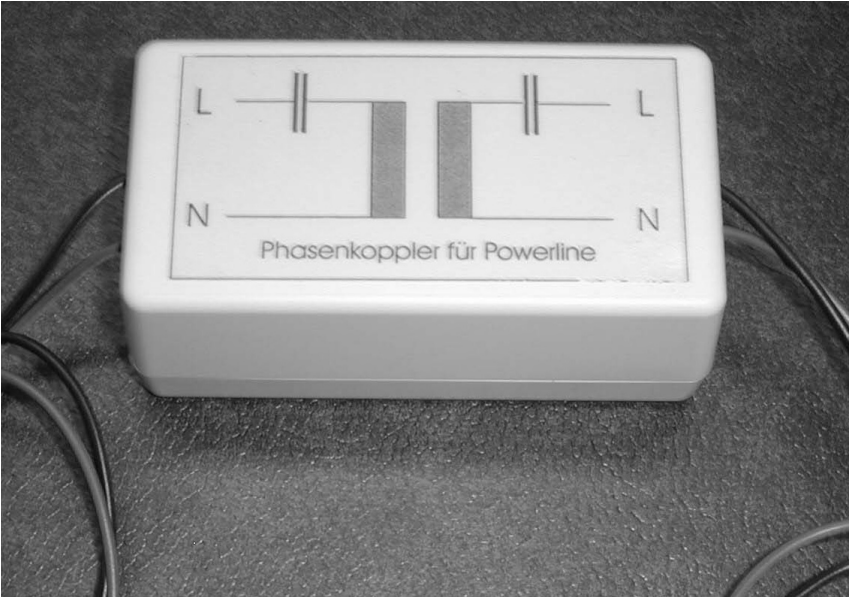
Übersichtsschaltplan der Anlage



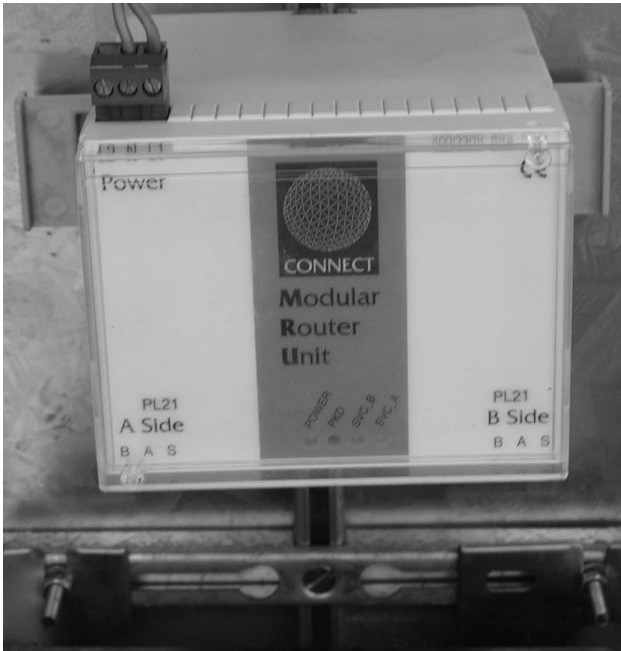
Router 1 LON-BUS > Powerline



Meßelektronik



Phasenkoppler



Router 2 Powerline



Frequenzsperre

Literatur

Power Line – Neue Dienste auf Energieverteilungsleitungen

Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Dostert – Universität (TH) Karlsruhe

DIN EN 50065-1 Signalling on low voltage – Electrical installations in the frequency range
3 kHz to 148,5 kHz, CENELEC, Brussels 1991

Informationsmaterial der oben aufgeführten Firmen.

System ABSS – Adressierte Beleuchtungssteuerung mit Statuserfassung

Andreas Steiner

1. Einleitung

Die Bedeutung einer bedarfsgerechten Straßenbeleuchtung steigt ständig. Es wird eine hohe Qualität und Zuverlässigkeit gefordert. Bei wachsendem Kostendruck treten Einsparungen an Elektroenergie und Material verbunden mit einer ökonomischen Betriebsführung beim Service immer stärker in den Vordergrund.

Von diesen Anforderungen beeinflusst verläuft die Entwicklung zu hochwertigen Steuerungen für die Straßenbeleuchtung. Beispiele hierfür sind zentrale Steuerungen der Beleuchtung in Verbindung mit Managementsystemen, lokale Beleuchtungssteuerungen mit dem Zugriff auf einzelne Leuchten für sicherheitsrelevante Einsatzfälle sowie der Einsatz moderner Methoden der Leistungsreduzierung.

Neben der Leistungsreduzierung mit Vorschaltgeräten finden im Schaltschrank installierte Dimmer Verwendung. Auch in den Leuchten können elektronische Dimmer betrieben werden.

Überregionale Dienstleister ermöglichen die Auslösung zentraler Schaltkommandos für die Straßenbeleuchtung per Funk. Anbieter von Zentralsteuerungen mit Rückmeldungen aus den Schaltschränken nutzen verschiedene, auch kombinierbare Datenübertragungswege.

Die Auswahl einer Steuerungsart erfordert stets eine Optimierung von Aufwand und Nutzen. Nicht alles was möglich ist, ist auch sinnvoll. Neben den Investitionen ist stets auch auf die laufenden Betriebskosten – zum Beispiel für den Datenaustausch mit den Schaltschränken – zu achten. Unter diesem Gesichtspunkt werden drei moderne Lösungen zur Steuerung der Straßenbeleuchtung vorgestellt. Alle nutzen die Steuerung ABSS der Firma Geo Sys GmbH Leipzig.

2. Beschreibung des Systems ABSS

Zur adressierten Beleuchtungssteuerung mit Statuserfassung gehören die in Abb. 1 dargestellten Elemente:

- Zentrale Steuerung (Steuer-PC und TF-TF-Sender)
- Übertragungsstrecke (bidirektionale Verbindung)
- Steuergeräte STG 93 in den Schaltschränken der Straßenbeleuchtung

Andreas Steiner
Geo Sys GmbH Leipzig
Bautzner Str. 67
D-04347 Leipzig

2.1 Das Prinzip von ABSS

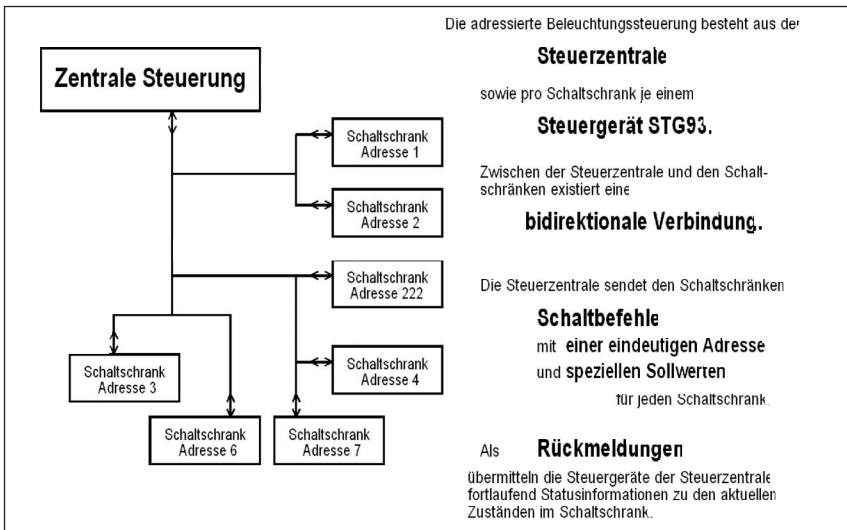


Abb. 1: Das Prinzip von ABSS

In den Schaltschränken der Straßenbeleuchtung befinden sich Steuergeräte. Jeder Schrank besitzt eine eindeutige Adresse. Die Steuerzentrale bestimmt für jeden Schrank die Sollwerte der Beleuchtung. Sie verschickt auf der Übertragungstrecke mit Hilfe des TF-Senders adressierte Schaltbefehle zu den Steuergeräten und schaltet die Straßenbeleuchtung. Die Steuergeräte senden ständig Statusinformationen über die aktuellen Zustände im Schaltschrank zur Zentrale. Bei Fehlern kann die Steuerzentrale die notwendigen Aktivitäten auslösen.

2.2 Die Steuerzentrale

Die zentrale Steuerung besteht im wesentlichen aus einem Steuer-PC und einem TF-Sender. Beide Geräte können an verschiedenen Orten aufgestellt werden.

Ein Personalcomputer (Steuer-PC) steuert und kontrolliert die Beleuchtung. Dämmerungsschalter liefern die Schaltzeiten für die Straßenbeleuchtung. Ein Brennkalendar dient der Überwachung dieser Geber. Der gleiche Brennkalendar findet ebenfalls bei allen Zusatzgeräten zum System ABSS Verwendung. Optional kann die Beleuchtungsstärke auch mit einem analogen, temperaturkompensierten Beleuchtungsstärkemeßgerät bestimmt werden.

Für jeden Schaltschrank existiert im Steuer-PC eine Karteikarte. Diese Karteikarte enthält alle Informationen über den betreffenden Schaltschrank, u.a.:

- Angaben zum Aufstellungsort und Namen des Schaltschranks
- Schaltzeiten für vier Beleuchtungsarten, wie Ganznacht, Halbnacht u. 2 Anstrahlungen
- einen Gültigkeitsbereich für jede Schaltzeit (Anfangsdatum bis Enddatum)

- die Parameter für wochentagsabhängige Schaltungen (optional)
- Verzögerungszeiten für die einzelnen Beleuchtungsarten
- Festlegung der im Schaltschrank zu steuernden Signale
- Festlegung der im Schaltschrank zu überwachenden Signale.

Die Karteikarten können in der Steuerzentrale direkt bearbeitet werden. Sie erlauben eine komfortable Anpassung an sich ändernde Anforderungen. Jeder Schaltschrank kann seine speziellen Sollwerte erhalten. Damit wird eine bedarfsgerechte Schaltung der Beleuchtungsanlagen wesentlich vereinfacht.

Der Steuer-PC löst die Schaltbefehle für die Beleuchtung aus und kontrolliert deren Ausführung anhand der Rückmeldungen aus den Schaltschränken. Abweichungen führen zu Korrekturschaltbefehlen. Sämtliche Abläufe werden auf Bildschirm, Drucker und Festplatte des Computers ausführlich protokolliert. Es liegen exakte Aufzeichnungen über alle Schaltungen der Beleuchtung und damit abrechenbare Brennzeiten für jeden Schaltschrank vor.

Optional kann der aktuelle Zustand der Straßenbeleuchtung auf einem Stadtplan (Informationswand) oder auf einem Bildschirm dargestellt werden.

Die Software des Steuer-PC ist sowohl für den Betrieb mit Störungsdienstpersonal als auch für den „personallosen“ Betrieb ausgelegt. Mit Hilfe von Remote-Software ist eine Fernsteuerung des Steuer-PC möglich. Von der Software gibt es zwei Versionen, eine in DOS und eine in WINDOWS NT. Bei der NT-Software sind die einzelnen Steuermodule als verteilte Anwendung im PC-Netz/Internet konfigurierbar. Datenbanken können direkt für Steuerparameter und Protokolle angebunden werden. Die NT-Software ermöglicht eine hohe Flexibilität bezüglich der Steueralgorithmen, so können z. B. verschiedene Jahresbrennkalender verwendet werden, sowie beliebige Vorgaben für die Sollwerte der Schaltschränke eingeben werden.

Die Verbindung zwischen dem Steuer-PC und den Steuergeräten in den Schaltschränken stellt der TF-Sender her. PC und TF-Sender können sich an verschiedenen Orten befinden. Bei Bedarf wird eine Verbindung mit Modems hergestellt (beliebiges Kabel, Standleitung, Wahlleitung).

Der TF-Sender erfüllt alle mit der Datenübertragung über die jeweilige Übertragungsstrecke verbundenen Anforderungen. Das Übertragungsverfahren ist unempfindlich gegen Störungen. Es finden keine Rückwirkungen der Datenübertragung auf das Energienetz statt.

Bei einer Unterbrechung der Verbindung zum Steuer-PC ist der TF-Sender in der Lage, selbständig eine „Notsteuerung“ der Beleuchtung durchzuführen.

2.3 Die Datenübertragung zwischen der Zentrale und den Steuergeräten

Die Verbindung zwischen der Steuerzentrale und den Schaltschränken kann drahtgebunden oder drahtlos erfolgen. Zur drahtlosen Verbindung werden Bün-

delfunk oder Funktelefone eingesetzt. Ein Prozessor im Steuergerät garantiert eine zuverlässige Schaltung der Beleuchtung beim Ausfall des Funkdienstes.

Bei der drahtgebundenen Übertragung nutzt das eingesetzte TF-Verfahren vorzugsweise eine potentialfreie Ader in den Stromkreiskabeln der Leuchten zum Datenaustausch. Mit angepaßtem Pegel und bei zwei Signalleitungen können mit diesem Verfahren auch Steuerkabel für Ampeln oder Telefonkabel genutzt werden.

In diesen Fällen verursacht der fortlaufende Datenaustausch keine zusätzlichen Kosten! Das TF-Verfahren ist sicher und unempfindlich gegen Störungen. Je nach Installation können linear mehr als 20 km und vernetzt bis zu 400 km weite Entfernungen überbrückt werden. Auch Modemverbindungen im öffentlichen Telefonnetz sind für die Datenübertragung einsetzbar.

2.4 Das Steuergerät im Schaltschrank (s. Abb. 2)

Das Steuergerät empfängt die an diesen Schaltschrank adressierten Schaltbefehle und schaltet die Beleuchtungsarten

Ganznacht, Halbnacht, Anstrahlung 1 und Anstrahlung 2

oder

Dimmer mit bis zu 15 Dimmstufen.

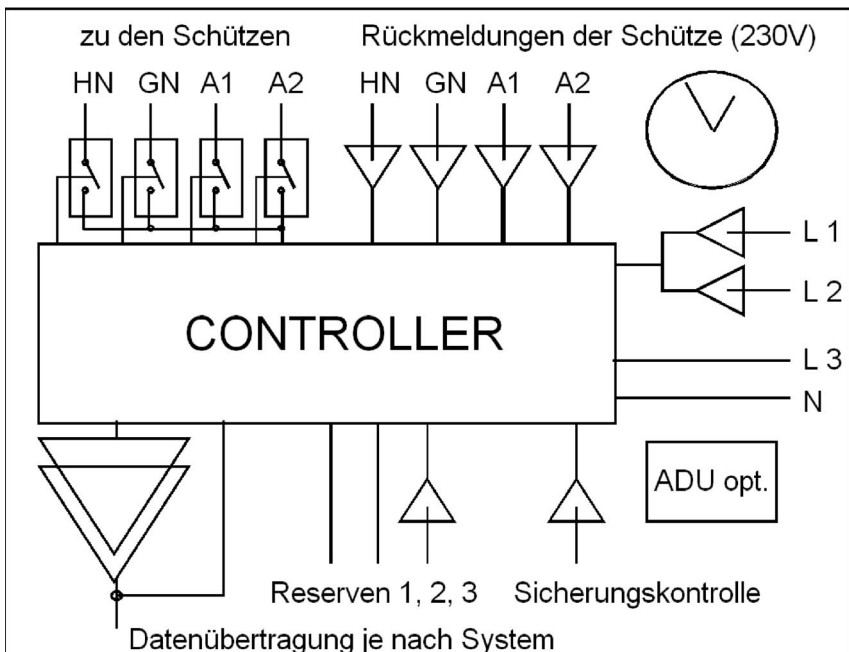


Abb. 2: Steuergerät STG 93

Das Steuergerät sendet der Zentrale Rückmeldungen

- zum Schaltzustand der Beleuchtungsschütze,
- zur Energieversorgung im Schaltschrank,
- zur Spannung auf max. 27 Stromkreisen sowie weitere digitale Informationen.

Optional können analoge Meßwerte übertragen werden (z. B. zur Leistungsmessung).

Das Steuergerät wird täglich von der Zentrale mit den aktuellen Schaltzeiten programmiert. Beim Ausfall der Steuerverbindung werden die Schaltvorgänge zur jeweiligen Zeit eigenständig ausgeführt.

2.5 Ergänzung des Systems ABSS durch Powernetmodule

Durch ein eigenes Powerlinesystem kann das System ABSS noch weiter ausgebaut und der Informationsaustausch zwischen Schaltschrank und den einzelnen Leuchten realisiert werden. Das System besteht aus einem Mastermodul im Schaltschrank und Slavemodulen in jeder Leuchte. Die Kommunikation zwischen Master und Slave erfolgt über das Stromkabel ohne separate Steuerader. Die Reichweite der Kommunikation beträgt ca. 1 km.

Das Mastermodul bekommt Lampenausfälle und Kondensatordefekte in den Leuchten von den Slavemodulen gemeldet und übermittelt diese Information als Summensignal „Lampenfehler“ zum Steuergerät, die von dort zur Steuerzentrale gelangt. Die Nummer der defekten Leuchte ist im Schaltschrank ablesbar.

Das Slavemodul erkennt Lampenausfälle und Kondensatordefekte in den Leuchten und übermittelt diese Information auf Anforderung an das Mastermodul. Auf Befehl des Mastermoduls schaltet das Slavemodul das Schaltkommando Leistungsreduzierung in der Leuchte. Das Schaltkommando kann vom Steuer-PC, über das Steuergerät zum Mastermodul gelangen oder aber von einer Uhr an das Mastermodul weitergegeben werden.

Mit den Powernetmodulen können die Leuchten in verschiedene Dimmstufen geschaltet werden, vorausgesetzt die Leuchten sind mit entsprechenden Vorschaltgeräten ausgerüstet.

2.6 Vorteile einer Beleuchtungssteuerung mit ABSS

Im System ABSS kann jeder Schaltschrank mit seinen speziellen Sollwerten geschaltet werden. Damit wird eine bedarfsgerechte Schaltung der Beleuchtung in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und von den Besonderheiten eines Gebietes für jeden Schaltschrank möglich. Alle Schaltzeiten können für jeden Schaltschrank und für jeden Wochentag getrennt (und unterschiedlich) programmiert werden.

Die ständige Kontrolle der Beleuchtung durch den Steuer-PC verhindert „vergessene“ und nicht korrekt ausgeführte Schaltungen (bei Servicearbeiten, beim Ausschalten morgens). Ein unbeabsichtigter bzw. unbemerkter Betrieb der Beleuchtungseinrichtungen ist ausgeschlossen.

Kurzfristige Aufgabenstellungen, die sich durch Veranstaltungen wie Fußballspiele, Open Air-Konzerte, usw. ergeben, lassen sich allein durch die Änderung der Schaltzeiten am Steuer-PC lösen.

Durch die Adressierbarkeit der Schaltschränke kann das Stadtbeleuchtungsunternehmen den Spitzenverbrauch und somit auch die Energietarife beeinflussen.

Aus Sicht der Energieversorgungsunternehmen erlaubt das System ABSS eine externe Lastregelung. Entsprechend der Belastung des Netzes können die Schaltungen der Beleuchtung vorzeitig oder verzögert stattfinden. Damit erfolgt eine Dämpfung der Spitzenbelastungen.

Das exakte Protokollieren aller Schaltzeiten gestattet bei bekannten Anschlußleistungen eine Energieabrechnung ohne Zähler in den Schaltschränken. Für genauere Messungen ist es möglich, Leistungsmeßgeräte im Schaltschrank durch die Zentrale Steuerung abzufragen.

Die komplette Information über den Zustand der Stadtbeleuchtungsanlage steht jederzeit zur Verfügung. Daher verringert sich der Aufwand für Kontrollfahrten, Suchen des Fehlerortes und der Fehlerursache. Es werden nur wirklich notwendige Serviceeinsätze gefahren.

Das Ein- und Ausschalten der Beleuchtung für Service und Lampenkontrolle kann über Funk in der Zentrale angefordert werden. Damit entfallen Wegezeiten zum Schaltschrank und außerdem wird die Einschaltzeit der Beleuchtung reduziert. Die Lampenkontrolle wird vereinfacht. Besonders macht sich dieser Effekt in Stadtgebieten mit hoher Verkehrsbelastung bemerkbar.

3. Anwendungen von ABSS

3.1 Beleuchtungssteuerung für große Städte am Beispiel von der Stadt Leipzig
In Leipzig wurde eine Zentralsteuerung installiert bestehend aus den Elementen:

- Steuerzentrale mit Infowand (Stadtplan)
- TF-Sender für die bidirektionale Datenübertragung zu den Schaltschränken und
- 800 Steuergeräten in den Schaltschränken.

Die Steuerzentrale ist über den gesamten Tag in Betrieb. Ein Personalcomputer besitzt pro Schaltschrank eine Karteikarte mit Schaltzeiten und Zusatzinformationen. Er löst die Schaltbefehle für die Beleuchtung aus und kontrolliert deren Ausführung anhand der Rückmeldungen aus den Schaltschränken. Die aktuellen Zustände der Straßenbeleuchtung werden auf einem Stadtplan dargestellt. Weiterhin werden die Steuergeräte mit ihren geplanten Schaltzeiten programmiert.

Jeder Schaltschrank enthält ein Steuergerät mit einer eindeutigen Adresse. Er kann deshalb gezielt angesprochen und mit seinen speziellen Sollwerten geschaltet werden. Die Steuergeräte führen empfangene Schaltkommandos aus und senden fortlaufend Statusinformationen zur Zentrale. Ein Zyklus für die Rückmeldungen aller Steuergeräte der Stadt Leipzig dauert etwa 13 Minuten.

Bei gestörter Datenverbindung schalten die Steuergeräte die Beleuchtung selbständig.

Die bidirektionale Verbindung zwischen der Steuerzentrale und den Steuergeräten stellt ein Tonfrequenz-TF-Sender für vier Steueradern her. Er existiert in zweifacher Ausführung. Dabei überwachen beide TF-Sender gegenseitig ihre Betriebsbereitschaft. Für Havariefälle stehen vier kleinere TF-Sender zur Verfügung.

Der Datenaustausch erfolgt über eine potentialfreie Steuerader in den Stromkreiskabeln der Leuchten. Das verwendete Übertragungsverfahren ist sicher und völlig rückwirkungsfrei. Die Stadt ist in 4 Bereiche mit jeweils einer eigenen Steuerader unterteilt. Vernetzt sind an einer Steuerader bis zu 400 km Kabel angeschlossen. Die lineare Ausdehnung beträgt zwischen 10 und 20 km. Da der Betreiber der Anlagen gleichzeitig ihr Besitzer ist, fallen für die Datenübertragung keine zusätzlichen Kosten an. Mit dem Freischalten der Steuerader in den Stromkreiskabeln kommt die Zentralsteuerung somit ohne Verlegung zusätzlicher Steuerkabel aus, was besonders bei Erweiterungen und nachträglichen Installationen bedeutsam ist.

Die Zentralsteuerung des Systems ABSS ermöglicht für eine Großstadt eine flexible und bedarfsgerechte Beleuchtung. Für den Bereich Service ergeben sich deutliche Vorteile gegenüber anderen Steuerungen. Die Anzahl der Lichtpunkte in Leipzig erhöhte sich in den letzten Jahren um 15 %. Service und Betreuung der Anlagen werden ohne Vergrößerung des Personalbestandes durchgeführt. Gleichzeitig wurde der Energieverbrauch sowohl durch verstärkte Halbnachtschaltungen als auch über eine dem Bedarf entsprechende Steuerung der Beleuchtung um 10% gesenkt. An dieser Verringerung des Energieverbrauchs ist die Zentralsteuerung entscheidend beteiligt.

3.2 Beleuchtungssteuerung nach Maß für kleinere Orte

In Arnheim und Almere (NL) arbeiten „kleinere“ Zentralsteuerungen vom Typ STZ 3 des Systems ABSS im Schaltschrank bzw. im „Büro“. Diese intelligente PC-Steuerung läuft autonom und bedient weitere mit elektronischen Blockdimmern ausgerüstete Schaltschränke (Poort / Intelux).

Zwischen den Schaltschränken und der Steuerzentrale STZ 3 erfolgt ein ständiger Austausch von Schaltkommandos und Statusinformationen.

Die Kontrolle der Steuerung, Parameteränderungen und der Service erfolgen über eine zeitweilige Modemverbindung zwischen dem Stadtbeleuchtungsunternehmen und der Steuerzentrale STZ 3.

Diese Art der Steuerung legt besonderes Augenmerk auf die Qualität der Beleuchtung. Beleuchtung nach Maß schafft für Einwohner und Besucher eine angenehme Atmosphäre. Zusätzlich zu den Grundsaltungen der Beleuchtung mit Dämmerungsschalter existiert für jeden einzelnen Schaltschrank ein spezieller Jahresbrennkalender. Dieser Brennkalender enthält pro Tag bis zu 14 frei

definierbare Schaltzeiten und Dimmstufen und gestattet somit einen optimalen Einsatz von Licht und Elektroenergie.

Vorbeugend gegen Kriminalität wirkt eine hellere Beleuchtung ausgewählter Plätze in kritischen Zeiten (1 bis 4 Uhr morgens). Zur Unterstützung von Sondereinsätzen besitzt die Polizei direkten Zugriff auf die Beleuchtungssteuerung. Die beschriebene Variante liefert außer der Zuverlässigkeit und einer hohen Qualität der Straßenbeleuchtung auch für kleinere Orte ein großes Potential für Energieeinsparungen.

3.3 Dynamische Beleuchtungssteuerung für Autobahnen

Für die Autobahn A12 (bei Bodegraven, NL) lief seit Ende 1996 bis März 1999 das Projekt DYNO des Ministeriums für Verkehr, Wasserwirtschaft und öffentliche Arbeiten aus den Niederlanden. Es handelt sich dabei um eine dimmbare Beleuchtungsanlage (elektronische Blockdimmer System Poort / Intelux) in Verbindung mit einer Zentralsteuerung STZ 93 des Systems ABSS.

Meßstationen an der Autobahn registrieren die Anzahl und Geschwindigkeiten der Fahrzeuge sowie die Wetterbedingungen. Diese Daten werden ausgewertet und an die Steuerzentrale von ABSS übermittelt. Anhand dieser ständig aktualisierten Daten wird die Beleuchtung dynamisch und den jeweiligen Umständen angepaßt für beide Fahrrichtungen getrennt gesteuert. Im Bedarfsfall kann der Anwender die Zentralsteuerung direkt oder per Modem beeinflussen.

Die Schaltbefehle werden über eine Steuerader zu den Schaltschränken übertragen. Von den Schaltschränken gelangen auf gleichem Wege Statusinformationen über Energieverhältnisse und Schaltzustände zur Steuerzentrale. Weiterhin wird die aktuelle Leistungsaufnahme der Schränke gemessen.

Neben einem hohen Bedienkomfort für den Service wirkt sich die dynamische Fahrbahnbeleuchtung positiv auf die Verkehrssicherheit aus. Die Auswertungen des Projektes ergaben eine Erhöhung des Fahrzeugdurchsatzes. Weiterhin zeigten die Untersuchungen, daß diese positiven Effekte schon mit einer wesentlich geringeren Leuchtdichte erreicht werden können (siehe Dynamic public lighting - Cover report March 1999, Ministry of Transport Public Works and Water Management).

Im April 2000 wurde ein weiterer Autobahnabschnitt mit dem DYNO-System ausgestattet und zwar bei Arnheim an der Autobahn A 50 Richtung süden. Die Anlage erstreckt sich über eine Länge von ca. 20 km und umfaßt 9 Schaltschränke mit der oben beschriebenen Technik. Die Steuerung läuft über einen Server in der Verkehrsleitzentrale, der mit einer WINDOWS NT-Software ausgestattet ist, so daß man die Beleuchtung auch von anderen Verkehrsüberwachungspunkten aus überwachen und steuern kann.

Zusammenfassung

Zentrale Steuerungen bzw. zentral parametrisierbare Steuerungen erfüllen heutige Forderungen nach einer flexiblen, bedarfsgerechten Straßenbeleuchtung

optimal. Sie unterstützen den sparsamen Umgang mit Elektroenergie. Im Servicebereich ergeben sich deutliche Vorteile gegenüber dezentralen Steuerungen.

Ist der Betreiber der Beleuchtungsanlagen gleichzeitig Besitzer des verwendeten Übertragungssystems für die Verbindung zu den Schaltschränken, werden die laufenden Kosten der Beleuchtungssteuerung positiv beeinflusst. Die Nutzung einer potentialfreien Steuerader in den Stromkreiskabeln der Beleuchtung stellt eine preisgünstige Lösungsvariante dar.

Ein praxisorientiertes analytisches Verfahren zur energetischen und lichttechnischen Bewertung tageslichtabhängiger Kontrollsysteme

Heiko Belendorf, Sirri Aydinli und Heinrich Kaase

1. Einleitung

Ohne tageslichtabhängige Kunstlichtkontrollsysteme ist eine effektive Nutzung des Tageslichtes zur Einsparung elektrischer Energie nicht realisierbar. Besonders beim kombinierten Einsatz mit Tageslichtsystemen kommt der Kontrolle eine besondere Bedeutung zu, denn ohne eine entsprechende Kunstlichtkontrolle ist weder eine elektrische Energieeinsparung noch eine gute Nutzerakzeptanz zu erzielen. Die verstärkte Nutzung tageslichtabhängiger Kontrollsysteme in kommerziellen Gebäuden ließ daher eine Vielzahl an unterschiedlichsten Produkten entstehen, woraus sich die Notwendigkeit zum Vergleich verschiedener Systeme miteinander sowie deren Bewertung im einzelnen Anwendungsfall ergibt. Definierte Bewertungskriterien können dem Planer eine Entscheidungsgrundlage für die Wahl eines bestimmten Systems geben.

2. Systemtest-Messungen und Entwicklung eines Verfahrens

Es wurde, basierend auf Untersuchungen in 1:1 Testräumen an verschiedenen tageslichtabhängigen Kunstlichtkontrollsystemen, ein praxisorientiertes Verfahren entwickelt. Das Verfahren läßt eine lichttechnische und energetische Bewertung tageslichtabhängiger Kontrollsysteme in einer definierten Konfiguration durch Kennzahlen (Raumzonensystempotential, relative raumzonenbezogene Mehr- und Minderbelichtung) zu. Dabei ist die Differenzierung nach unterschiedlichen Raumzonen (RZ) wichtiger Bestandteil, charakterisieren diese doch die unterschiedlichen Tageslichtzonen. Eine Kennzahl sollte für eine bestimmte Konfiguration letztendlich eine ortsunabhängige Bewertung zulassen. Die Bestimmung dieser Kennzahlen (RZ-Systempotential und relative raumzonenbezogene Minder- und Mehrbelichtung) stellt die Grundlage für einen Vergleich unterschiedlicher Systeme dar.

Das Bewertungsverfahren fügt sich in ein Konzept ein, mit dem eine Aussage über das System-Langzeitverhalten getroffen werden kann, wobei das mittlere Tageslichtangebot (Mittlerer Himmel) aufgeteilt nach Raumzonen sowie die aus Testmessungen gewonnenen Systemgrößen mit einfließen /5, 10/. Die Abb. 1 und Abb. 2 stellen die Schritte von der RZ-Systempotentialbestimmung aus Testmessungen bis hin zur langfristigen Abschätzung basierend auf jährlicher relativer Nutzbelichtung bzw. RZ-Potential dar. Die Systemkennzahlen ermöglichen die Berücksichtigung der Eigenschaften konkreter Produkte.

Dipl.-Ing. Heiko Belendorf

Dr.-Ing. Sirri Aydinli

Prof. Dr. rer.nat. Heinrich Kaase

Institut für Elektronik und Lichttechnik, Fachgebiet Lichttechnik, Sekr. E6
Technische Universität Berlin, Einsteinufer 19, D-10587 Berlin

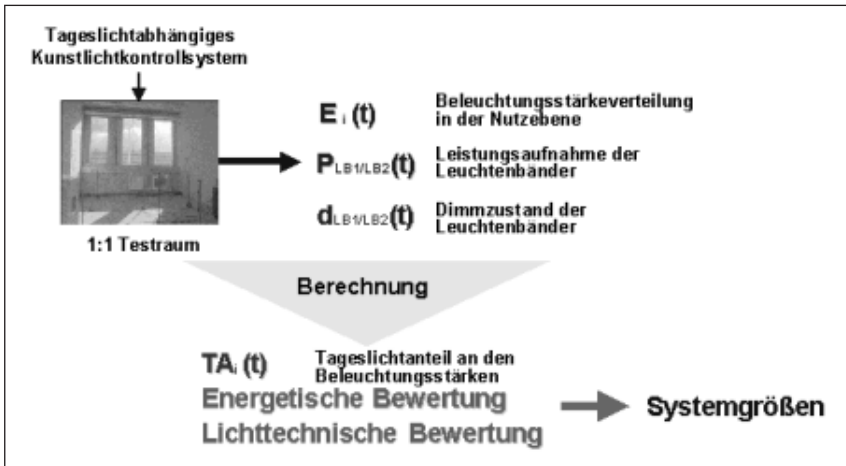


Abb. 1: Gewinnung systemspezifischer Größen aus Testmessungen

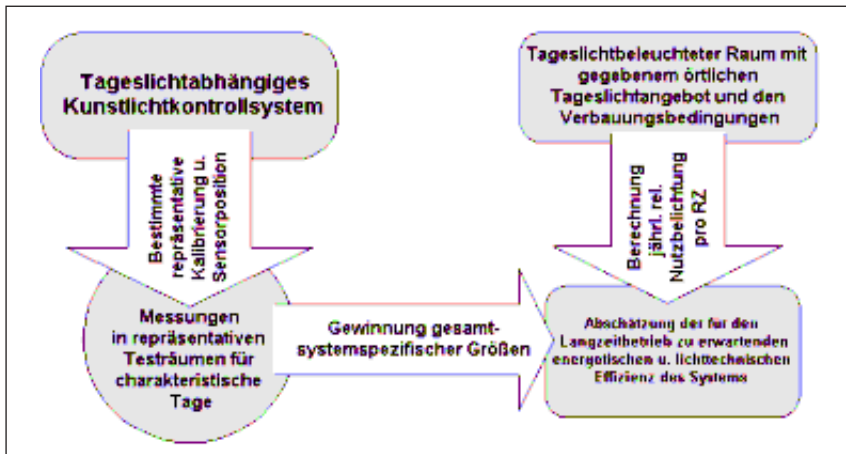


Abb. 2: Gesamtverfahrensübersicht

3. Bewertungsarten

Zwei verschiedene Bewertungsarten können auf die Testmessungen angewendet werden. Grundlage ist immer der zeitliche Verlauf der Nutzebenenbeleuchtungsstärke aufgeteilt nach Tages- und Kunstlichtanteil (in TUB-Testräumen im 4 x 3 Raster) und die Leistungsaufnahme der Leuchtenbänder. Erstere theoretische Methode analysiert jeden Beleuchtungsstärkemeßpunkt einzeln und ermittelt entsprechende Abweichungen zu einer Referenz, wobei Mittelwertgrößen über alle Sensorpunkte der Ebene eine kumulierte Aussage ergeben, jedoch dient die durch die jeweilige Kunstlichtanlage im Nachtzustand erzeugte

Beleuchtungsstärkeverteilung als Referenz (leuchtenart- und positionsabhängig) /9/,/6/. Der zweite Ansatz orientiert sich an den Beleuchtungsstärkeanforderungen gemäß den Normen und Richtlinien (z.B. DIN 5035 und Arbeitstättenrichtlinien) und betrachtet entsprechend mittlere und minimale Beleuchtungsstärken für unterschiedliche Raumzonen separat. Bei korrekter Planung entspricht die Beleuchtungsstärkeverteilung im Nachtzustand den Richtlinien bzw. übererfüllt sie. In /6/ werden die beschriebenen Möglichkeiten als Flußdiagramm dargestellt, wobei im folgenden der zweite Ansatz verwendet wird.

4. Raumzonen

Das praxisorientierte Verfahren bezieht sich auf Raumzonen. Oft ist es sinnvoll, jeder Leuchtenreihe eine Raumzone zuzuordnen, sofern diese separat kontrolliert wird. Die Aufteilung nach Raumzonen spiegelt zudem die charakteristischen Zonen eines tageslichtbeleuchteten Raumes bzgl. des Tageslichtangebotes wieder (fensternahe Tageslichtzone, Tages- und Kunstlichtmischzone und fensterferne Kunstlichtzone, wobei abhängig von der Raumtiefe letztere Zonen verschmelzen können). In den Testräumen wurden unterschiedliche RZ-Aufteilungen vorgenommen: der Raum als ganzes (RZ0) oder pro Leuchtenband eine RZ (RZ1 und RZ2, (Abb. 3)); Berechnungen beziehen sich dann auf die jeweilige RZ. Entsprechend werden Raumzonenpotentiale und Raumzonensystempotentiale definiert /5/.

5. Berechnungen

Eine Abschätzung des mit dem eingesetzten System zu erwartenden Energieeinsparpotentials im Langzeitbetrieb kann nach Ermittlung der raumzonenbezogenen Systemgrößen vorgenommen werden, wobei eine Trennung von System- und Raumgrößen erfolgt (Gl. 1).

$$ESP = \left\{ \sum_{x=1}^{n_{RZ}} RZP_{RZx} \cdot RZSP_{RZx} \right\} \cdot SLSF \quad (1)$$

- ESP Energieeinsparpotential
- RZP Raumzonenpotential
- n_{RZ} Anzahl der Raumzonen pro Raum
- x Spezifische Raumzone
- RZSP Raumzonensystempotential
- SLSF Spezifischer beleuchtungsanlagenabhängiger Faktor

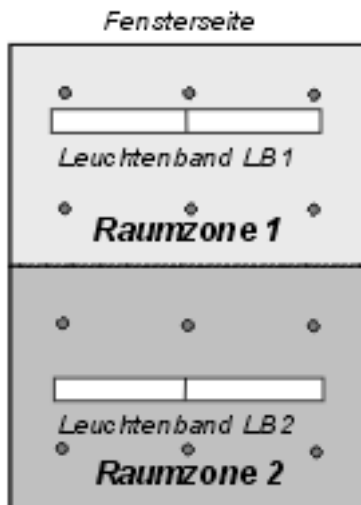


Abb. 3: Aufteilung eines TUB-Testraumes in Raumzonen

Das RZSP, welches besagt, wie effizient das System auf das RZP reagiert und dieses nutzt, wird zum Großteil durch die Art der tageslichtabhängigen Kunstlichtkontrolle beeinflusst (z.B. tageslichtabhängig schalten, tageslichtabhängig dimmen, tageslichtabhängig dimmen in Abhängigkeit von der Raumtiefe, Steueroder Regelung) /9/. Desweiteren hat die Sensorik des Systems eine Auswirkung auf das RZSP /4/.

Das RZP soll das in der RZ im zeitlichen Mittel verfügbare Tageslicht quantifizieren. Die Größe der relativen Nutzbelichtung wird bei den heute gebräuchlichen tageslichtabhängig dimmenden Systemen und die relative Nutzungszeit bei tageslichtabhängig schaltenden Systemen verwendet. Bzgl. tageslichtabhängigem Dimmen ist das RZP als Mittelwert der jährlichen relativen Nutzbelichtung über die Fläche der RZ definiert, siehe auch /2/, /3/. Die Ermittlung des RZP erfolgt aus der Berechnung der jährlichen relativen Nutzbelichtung /3/, (Gl. 2) auf Basis des mittleren Himmels, bzw. dann als Integration über die RZ-Fläche zum RZP (Gl. 3).

$$H_{use,A,rel} = \frac{\sum_{i=1}^{12} N_i \cdot \left(\int_{T_B}^{T_E} E_P \cdot dt \right)}{E_S \cdot t_W \cdot N_A} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$RZP = \bar{H}_{use,A,rel} = \frac{\int A H_{use,A,rel} dA}{A} \quad (2)$$

N_i	Anzahl der Arbeitstage pro Monat
N_A	Anzahl der Arbeitstage im Jahr
$t_W = T_E - T_B$	Stunden täglicher Arbeitszeit
T_B	Beginn der Arbeitszeit (z.B. 8 ⁰⁰ WOZ)
T_E	Ende der Arbeitszeit (z.B. 18 ⁰⁰ WOZ)
E_P	Tageslichtbeleuchtungsstärke an einem Punkt im Innenraum
A	Fläche der Raumzone
E_S	Nennbeleuchtungsstärke

Das RZP wird beeinflusst durch das Tageslichtangebot im Innenraum, d.h. durch die Parameter:

- Geographische Lage des Gebäudes (Längen- und Breitenangabe)
- Lokale Tageslichtverfügbarkeit (mittlerer Himmelszustand)
- Tageslichtsysteme
- Raum- und Fenstereigenschaften
- Arbeitszeit
- Nennbeleuchtungsstärke

Das Wissen um den momentanen Himmelszustand ist für die Abschätzung des Energieeinsparpotentials eines Systems über eine lange Zeitperiode hinweg nicht ausreichend. Derartige Aussagen sind nur auf der Basis von Kenntnissen über die Tageslichtdaten für eine lange Zeitspanne möglich. Als durchschnittlicher Himmelszustand wird auf den in der DIN definierten Mittleren Himmel zurückgegriffen /3/, /7/.

6. Praxisorientierte Bewertung bzgl. der Beleuchtungsanforderungen

Das praxisorientierte Verfahren unterscheidet sich von früheren Vorgehensweisen /9/ u.a. hinsichtlich der Wahl der Referenzbeleuchtungsstärken. Es wird nicht die exakte Nachtzustand-Beleuchtungsstärkeverteilung bzgl. expliziter Sensorpositionen verwendet, sondern die Einhaltung der Anforderungen an Mittel- und Minimalwerte ist relevant. Das berücksichtigt, daß kein reales Kontrollsystem exakt die durch die Beleuchtungsanlage im Nachtzustand festgelegte Beleuch-

tungsstärkeverteilung im Mischbetrieb mit Tageslicht über den Tag hin einhalten kann, was auf die unterschiedlichen Lichteinfallrichtungen bzw. die Verteilung von Tages- und Kunstlicht zurückzuführen ist. Eine realistische Bewertung orientiert sich daher an mittlerer und kleinster Beleuchtungsstärke pro RZ.

Über die gesamte Betriebszeit hindurch hat eine tageslichtabhängige Beleuchtungskontrolle Mindestanforderungen an das Beleuchtungsniveau gemäß geltender Richtlinien zu gewährleisten. In den Test-Messungen wird die Nutzebenenbeleuchtungsstärke an 12 Punkten (rasterförmig im Raum verteilt) aufgenommen. Die Nennbeleuchtungsstärke pro Raumzone ergibt sich aus dem Nachtzustand der Beleuchtung (bei zumeist 100 % Dimmniveau). Der raumzonenbezogene Mittelwert sowie die kleinste Beleuchtungsstärke in der jeweiligen Raumzone ist die relevante Größe. Aus dem zeitlichen Verlauf der Nutzebenenbeleuchtungsstärke werden die raumzonenbezogenen Mittelwert- und Minimalbeleuchtungsstärken ermittelt (N_s Sensoranzahl im Nutzebenenraster pro RZ). Die RZ-Nennbeleuchtungsstärke ergibt sich aus dem räumlichen Mittelwert im stationären Nachtzustand (Gl. 4).

$$E_{nenn,RZ} = E_{mittel,nachts,RZ} = \frac{1}{N_s} \cdot \sum_{i=1}^{N_s} E_{i,nachts} \quad (4)$$

Da es sich um eine Testbeleuchtungsanlage für Kurzzeittests handelt, wird im folgenden ein Planungsfaktor, der normalerweise Alterung und Verschmutzung von Lampen und Leuchten mit einbezieht, nicht berücksichtigt. Die Beleuchtungsanlage hat bei korrekter Planung z.B. nach DIN 5035 über die gesamte Betriebszeit hin folgendes einzuhalten:

$$\text{Anforderung 1} \quad E_{mittel,RZ} = \frac{1}{N_s} \cdot \sum_{i=1}^{N_s} E_i \geq E_{nenn,RZ} (= E_{mittel,nachts,RZ}) \quad (5)$$

$$\text{Anforderung 2} \quad E_{min,RZ} \geq E_{min,nachts,RZ} \quad (6)$$

Anhand des Beispiels in Abb. 4 und Abb. 5 sieht man die raumzonenunterteilte Betrachtung der relevanten Beleuchtungsstärken, gemessen am 28.01.99 bei bedecktem Himmel mit kleiner Fenstergröße an einem Steuersystem. Zu beachten ist, daß bei der den Leuchtenbändern zugeordneten Raumzonenaufteilung (Abb. 5) eine detailliertere Aussage über das Systemverhalten getroffen werden kann.

7. Größen zur Bewertung und Analyse des Systemverhaltens

7.1 Relative RZ-Minderbelichtung

Die relative RZ-Minderbelichtung berechnet sich separat für jede RZ und dient der lichttechnischen Bewertung. Sie wird u.a. auch durch die Art der Kalibrierung beeinflusst. Eine detaillierte Betrachtung des Systemverhaltens in Abhängigkeit vom Tageslichtangebot wird ermöglicht. Es wird nicht die gesamte Systembetriebszeit mit in die Berechnung einbezogen, sondern nur die Zeiten, in denen

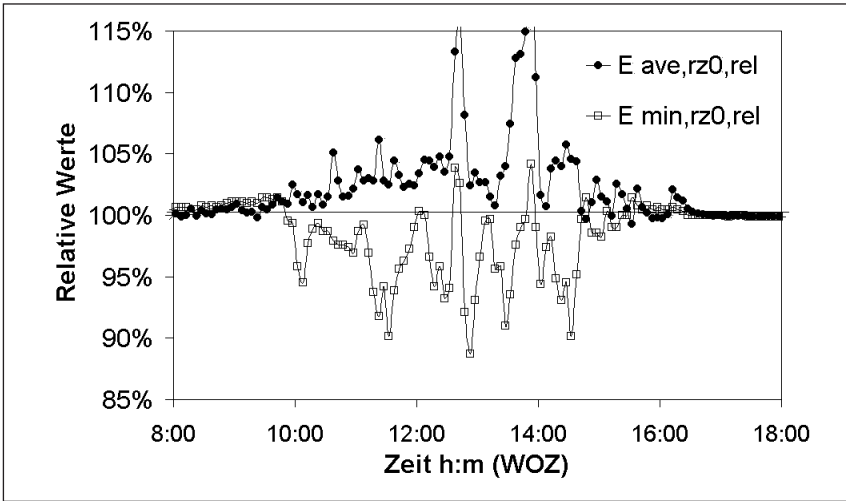


Abb. 4: Durchschnittliche und kleinste Beleuchtungsstärken, Betrachtung des Gesamtraumes (RZ0)

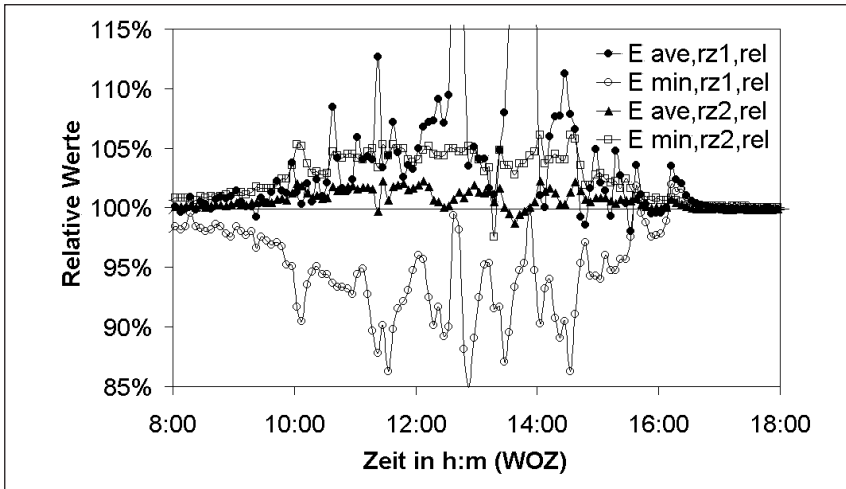


Abb. 5: Durchschnittliche und kleinste Beleuchtungsstärken, Betrachtung für zwei RZ (RZ1 und RZ2)

Tageslicht vorhanden ist, dieses jedoch nicht ausreicht, um den Anforderungen an die durchschnittliche und kleinste Beleuchtungsstärke gerecht zu werden. Es läßt sich für jede Raumzone eine relative Minderbelichtung bzgl. durchschnittlicher als auch kleinster Beleuchtungsstärke definieren. Für eine Raumzone RZ1 ergibt sich dann z.B. unter Beachtung der Bezugszeitintervalle (Gl. 7, Gl. 8):

Relative RZ-Minderbelichtung bzgl. kleinster Beleuchtungsstärke

$$H_{SLEM,RZ1} = \frac{\int_{(t')} \psi_{\min,RZ1}(t) \cdot dt}{E_{\min,RZ1,soll} \cdot \sum t'_i} \quad \text{mit } t' \in \{t \text{ mit } 0 < E_{\text{tag,min RZ1}} < E_{\min,RZ1,soll}\} \quad (7)$$

$$\psi(t)_{\min,RZ1} = \begin{cases} E_{\min,RZ1,soll} - E_{\min,RZ1}(t) & \text{für } E_{\min,RZ1}(t) < E_{\min,RZ1,soll} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (8)$$

Die Minderbelichtung bzgl. kleinster Beleuchtungsstärke kann bereits als hinreichendes Kriterium für eine gute Kalibrierung verwendet werden. Denn bei der Minderbelichtung bzgl. durchschnittlicher Beleuchtungsstärke ist zu berücksichtigen, daß bei Einhaltung der Anforderungen an die minimale Beleuchtungsstärke automatisch die Anforderung an die durchschnittliche Beleuchtungsstärke erfüllt ist. Die Güte der Kalibrierung kann somit ausgedrückt werden. Eine lichttechnisch korrekte Kalibrierung minimiert die Minderbelichtung im Sinne einer erhöhten Nutzerakzeptanz.

7.2 Relative RZ-Mehrbelichtung

Die relative RZ-Mehrbelichtung wird entsprechend für jede Raumzone berechnet (Gl. 9), wobei auch nur die bereits oben definierten Systembetriebszeiten berücksichtigt werden dürfen. Wie auch bei der relativen RZ-Minderbelichtung wird die relative RZ-Mehrbelichtung auf die pro Raumzone bezogene minimale Beleuchtungsstärke bezogen, da die Anforderung an die minimale Beleuchtungsstärke das strengste Kriterium darstellen. Bei einer guten Kalibrierung wird sichergestellt, daß die Anforderungen erfüllt werden, wenn auf Einhaltung im Bezug auf die kleinste Beleuchtungsstärke kalibriert wird. Im Sinne einer energetisch optimierten Kontrolle sollte die RZ-Mehrbelichtung möglichst klein gehalten werden.

Relative RZ-Mehrbelichtung bzgl. kleinster Beleuchtungsstärke

$$H_{ELEM,RZ1} = \frac{\int_{(t')} \epsilon_{\min,RZ1}(t) \cdot dt}{E_{\min,RZ1} \cdot \sum t'_i} \quad \begin{array}{l} \text{mit } t' \in \{t \text{ mit } 0 < E_{\text{tag,min RZ1}}\} \\ \text{und } t \\ \text{entsprechend Fallunterscheidung} \end{array} \quad (9)$$

Der Term $\epsilon_{\min,RZ1}(t)$ berechnet sich in Abhängigkeit von der Tageslichtbeleuchtungssituation in der Raumzone (Fallunterscheidung) /5/.

7.3 Raumzonenbezogenes Systempotential

Das Systempotential bezieht sich bei diesem Bewertungsansatz auf jeweils eine Raumzone, d.h. für jede Raumzone wird ein eigenes Systempotential errechnet. Die Berechnung bezieht sich nur auf Zeiten mit einem Tageslichtanteil größer Null und bestimmte definierte Systembetriebszeitintervalle und wird für die mittlere Beleuchtungsstärke in der Raumzone durchgeführt, da diese Größe der energetischen Bewertung dient (Gl. 10).

$$\Gamma_{RZx} = \frac{\int_{(t')} \chi_{RZx}(t) \cdot dt}{\sum t'_i} \quad (10)$$

Der Term $X_{RZx(t)}$ berechnet sich entsprechend der Tageslichtbeleuchtungssituation in der Raumzone (Fallunterscheidung) aus den Kunst- und Tageslichtanteilen /5/.

7.4 Zusammenfassende Bewertung

Das gesamte System kann nun bezogen auf den Testraum mit der Anzahl an n_{RZ} Raumzonen bzw. Leuchtenbandreihen beschrieben werden durch einen Systempotentialvektor. Entsprechend ergibt sich dann auch bzgl. der relativen Mehr- und Minderbelichtung ein Vektor (Gl. 11,12,13).

$$\text{Systempotentialvektor} \quad \vec{\Gamma} = \left\{ \Gamma_1, \dots, \Gamma_{n_{RZ}} \right\} \quad (11)$$

$$\text{Vektor der relativen Minderbelichtung} \quad \vec{H}_{SLE} = \left\{ H_{SLE,RZ1}, \dots, H_{SLE,n_{RZ1}} \right\} \quad (12)$$

$$\text{Vektor der relativen Mehrbelichtung} \quad \vec{H}_{ELE} = \left\{ H_{ELE,RZ1}, \dots, H_{ELE,n_{RZ1}} \right\} \quad (13)$$

Das Verhalten des gesamten Systems (Beleuchtungsanlage, Testraum und Kontrollsystem) aller Raumzonen kann nun zusammenfassend dargestellt werden über eine $(3 \times n_{RZ})$ -Systemmatrix (Gl. 14).

$$\text{SysM (System x in Testraum y am Tag z) =} \quad \begin{Bmatrix} \vec{\Gamma} \\ \vec{H}_{SLE} \\ \vec{H}_{ELE} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Gamma_{RZ1} & \dots & \Gamma_{RZn_{RZ}} \\ H_{SLE,RZ1} & \dots & H_{SLE,RZn_{RZ}} \\ H_{ELE,RZ1} & \dots & H_{ELE,RZn_{RZ}} \end{Bmatrix} \quad (14)$$

Die Bewertungsgrößen trennen im einzelnen die energetische (RZ-Systempotential) und die lichttechnische Bewertung (relative Mehr- und Minderbelichtung pro Raumzone), welche dann zusammenfassend in einem Tupel pro RZ zusammengeführt wird. Eine weitergehende Analyse des Systemverhaltens erlaubt die kumulierte Darstellung der Beleuchtungsstärkeabweichungen pro RZ (Abb. 6).

8. Schlußfolgerungen

Mit dem vorgestellten Verfahren ist eine energetische und lichttechnische Bewertung ausgewählter Systeme sowie mit weitergehenden Berechnungen eine Vorhersage von Energieeinsparpotentialen für Langzeitbetrachtungen möglich. Die Ergebnisse der Messungen an konkreten Systemen konnten nach Berechnung der Bewertungsgrößen miteinander verglichen und das Verhalten interpretiert werden, z.B. warum ein System unter bestimmten Umständen zuviel Kunstlicht liefert. Der Einfluß der Kalibrierung sowie der Sensorik eines Systems kann durch die raumzonenbezogene Mehr- und Minderbelichtung analysiert werden, zumal diese einen entscheidenden Einfluß auf die Güte des Systems haben. Die raumzonenbezogene Betrachtung erlaubt zudem eine Differenzierung der Einflüsse in Abhängigkeit vom Tageslichtangebot. Die Verwendung der aus den Testmessungen gewonnenen Größe des RZ-Systempotentials für Langzeitab-

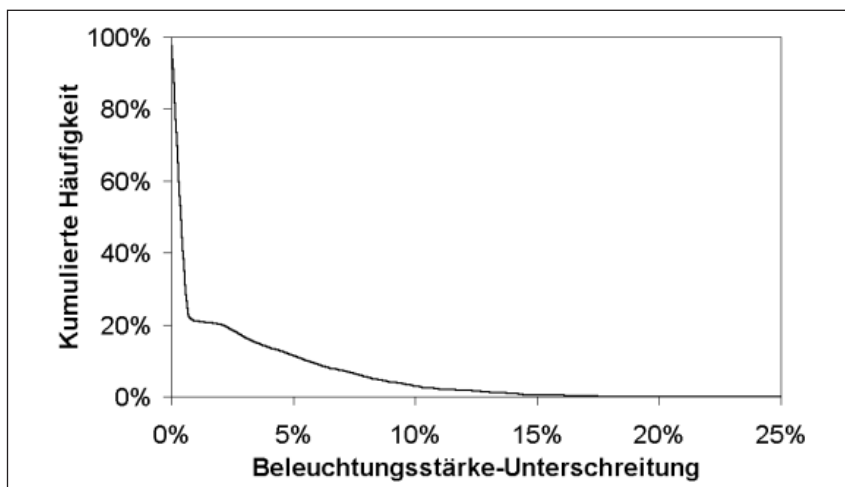


Abb. 6: Kumulierte Referenzbeleuchtungsstärke-Unterschreitung pro Raumzone für ein Steuersystem

schätzungen (Mittlerer Himmel und Mittelwerte relativer Nutzbelichtungen durch Tageslicht pro RZ = RZP) für konkrete Systeme ermöglicht die Berechnung der Einsparung durch Tageslicht bei Einsatz eines tageslichtabhängigen Kunstlichtkontrollsystems. Bei der Berechnung absoluter Energieeinsparungen spielen des weiteren auch die Eigenschaften der Kunstlichtanlage (Leuchten und Lampen) sowie die Kennlinien der verwendeten EVGs eine Rolle, da diese die Gesamteffizienz mit beeinflussen. Das Verfahren ist auch zur Bewertung des kombinierten Einsatzes tageslichtabhängiger Kunstlichtkontrollsysteme mit Tageslichtsystemen verwendbar.

Literaturverzeichnis

- /1/ Aydinli S. und Seidl M., Determination of the economic benefits of daylight in interiors concerned with the fulfillment of visual tasks, Tagungsband 1. International Daylight Conference, California, 1986
- /2/ Aydinli S., Die relative Nutzungszeit und relative Nutzbelichtung bei Tageslicht im Arbeitsraum, Tagungsband Band 1 Licht 84 Konferenz, Mannheim, 1984
- /3/ Aydinli S., Seidl M., Van Bergem-Jansen P. M. und Keller B., Tageslichtanforderungen, Grundlagen, Berechnung, Messung, energetische Aspekte II-1.1, Innenbeleuchtung/Planung und Berechnung, Handbuch für Beleuchtung, 5. Auflage, Landsberg 1992
- /4/ Belendorf H., Aydinli S. and Kaase H., Der Einfluß der Sensorik auf die tageslichtabhängige Kunstlichtbeleuchtung, Tagungsband 6. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Staffelstein, 2000
- /5/ Belendorf H., Aydinli S., Kaase H., A practical method for the assessment of Daylight responsive lighting control systems regarding energy saving and lighting quality, Kongreß, Tagungsband EuroSun 2000, Kopenhagen, 2000
- /6/ Belendorf H., Aydinli S., Tageslichtabhängige elektronische Kontrollsysteme. In Tagungsband zum Workshop Tageslichtnutzung in Gebäuden, Technische Universität Berlin, Berlin, 1999
- /7/ DIN 5034 Teil 2, Tageslicht in Innenräumen, Deutsche Norm, 1985

- /8/ Knoop T., Ehling K., Aydinli S., Kaase H., Investigation of Daylight redirecting systems and Daylight responsive lighting control systems, Tagungsband Right Light 4 European Conference on Energy-Efficient Lighting, Volume 2, S.231-235, Copenhagen, 1997
- /9/ Knoop T., Tageslichtabhängige Beleuchtungssysteme auf der Basis von Installationsbussen, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 6 Energietechnik, Nr. 396, VDI Verlag, Düsseldorf, 1998
- /10/ Zonneveldt L., Belendorf H., Brekke B., Laurentin C., Taeymans F., Tenner A., Design Guide for Daylight Responsive Lighting Control Systems, IEA Task 21 Subtask B, Daylight in Buildings, Chapter: Economical assessment - Predicting the energy savings of daylight responsive lighting control systems, 2000, draft

Komfort als Ausgangspunkt – Die Notwendigkeit der Integration eines Gebäude-Verwaltungssystems

Lily Jong, H. van Dijk

Wurde früher ein Arbeitnehmer gesehen als eine Person, die ausschließlich gute Leistungen durch eigene Überzeugung und Einsatz bringt, werden heutzutage nur wenige Arbeitgeber abstreiten, daß die Arbeitsumgebung einen großen Einfluß auf die Produktivität hat. Der Arbeitgeber erkennt seine Verantwortung; der Arbeitnehmer erkennt seine Rechte. Der Mitarbeiter, heute und gewiß in der Zukunft, fordert Komfort als Bedingung für gute Leistung. Diese Anforderung wird in der Zukunft gekräftigt durch Regeln und Gesetze; der Arbeitgeber wird verantwortlich gemacht für das Wohlbefinden seiner Leute. Was einmal eine Gunst war, ist heute eine Verpflichtung.

Ein Mensch verwendet all seine Sinnesorgane bei dem Beurteilen des Komforts: wir riechen, hören, fühlen und sehen. Dies alles zusammengenommen beeinflusst wie wir uns fühlen: vertraut oder unsicher, konzentriert oder „weit weg“. Die Büroumgebung spielt ein auf diese Sinnesorgane: Durch das Regeln des Raumklimas, des Sonnenschutzes und der Beleuchtung.

Das Wohlbefinden des Büromitarbeiters spielt dabei die zentrale Rolle. Dadurch, daß immer öfter eine flexible Arbeitsumgebung geschaffen wird, sollen die verschiedenen Gebäudesysteme die gleiche Flexibilität haben in Entwurf, Realisierung und Anpassungen.

Dies heißt, daß eine weitgehende Integration der Gebäudesysteme notwendig ist. Mit Integration ist hier erst einmal die Integration auf der physischen Ebene gemeint: Verwendung eines einzigartigen Kabelsystems oder eines Busses. Und zweitens die Integration auf der funktionellen Ebene: zusammen arbeiten durch Verwendung gegenseitig funktioneller Möglichkeiten (z.B. Sensoren) oder das „Sprechen“ der gleichen Sprache.

Zum Beispiel: Ein Bewegungsmelder, der sowohl die Heizung/Kühlung als auch die Beleuchtung steuert. Individuelle Wünsche mit Bezug auf Komfort können hierdurch in den verschiedenen Systemen schnell und einfach durchgeführt werden.

Integration verschiedener Systeme gibt außerdem die Möglichkeit, viel bewußter und effizienter mit unseren Energiequellen umzugehen. Eine Energieeinsparung

Ir. Lily Jong
Ing. H. van Dijk
Philips Lighting
Bld. EEA 3.20
P.O.Box 80020
NL-5600 JM Eindhoven

bei einem System soll nicht zu einer Energieerhöhung bei einem anderen System führen. Denken Sie zum Beispiel an das Senken von künstlichem Licht (beim Zulassen von mehr Sonnenlicht) aber demgegenüber die Erhöhung der Klimateinstellung. Ein integriertes System „sucht“ die optimale Lösung.

Zum Schluß spielt auch die Verwaltung aller Gebäudesysteme eine wichtige Rolle. Der Gebäudebesitzer fordert eine einfache Dienstleistung seiner immer höher technisch-fortgeschrittenen Gebäude. Ein zentrales System kann diese Frage beantworten.

Es gibt zwei Faktoren, die einen Einfluß auf das Erreichen eines optimalen Beitrages all dieser Regelsysteme haben.

Erstens die gegenseitige Zusammenarbeit der Betriebe beim integrierten Regeln des Klimas, Sonnenschutzes und der Beleuchtung. Die frühzeitige Anwesenheit und „das Sich-Kennen“ der teilnehmenden Betriebe in einem Projekt ist von grosser Bedeutung. Die „kompatible“ Partnerschaft wird gekennzeichnet durch das LON-Markenzeichen.

Zweitens die Kenntnis und das Können der Anwendung. Ein gutes Verständnis der Anwendung ist eine Bedingung eines guten Beleuchtungsplanes. Man soll sich in die Arbeitssituation einleben können. Einen Beleuchtungspartner finden, der nicht nur Licht kennt, sondern auch integriert mitdenken kann, ist wesentlich für eine effektive Zusammenarbeit; heute und in der Zukunft.

1. Einleitung

In modernen Beleuchtungsanlagen werden Lichtregelungen mit dem Ziel eingesetzt, die Beleuchtung noch kostengünstiger zu nutzen, wobei der Komfort der Beleuchtung für den Benutzer im Raum nicht verringert wird. Im Gegenteil, die Beleuchtung paßt sich innerhalb des Rahmens der Lichtregelung an die Wünsche und Aufgaben des Benutzers an.

Eine gute Lichtregelung umfaßt drei Aspekte:

- Einsparung von Energiekosten
- Komfort für den Benutzer des Raumes und für den Betreiber des Gebäudes
- Flexibilität in der Umgestaltung des Innenausbau einer Etage

Mit dem Ziel eine kostengünstige Beleuchtungsanlage zu schaffen, die sich innerhalb von höchstens 5 Jahren amortisieren läßt.

2. Energieeinsparung

Lichtregelsysteme mit tageslichtabhängiger Regelung sorgen für einen optimalen Energieeinsatz. Der Lichtstrom der Lampen paßt sich automatisch dem verfügbaren Tageslichteinfall an, indem die künstliche Beleuchtung dem Tageslichtangebot entsprechend zurückregelt und schließlich, wenn der Tageslichteinfall mehr als 50% über dem gewünschten Helligkeitsniveau liegt, auch ausschaltet. Zusätzlich kompensiert das Lichtregelsystem von vornherein die Überdimensionierung der Beleuchtungsstärke von 25% laut DIN.

Die jährliche Energieeinsparung, die mit tageslichtabhängigen Regelungen in Bürogebäuden erzielt wird, beträgt mehr als 30% des nominalen Energieverbrauchs der Beleuchtung. Ein Lichtregelsystem mit Anwesenheitserfassung schaltet die Beleuchtung nur dann ein, wenn eine Person den Raum betritt und schaltet die Beleuchtung wieder aus, wenn sich niemand mehr im Raum befindet und die Beleuchtung nicht vorher ausgeschaltet worden ist. Messungen in verschiedenen Verwaltungsgebäuden haben ergeben, daß durch Anwesenheitserfassung mehr als 40% des nominalen Energieverbrauchs der Beleuchtung eingespart werden kann.

Mit einem Lichtregelsystem, bei dem sich beide Funktionen ergänzen, wird die maximale Energieeinsparung einer Beleuchtungsanlage erreicht. Die Beleuchtung ist nur dann eingeschaltet, wenn sich jemand im Raum befindet. Der Lichtstrom der Lampen paßt sich während dieser Zeit automatisch dem verfügbaren Tageslichteinfall an, indem die künstliche Beleuchtung dem Tageslichtangebot entsprechend zurückregelt und schließlich abschaltet, wenn die Helligkeit mehr als ausreichend ist.

Die jährliche Energieeinsparung, die mit dieser kombinierten Regelung, Tageslicht und Anwesenheit, in einem Bürogebäude erzielt wird, beträgt mehr als 50% vom nominalen Energieverbrauch der Beleuchtung.

3. Komfort

Eine Beleuchtungsanlage muß für angenehme Arbeitsbedingungen sorgen, da mehr als 80% aller Informationen an einem Schreibtisch von Personen über die Augen ermittelt wird. Lichtregelsysteme dürfen nie diese Primär-Aufgaben der Beleuchtung negativ beeinflussen. Die Hersteller von Lichtregelsystemen versuchen sogar, den Komfort des Benutzers durch die Möglichkeit, das Helligkeitsniveau an seine individuellen Bedürfnisse anzupassen, noch zu erhöhen. Der Betreiber kann jetzt, was die Beleuchtungsqualität anbelangt, auch besser auf Wünsche der Benutzer der Büroräume eingehen. Er kann sie nach Bedarf einstellen.

4. Flexibilität

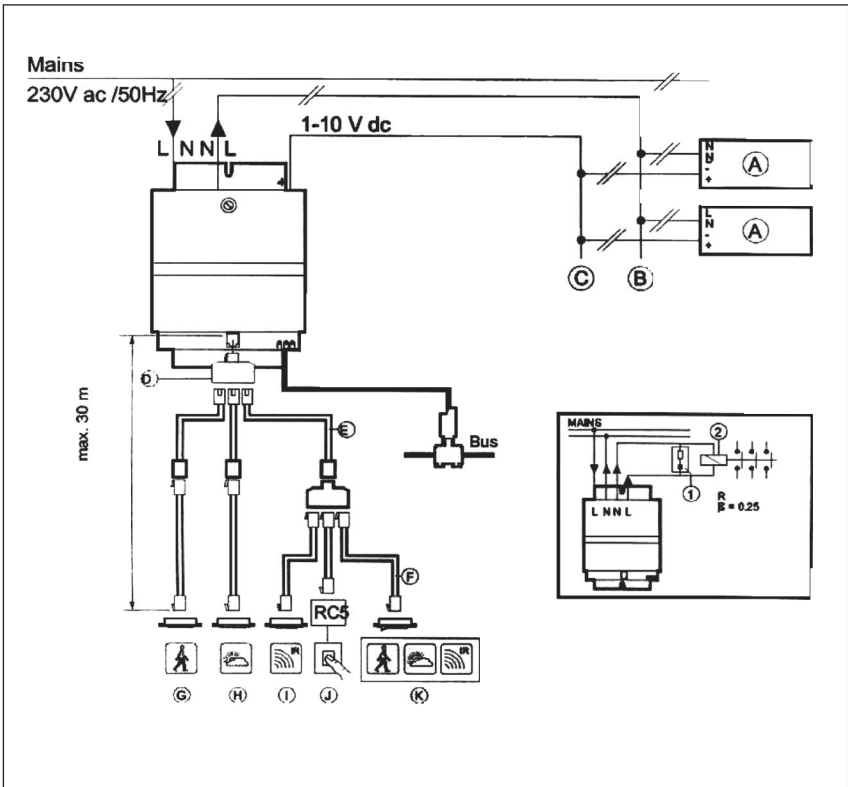
Die Flexibilität fängt in der Leuchte mit den regelbaren elektronischen Vorschaltgeräten an, die dafür sorgen, daß die Lampen sich dem Tageslichteinfall anpassen. Das Lichtregelsystem ist im Aufbau in jedem Büroraum gleich und kann an die individuellen Wünsche des Benutzers angepaßt werden. Werden die Lichtregelsysteme untereinander verbunden, entsteht die Möglichkeit eines Lichtmanagementsystems, wobei auch raumübergreifende Aktionen getätigt werden können.

Lichtmanagementsysteme geben den Betreibern die Möglichkeit, nicht nur die Beleuchtung und Lichtregelung den Benutzerwünschen anzupassen, sondern sie können auch in die Konfiguration der gesamte Lichtregelanlage eingreifen, um so die Beleuchtungsanlage an geänderte Räumlichkeiten anzupassen. Eine Etage kann so von Einzelbüros zu Großraumbüros oder umgekehrt umgewandelt werden, ohne die elektrische Installation in der Decke, die Leuchten und die

Schalter zu ändern. Diese Flexibilität erbringt im Durchschnitt eine Einsparung von ungefähr DM 12,- pro m²/ Jahr.

5. Aufbau des Lichtregelsystems

Ein Lichtregelsystem ist sehr einfach und schnell zu installieren. Die Sensoren und Aktoren werden über verpolungssichere Steckkontakte miteinander verbunden. Durch einfaches Zusammenstecken der Komponenten wird eine sichere Verbindung hergestellt. Bei einfachen autarken Systemen erkennt der Aktor die angeschlossenen Sensoren und wählt das entsprechende Schalt- und Regelprogramm aus. Bei Lichtmanagementsystemen sind diese Standardwerte und Verknüpfungen leicht und übersichtlich zu ändern.



Einfluß von Tageslichtsystemen auf Licht, Klima, Energie und Kosten

Wilfried Pohl, Christoph Scheiring, Manfred Gstrein

1. Einführung

1.1 Allgemeines

Die transparente Gebäudehülle (Fenster und Fassade mit Tageslichtsystem) als Grenzfläche zwischen Innen- und Außenraum beeinflusst wesentlich das gesamte energetische Gebäudeverhalten und das thermische und visuelle Klima bzw. den thermischen und visuellen Komfort im Innenraum.

Das Seitenlicht (Fenster bzw. die transparente Fassade) dient in erster Linie dazu, einen Sichtbezug nach außen und eine Tagesbelichtung des Raumes sicherzustellen. Erst in einer vertieften Betrachtung bzw. sehr häufig erst bei der Benutzung der Räume stellt sich heraus, dass die Anforderungen an das Seitenlicht viel komplexer sind (siehe 1.2.).

Tageslicht ist aufgrund wahrnehmungsphysiologischer und psychologischer Einflüsse dem Kunstlicht vorzuziehen. Mittels Tageslicht wird Information über die Außenwelt transportiert, es informiert über Tages- und Jahreszeit, Wetterbedingungen, etc. Erst durch diese Information wird elektromagnetische Strahlung zu Tageslicht.

Darüber hinaus ist die richtige Nutzung von Tageslicht zur Beleuchtung von Räumen zusammen mit einem hochwertigen Sonnenschutz energiesparend und ökologisch sinnvoll. Es wird hochwertige elektrische Energie für das Kunstlicht und für die Kühlung eingespart. Durch einen hochwertigen Sonnenschutz kann die Kühllast eventuell soweit reduziert werden, dass eine natürliche Luftkühlung ausreichend ist und die teure Investition für eine mechanische Kühlung entfallen kann. In manchen Fällen kann zudem durch den hohen visuellen Nutzeffekt von Tageslicht (Strahlung enthält viel Licht) im Vergleich zu Kunstlicht die Kühllast und damit die Kühlenergie reduziert werden.

Passive Solargewinne im Winter und ein guter Wärmeschutz (kleiner k-Wert) verringern die Heizenergie.

1.2 Anforderungen an ein Seitenlicht (Tageslichtsystem)

An ein Seitenlicht sind grundsätzlich folgende Anforderungen zu stellen:

- Sichtbezug nach außen
- Tageslichtmenge und -verteilung, Umlenkung in Raumtiefe, Lichtrichtung

Mag. Wilfried Pohl
Mag. Christoph Scheiring
Ing. Manfred Gstrein
Bartenbach LichtLabor GmbH
Rinnerstraße 14
A-6071 Aldrans/Innsbruck

- Blendschutz (Leuchtdichten im Innenraum)
- Sonnenschutz (energetisch, g-Wert)
- Sichtschutz, Verdunkelung
- Wärmeschutz (k-Wert)
- Schallschutz, Witterungsschutz, Einbruchschutz etc.
- Gestalterische Ansprüche.

Unter ‚Tageslichtsystem‘ verstehen wir im Folgenden die gesamte Systemtechnik, die in ein Fenster bzw. in eine Fassade integriert wird, um o.a. Anforderungen von Klima und Licht zu steuern.

Aufgrund von tages- und jahreszeitlichen Schwankungen der Außenbedingungen sowie verschiedenen Innenraumnutzungen sind die Anforderungen an das Tageslichtsystem stark wechselnd. Ein statisches System kann diese Anforderungen prinzipiell nicht erfüllen.

Die Gesamtheit der oben genannten Anforderungen kann nur durch komplexe, licht- und strahlungslenkende Tageslichtsysteme erfüllt werden.

Um eine Anpassung an variable Außenbedingungen zu erreichen, sollten Tageslichtsysteme verstellbar sein. Untenstehende Tabelle zeigt die variablen Anforderungen an ein Tageslichtsystem. Der Solareintrag sollte im Sommer zur Reduktion der thermischen Belastung bzw. der Kühllast minimiert werden, im Herbst, Winter und Frühling sollte die Solarstrahlung zur Raumheizung benutzt werden (passive Solarenergie-Nutzung, energiepositives Fenster). Die Lichttransmission ins Gebäude ist unter Berücksichtigung der thermischen Belastung noch oben durch Blendung limitiert, die untere Schranke wird durch die visuellen Anforderungen festgelegt (soviel Tageslicht, wie visuell notwendig).

	Sommer			Winter		
	g	k	τ	g	k	τ
Tag klar, Sonne	↓	-	↑	↑	↓	↑
Tag bedeckt	-	-	↑	-	↓	↑
Nacht	-	-	↓ (1)	-	↓ (2)	↓

Tabelle: Variable Anforderungen an ein Tageslicht-System (schematisch)

(1) Sichtschutz

(2) Reduktion der Wärmeverluste

2. Untersuchung verschiedener Lösungen

2.1 Varianten

Im Zuge einer Untersuchung wurden verschiedene Systemvarianten für ein Standardbüro lichttechnisch und klimatechnisch durchgerechnet, wobei von folgenden Annahmen ausgegangen wird:

1. In allen Varianten wird die Leuchtdichte des Fensters auf ca. 400 cd/m² begrenzt (Blendungsbegrenzung)
2. Nutzungszeiten von 8:00-18:00 Uhr

3. Solltemperatur innen $22\text{ °C} < T < 27\text{ °C}$
4. wenn natürliche Lüftung nicht ausreichend > zusätzliche mechanische Kühlung
5. Kunstlichtergänzung mit Spiegelrasterleuchten, $P = 8\text{ W/m}^2$.

Im Folgenden werden beispielhaft 3 verschiedene Varianten aus der Untersuchung dargestellt.

Variante 1: Konventionelle Außenjalousie mit innenliegendem Blendschutzrollo

Variante 2: Sonnenschutzglas mit Vertikalraffstore geschlossen

Variante 3: Umlenklamelle und 2-stufigem Blendschutzrollo innenliegend (hinter Isolierglas)

Variante 1

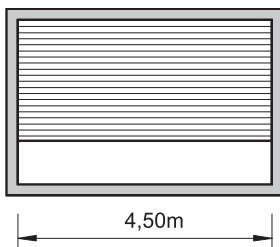
Konventionelle Außenjalousie mit innenliegendem Blendschutzrollo

Von Außen nach Innen

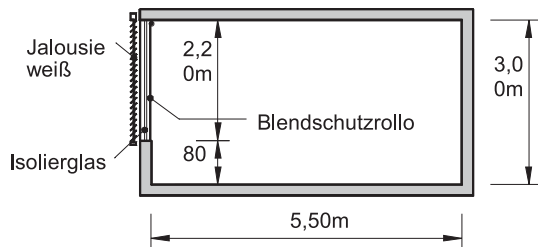
- Jalousie weiß
- Isolierglas klar ($\tau = 76\%$, $g = 0,56$, $k = 1,1$)
- Blendschutzrollo, Transmission $\tau \sim 20\%$

$g_{\text{gesamt}} = \text{ca. } 0,1$

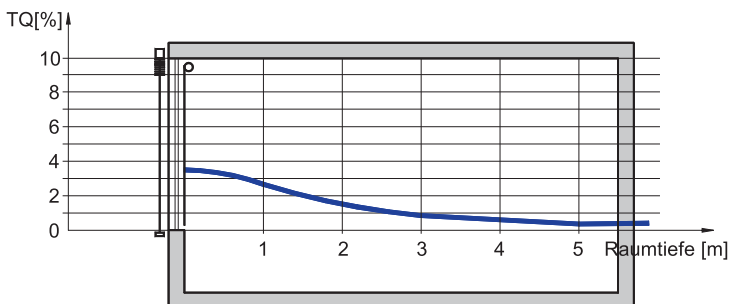
Innenansicht Fensterwand



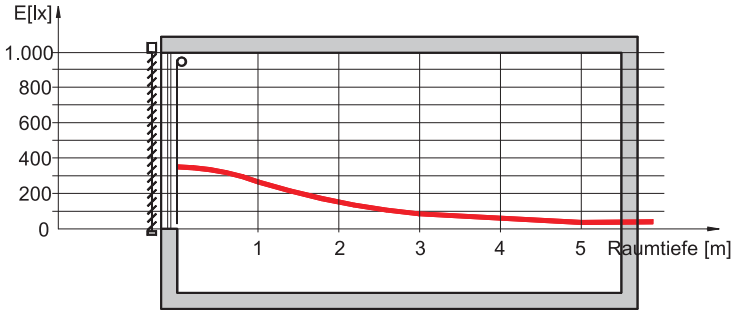
Schnitt



Situation – bedeckter Himmel



Situation – Sonne



Beleuchtungsstärkeverlauf für Sonnenhöhe $\alpha = 45^\circ$

Variante 2

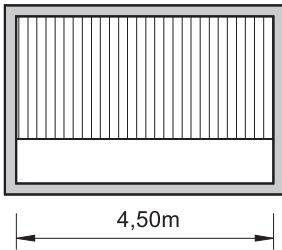
Sonnenschutzglas mit Vertikalraffstore geschlossen

Von Außen nach Innen

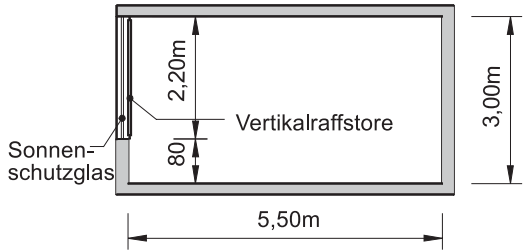
- Sonnenschutzglas ($\tau = 65\%$, $g = 0,38$, $k = 1,2$)
- Vertiso geschlossen, Transmission $\tau \sim 5\%$

$g_{\text{gesamt}} = \text{ca. } 0,38$

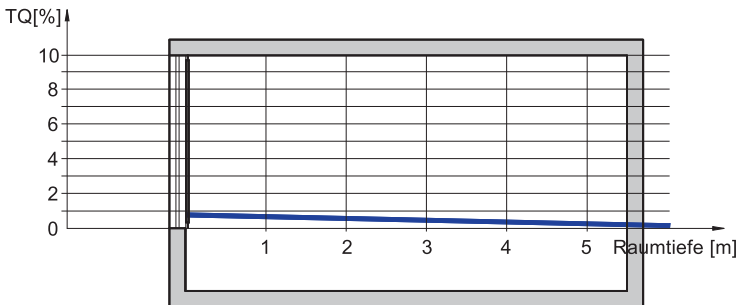
Innenansicht Fensterwand



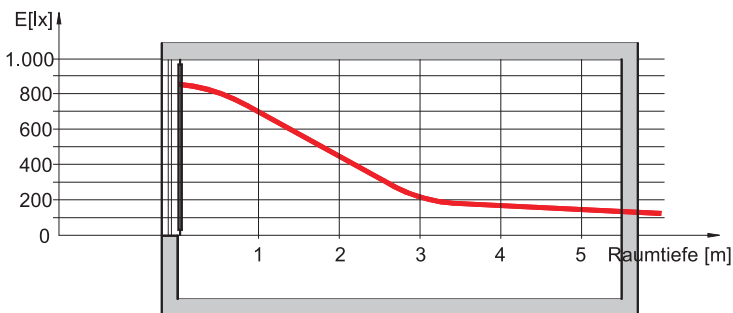
Schnitt



Situation – bedeckter Himmel



Situation – Sonne



Beleuchtungsstärkeverlauf für Sonnenhöhe $\alpha = 45^\circ$

Variante 3

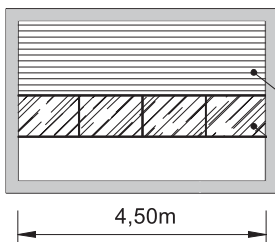
Umlenklamelle und 2-stufigem Blendschutzrollo innenliegend (hinter Isolierglas)

Von Außen nach Innen

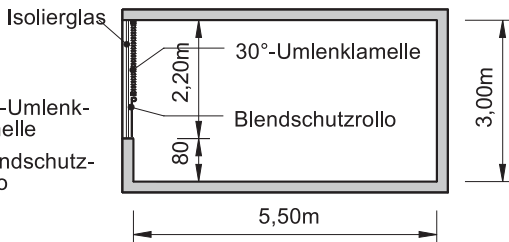
- Isolierglas klar ($\tau = 76\%$, $g = 0,56$, $k = 1,1$)
 - 30°-Umlenklamelle (ungeteilt)
- Blendschutzrollo, Transmission $\tau \sim 20\%$ – bedeckter Himmel, $\tau \sim 3\%$ Sonne

$g_{\text{(gesamt)}} = \text{ca. } 0,21$

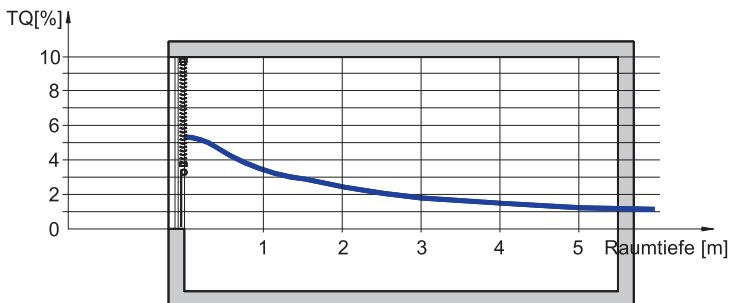
Innenansicht Fensterwand



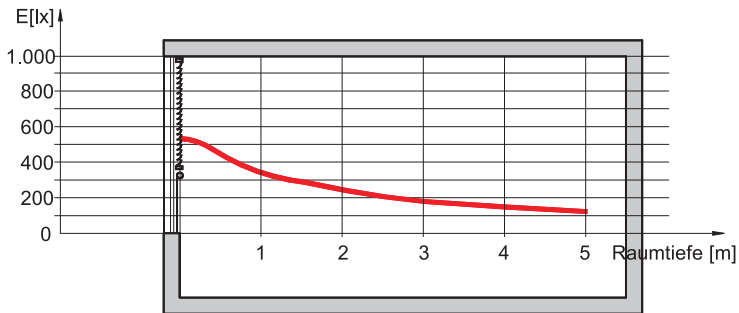
Schnitt



Situation – bedeckter Himmel



Situation – Sonne



Beleuchtungsstärkeverlauf für Sonnenhöhe $\alpha = 45^\circ$

2.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Modellrechnung für diese 3 Varianten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Variante 1: Konventionelle Außenjalousie mit innenliegendem Blendschutzrollo

Variante 2: Sonnenschutzglas mit Vertikalraffstore geschlossen

Variante 3: Umlenkklammer und 2-stufiger Blendschutzrollo innenliegend (hinter Isolierglas)

Variante 2 ist die teuerste, da hier wegen der hohen Kühllasten eine zusätzliche mechanische Kühlung benötigt wird (hohe zusätzliche Investitionskosten).

Variante 1 ist die billigste und benötigt am wenigsten Energie, da sie bzgl. Sonnenschutz (g-Wert) optimal ist. Der Nachteil einer mangelhaften Tagesbelichtung (mehr Kunstlichtzuschaltung und mangelhafter visueller Komfort) fällt bei dieser Rechnung nicht so stark ins Gewicht.

Variante 3 bietet die beste Tagesbelichtung und den besten visuellen Komfort. Der Sonnenschutz ist wegen der innenliegenden Systeme bzgl. Variante 1 schlechter, weshalb die Energie- und Kostenbilanz auch geringfügig schlechter ausfällt.

Tabelle: jährliche Betriebs- und Kapitalkosten (für Investition) in DM für 500 Standardbüros

	Var 1	Var 2	Var 3
Klima Annuität	200.000	720.000	260.000
Klima Betriebskosten	71.000	118.000	94.000
Licht Annuität	518.000	470.000	529.000
Licht Betriebskosten	87.000	142.000	54.000
Summe	876.000	1.450.000	937.000

3. Allgemeine Schlußfolgerungen

Folgende Zusammenhänge zeigen sich:

1. Die Kostenbilanz wird von den Investitionen für die Luft+Kälte Anlage und für die Tageslichttechnik bestimmt.
2. Die Betriebskosten, insbesondere für die Kunstlichtergänzung, fallen wenig ins Gewicht.
3. Der visuelle und thermische Komfort fehlt hier, was die Ergebnisse relativiert (eine geschlossene Fassade wäre optimal).

Generell zeigt sich, dass die Ergebnisse dieser Modellrechnung sehr stark von den verschiedensten Annahmen abhängen, d.h. nur schwer verallgemeinerbar sind.

Weiters gehen in diese Berechnungen der visuelle und thermische Komfort (Behaglichkeit) nicht ein.

Das Fenster wird in der Praxis jedoch vorwiegend nach ästhetischen und visuellen Kriterien beurteilt, weshalb diese Eigenschaften vor den rein wirtschaftlichen und energetischen Betrachtungen verstärkt berücksichtigt werden müssen.

Vereinfachte Berechnung der jährlichen relativen Nutzbelichtung

Jamal Hawwary

1. Einleitung

Die Tageslichtnutzung für die Beleuchtung von Innenräumen ist eine grundlegende Voraussetzung für Wohlbefinden und Leistungsbereitschaft der Menschen am Arbeitsplatz. Durch den Einsatz von Steuerungen und Regelungen der Beleuchtungsanlagen sind weiterhin Betriebskosteneinsparungen durch effizientes Betreiben der Beleuchtungsanlage möglich. Für eine Abschätzung der Einsparung an elektrischer Energie sind zwei Größen von besonderer Wichtigkeit: Die jährliche relative Nutzungszeit und die jährliche relative Nutzbelichtung.

Für die Planung und Berechnung der Innenraumbelichtung mit Tageslicht ist daher ein Berechnungsverfahren notwendig, das die verfügbaren statistischen Daten zum Tageslichtangebot berücksichtigt. Mit dem vorliegenden Planungsverfahren können sämtliche relevanten Parameter quantitativ bestimmt werden, darunter so wichtige Größen wie Beleuchtungsstärke und Tageslichtquotient. Eine wesentliche Neuerung des vorgestellten Planungsverfahrens ist, daß zur Bestimmung der Beleuchtungsstärkeverteilung und des Tageslichtquotienten im Innenraum zuerst Beleuchtungsstärke und Tageslichtanteile auf der Fensterfassade sowie auf der Verbauung bestimmt werden.

Die Beleuchtungsstärke und der Tageslichtquotient im Innenraum werden für die Himmelszustände vollkommen bedeckter und vollständig klarer Himmel sowie teilweise bedeckter Himmel ermittelt. Aus der jährlichen relativen Nutzungszeit kann die Nutzbelichtung in Arbeitsräumen bestimmt werden.

Das Planungsverfahren läßt sich daher sehr gut für die Optimierung der Tageslicht-Ergänzungsbeleuchtung mit Kunstlicht verwenden.

2. Vertikalbeleuchtungsstärke auf der Fassade

Die Vertikalbeleuchtungsstärke auf der Fassade E_{aw} [6] setzt sich aus verschiedenen Anteilen zusammen und kann bei verschiedenen Himmelszuständen mit dem Tageslichtanteil D_{aw} an der Fassade und der Globalbeleuchtungsstärke E_a bestimmt werden. Der Tageslichtanteil D_{aw} ist das Verhältnis aus der Vertikalbeleuchtungsstärke E_{aw} und der Globalbeleuchtungsstärke E_a im Freien. Die Berechnung von D_{aw} wird unter Berücksichtigung folgender Parameter durchgeführt:

Dipl.-Ing. Jamal Hawwary
Technische Universität Berlin, Institut für Elektronik und Lichttechnik, Sekr. E6
Einsteinufer 19
D-10587 Berlin

1. Ortskoordinaten (geographische Länge und Breite)
2. Tages- und Jahreszeit
3. Himmelszustand
4. Orientierung der Fensterwand und der Verbauung

Mehrfachreflexionen zwischen den Gebäuden können aufgrund ihres relativ geringen Einflusses vernachlässigt werden.

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Rechenverfahren zur Bestimmung der Beleuchtungsstärke E_{aw} auf der Fassade bei bedecktem und klarem sowie mittlerem Himmel wird in den folgenden Abschnitten beschrieben:

2.1 Bedeckter Himmel

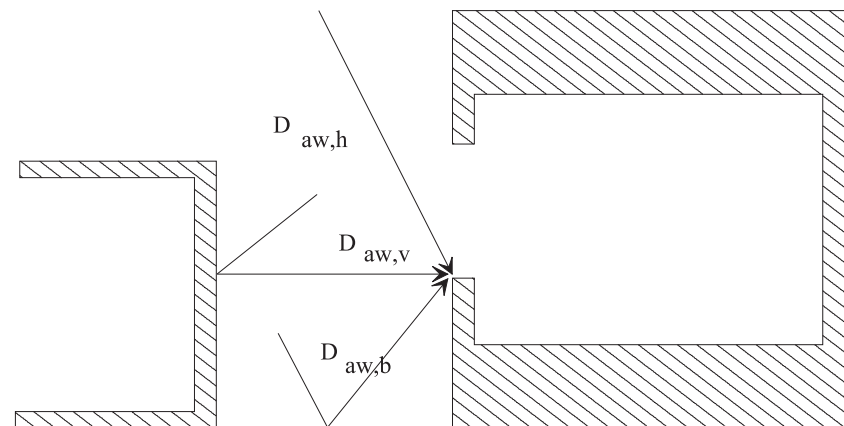


Bild 1: Modellraum mit Tageslichtanteilen (schematisch)

Im folgenden wird die Berechnung der Vertikalbeleuchtungsstärke E_{aw} auf der Fassade sowohl mit, als auch ohne Verbauung ermittelt:

$$\text{Ohne Verbauung } E_{aw} = E_g \cdot D_{aw} \quad (1)$$

Der direkte Tageslichtanteil D_{aw} auf der Fassade bei bedecktem Himmel setzt sich, wenn keine Verbauung vorhanden ist, aus dem Anteil des Himmels $D_{aw,h}$

$$\text{und dem Anteil des Bodens zusammen } D_{aw} = (D_{aw,h} + D_{aw,b}) \quad (2)$$

Wobei der Himmelsanteil $D_{aw,h} = 0,396$ ist [6].

$$\text{Und } D_{aw,b} = \frac{\rho_b}{\pi \cdot \Omega_0} \cdot \int_{\varepsilon_2=0}^{\frac{\pi}{2}} \int_{\beta=-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sin \varepsilon_2 \cdot \cos \varepsilon_2 \cdot d\varepsilon \cdot d\beta \quad (3)$$

$$\text{Durch Integration von (3) ohne Verbauung ergibt sich: } D_{aw,b} = \frac{\rho_b}{2} \quad (4)$$

Mit Verbauung

Die auf der Fassade verfügbare Vertikalbeleuchtungsstärke E_{aw} unter Berücksichtigung der Verbauung kann in folgender Weise bestimmt werden: Die Grundidee dieses Sachverhaltes ist die Bestimmung des projizierten Raumwinkels Ω_p der Verbauung im Verhältnis zum gesehenen Raumwinkel (ein Viertel der Raumwinkel) ohne Verbauung. Anschließend wird dies Verhältnis $\frac{\Omega_p}{\pi}$ mit dem Tageslichtanteil D_{aw} auf der Fassade multipliziert. So läßt sich die Vertikalbeleuchtungsstärke E_{aw} in folgender Weise ermitteln:

$$E_{aw} = E_g \cdot \left(D_{aw} \cdot \left(1 - \frac{\Omega_p}{\pi} \right) + D_{aw,v} \right) \tag{5}$$

Dabei ist $D_{aw} = (0,396 + D_{aw,b})$ (6)

Wenn der Tageslichtanteil des Bodens $D_{aw,b}$ stark verschattet ist, kann er vernachlässigt werden. Sonst wird er wie folgt berechnet:

$$D_{aw,b} = \frac{\rho_b}{\pi \cdot \Omega_0} \cdot \int_{\varepsilon_2=0}^{\frac{\pi}{2}-\varepsilon_v} \int_{\beta=-\frac{\pi}{2}+\beta_{vl}}^{\frac{\pi}{2}-\beta_{vr}} \sin \varepsilon_2 \cdot \cos \varepsilon_2 \cdot d\varepsilon \cdot d\beta \tag{7}$$

Der auf die Fassade von der Verbauung einfallende Tageslichtanteil $D_{aw,v}$ ergibt sich unter der Voraussetzung einer vollkommen diffusen Reflexion und konstanter Leuchtdichte auf der

Verbauung durch $D_{aw,v} = D_{av} \cdot \frac{\Omega_p}{\pi} \cdot \rho_v$ (8)

Der direkte Tageslichtanteil D_{av} auf der Verbauung bei bedecktem Himmel ist

folglich definiert: Dabei ist mit $D_{aw} = (0,396 + D_{aw,b}) \cdot \left(1 - \frac{\Omega_{p,v}}{\pi} \right)$ (9)

$D_{aw,b} = D_{aw,b}$

Dabei bedeuten: β Breitenwinkel

β_{vl} Verbauungskantenwinkel links β_{vr} Verbauungskantenwinkel rechts

y_v Abstand der Verbauung vom Bezugspunkt P auf der Fassade

h_v Höhe der Verbauung oberhalb des Bezugspunktes P (optisch wirksame Höhe)

ε_v Verbauungshöhenwinkel $\varepsilon_v = \arctan \left(\frac{h_v}{y_v} \right)$ (10)

E_g Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien bei bedecktem Himmel

$D_{av,h}$ auf die Verbauung vom Himmel einfallender Tageslichtanteil

$D_{av,b}$ auf die Verbauung vom Boden einfallender Tageslichtanteil

$D_{aw,h}$ auf die Fassade vom Himmel einfallende Tageslichtanteil

$D_{aw,b}$ auf die Fassade vom Boden einfallender Tageslichtanteil

Ω_p auf die Fassade projizierte Raumwinkel

$\Omega_{p,v}$ auf die Verbauung projizierte Raumwinkel

2.2 Klarer Himmel

Die Berechnung der Vertikalbeleuchtungsstärke E_{aw} auf der Fassade bei klarem Himmel wird wie folgt bestimmt:

$$\text{Ohne Verbauung } E_{aw} = E_g \cdot D_{aw} \quad (11)$$

Der direkte Tageslichtanteil D_{aw} auf der Fassade besteht aus folgenden Anteilen: Dem Himmelsanteil $D_{aw,h}$ und dem Bodenanteil $D_{aw,b}$ sowie dem Direktanteil der

$$\text{Sonne } D_{aw,s}, \text{ zusammen: } D_{aw} = (D_{aw,h} + D_{aw,s} + D_{aw,b}) \quad (12)$$

Die Berechnung des Tageslichtanteils $D_{aw,s}$ auf der Fassade durch die Sonne

$$\text{ergibt sich wie folgt: } D_{aw,s} = \frac{\cos(\gamma_F) \cdot \sin(\gamma_s) + \sin(\gamma_F) \cdot \cos(\gamma_s)}{\sin(\gamma_s)} \quad (13)$$

α_{SF} Azimutdifferenz γ_F Neigung der Fläche gegen die Horizontale γ_s Sonnenhöhe

$$\text{Der vom Boden reflektierte Anteil ist: } D_{aw,b} = \frac{\rho_b}{2} \quad (14)$$

Der Himmelsanteil ergibt sich wie folgt:

$$D_{aw,h} = \frac{1}{E_H / L_Z} \cdot \int_{\epsilon=0}^{\frac{\pi}{2}} \int_{\beta_v=-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{L(\epsilon, \eta)}{L_Z} \cdot \cos \epsilon \cdot \sin \epsilon \cdot d\epsilon \cdot d\beta \quad (15)$$

Dabei sind:

E_H Horizontalbeleuchtungsstärke durch den Himmel bei klarem Himmel

$L(\epsilon, \eta)$ Leuchtdichte am Punkt P des klaren Himmels

L_Z Zenitleuchtdichte des klaren Himmels

ϵ_v Winkel zwischen Zenit und Punkt P η Winkel zwischen Sonne und Punkt P

β_v Verbauungsbreitenwinkel A_{wv} auf die Verbauung projizierte Fassadenfläche

E_g Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien bei klarem Himmel

Mit Verbauung

$$E_{aw} = E_g \cdot \left(D_{aw} \cdot \left(1 - \frac{\Omega_p}{\pi} \right) + D_{aw,v} \right) \quad (16)$$

$$D_{aw} = (D_{aw,h} + D_{aw,s} + D_{aw,b}) \quad (17)$$

Wenn der Tageslichtanteil des Bodens $D_{aw,b}$ stark verschattet ist, wird er vernachlässigt. Sonst wird er wie folgt berechnet:

$$D_{aw,b} = \frac{\rho_b}{\pi \cdot \Omega_0} \cdot \int_{\epsilon_2=0}^{\frac{\pi}{2}-\epsilon_v} \int_{\beta=-\frac{\pi}{2}+\beta_v}^{\frac{\pi}{2}-\beta_v} \sin \epsilon_2 \cdot \cos \epsilon_2 \cdot d\epsilon \cdot d\beta \quad (18)$$

Unter der Voraussetzung einer vollkommen diffusen Reflexion und konstanter Leuchtdichte auf der Verbauung wird der Verbauungsanteil wie folgt definiert:

$$D_{aw,v} = D_{aw} \cdot \frac{\Omega_p}{\pi} \cdot \rho_v \quad (19)$$

Der direkte Tageslichtanteil D_{av} auf der Verbauung bei bedecktem Himmel ist

$$\text{folglich definiert: } D_{av} = D_{av}^* \cdot \left(1 - \frac{\Omega_{p,v}}{\pi}\right) \quad (20)$$

Wobei $D_{av}^* = D_{aw}$ ist und $D_{av,b} = D_{aw,b}$

2.3 Mittlerer Himmel

Nach den Überlegungen in 2 wird hier der Tageslichtanteil auf der Fassade analog festgelegt. So läßt sich der Tageslichtanteil $D_{av,m}$ auf der Fassade bei mittlerem Himmel wie folgt berechnen:

$$\text{Für den bedeckten Himmel } D_{av,B} = (D_{av} \cdot (1 - SSW)) \cdot R_H \quad (21)$$

$$\text{für den klaren Himmel } D_{av,K} = \left(D_{av,h} + \frac{\rho_b}{2}\right) \cdot SSW \cdot R_H + \left(D_{av,s} + \frac{\rho_b}{2}\right) \cdot SSW \cdot R_S \quad (22)$$

$$\text{dann ist folglich } D_{av,m} = (D_{av,K} + D_{av,B}) \quad (23)$$

Daraus ergibt sich die Beleuchtungsstärke auf der Fassade bei mittlerem Himmel wie folgt:

$$\text{Ohne Verbauung } E_{aw} = E_g \cdot D_{av,m} \quad (24)$$

$$\text{Mit Verbauung } E_{aw} = E_g \cdot \left(D_{av,m} \cdot \left(1 - \frac{\Omega_p}{\pi}\right) + D_{av,mv} \right) \quad (25)$$

$$\text{mit } D_{av,mv} = \frac{\rho_v}{\pi} \cdot D_{av,m} \cdot \Omega_p \quad (26)$$

$$D_{av,m} = (D_{av,B} + D_{av,K}) \cdot \left(1 - \frac{\Omega_{p,v}}{\pi}\right) = D_{av,m} \cdot \left(1 - \frac{\Omega_{p,v}}{\pi}\right) \quad (27)$$

2.4 Berechnung des Raumwinkels Ω_p

Da die Ermittlung des auf die Fassade projizierten Raumwinkels Ω_p relativ aufwendig ist, soll er hier nicht detaillierter behandelt werden. Daher sollen die nachfolgenden Hinweise berücksichtigt werden, um eine schnelle Berechnung zu erzielen.

Dazu wurde die Ermittlung des allgemeinen Raumwinkels als Funktion des Geometriefaktors g grafisch dargestellt. Diese Berechnung basiert auf folgenden Überlegungen: Es wurde ein Rechenprogramm nach den oben angegebenen Gleichungen für die Festlegung des Raumwinkels und für den Geometriefaktor g erstellt. Nachfolgend wird die Berechnungen für den Geometriefaktor g ermittelt:

$$g = \frac{1}{\tan(\epsilon_v)} \quad \text{mit} \quad \tan(\epsilon_v) = \frac{h_v}{y_v} \cdot \cos(\beta_{vr} - \beta_{vl}) \quad (28)$$

β_{vr} Verbauungskantenwinkel rechts β_{vl} Verbauungskantenwinkel links

h_v Höhe der Verbauung oberhalb des Bezugspunktes P (optisch wirksame Höhe)

ϵ_v Verbauungshöhenwinkel

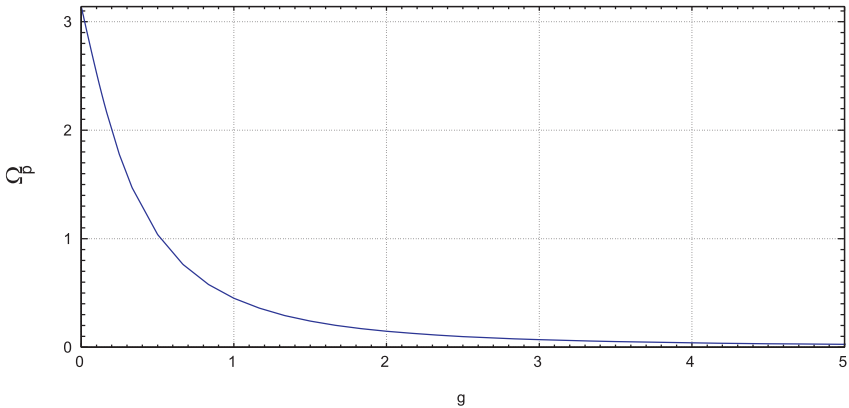


Abb. 2: Raumwinkel als Funktion des Geometriefaktors g

2.5 Alternative Berechnung des Tageslichtquotienten bei bedecktem Himmel
 Analog zum DIN-Verfahren für die Tageslichtberechnung im Innenraum setzt sich im hier beschriebenen Rechenverfahren des Tageslichtquotienten D, welcher im allgemeinen mit Hilfe der Abmessungen der Rohbauöffnung ermittelt wird, aus drei Anteilen zusammen: Dem Himmelslichtanteil D_H durch das direkt auf den Bezugspunkt einfallende Himmelslicht, dem Außenreflexionsanteil D_V des Himmelslichtes an der Verbauung mit direktem Einfall auf den Bezugspunkt und dem Innenreflexionsanteil D_R , der durch Einfach- und Mehrfachreflexionen des einfallenden Lichts an den Raumbegrenzungsflächen auf dem Bezugspunkt P entsteht.

$$D = (D_H + D_V + D_R) \cdot \tau_{65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \text{ in \%} \quad (29)$$

Dabei ist:

τ_{D65} Transmissionsgrad, der durch die Art der Verglasung und eventuellen Beschichtungen bestimmt wird (gilt nur für diffusen Lichteinfall),

k_1 Versprossungsfaktor der Fenster, k_2 Verschmutzungsfaktor,

k_3 Faktor, der die diffuse Einstrahlung des bedeckten Himmels berücksichtigt.

Der Tageslichtquotient D in einem beliebigen Bezugspunkt setzt sich aus den o. g. Anteilen in folgender Weise zusammen:

Himmelslichtanteil D_H :

Nach der Belegung verschiedener Beispielrechnungen wurde festgestellt, daß der Tageslichtquotient D_H für den Himmelsanteil in erster Näherung exponentiell mit zunehmendem Abstand des Aufpunktes von der Fensterwand abfällt. Nach diesem Sachverhalt wurde eine empirische Formel entwickelt, die als Funktion von der Lage des Aufpunktes im Innenraum und der Größe des Fensters sowie vom Einfluß der Verbauung abhängt. Diese Formel wird wie folgt dargestellt:

$$D_H = \beta_H \cdot \exp(d_H - g_H) \quad (30)$$

Dabei ist $\beta_H = \beta_{Fr} + \beta_{Fl}$ (31)

Mit der Kenntnis des Tageslichtanteils D_{aw} bei bedecktem Himmel auf der Fassade ohne Verbauung lässt sich der Maxfaktor d_H nach folgender Gleichung

$$\text{bestimmen: } d_H = \ln\left(\frac{D_{aw}}{\pi} \cdot 100\right) \quad (32)$$

$$\text{Dabei ist } D_{aw} = \left(0,396 + \frac{P_b}{2}\right) \quad (34)$$

Da der Fensterbreitenwinkel β_H im Innenraum maximal π sein kann, wurde er bei der Festlegung des Maxfaktors durch π geteilt.

Der Geometriefaktor g_H wird wie folgt ermittelt:

$$g_H = \frac{1}{\tan(\varepsilon_F - \varepsilon_V)} = \cot(\varepsilon_F - \varepsilon_V) \quad (35)$$

Dabei sind

β_H Fensterbreitenwinkel β_{Fr} Fensterbreitenwinkel rechts ([4] [5])
 β_{Fl} Fensterbreitenwinkel links ([4][5]) ε_F Fensterhöhenwinkel ([4][5])
 ε_V Verbauungshöhenwinkel ([4][5])

Die Grundidee für die Berechnung der Komponenten des Tageslichtquotienten für den Außenreflexionsanteil D_V und den Innenreflexionsanteil D_R ist die Bestimmung der Projektion des Raumwinkels auf den Bezugspunkt im Innenraum im Verhältnis zur gesehenen Fläche (ein Viertel der Kugeloberfläche ist gleich π) ohne Verbauung. Ob die Verbauung parallel, senkrecht oder schräg zur Fassadenfläche ist, spielt hier keine Rolle. Anschließend wird das Verhältnis $\frac{\Omega_p}{\pi}$ mit dem Tageslichtanteil D_{aw} bzw. der Beleuchtungsstärke E_{aw} auf der Fassade multipliziert.

$$\text{Außenreflexionsanteil } D_V: D_V = \frac{D_{aw} \cdot P_v \cdot \Omega_p}{\pi} \text{ in \%} \quad (36)$$

Ω_p auf die Fassade projizierte Raumwinkel,

Innenreflexionsanteil D_R : kann nach [5] bestimmt werden.

Die beiden Flächen A_{FP} und A_{VP} können wie in Kapitel 2.4 berechnet werden. Nach der Berechnung des Tageslichtquotienten D auf einem beliebigen Raumpunkt kann die Innenraumbeleuchtungsstärke in diesem Punkt bei der Kenntnis der Globalbeleuchtungsstärke E_a im Freien bei bedecktem Himmel bestimmt werden.

2.6 Vereinfachte Berechnung der jährlichen relativen Nutzbelichtung
 Entsprechend den Algorithmen des Handbuchs für Beleuchtung [5], DIN 5034, Teil 3 [4] und in Anlehnung an [1,2,3,8] wurde ein Rechenprogramm zur Ermittlung der jährlichen relativen Nutzbelichtung erarbeitet. Bei der Berechnung wird der jeweilige Tag in der Mitte eines jeden Monats in Stundenschritten für einen bestimmten Standort berücksichtigt. Die Berechnung basiert auf dem Modell des mittleren Himmels unter Berücksichtigung der mittleren Sonnenscheindauer, wobei drei Zeitanteile getrennt betrachtet werden (siehe [4][5]):

In dieser Arbeit wird nicht wie in DIN 5034 Teil 3 von der Beleuchtungsstärke in Innenraum bei mittlerem Himmel ausgegangen, um die jährliche relative Nutzbelichtung zu bestimmen, sondern der Tageslichtquotient D_m wird bei mittlerem Himmel berechnet. Dieser Tageslichtquotient D_m wird analog zur Beleuchtungsstärke $E_{p,m}$, wie im vorherigen Abschnitt festgelegt wurde, berechnet. Der Fall, wenn eine Fassade ohne Sonnenschutz direkt besonnt ist, wird bei der Bestimmung des Tageslichtquotienten D_m nicht berücksichtigt. Die anderen Fälle werden wie folgt ermittelt:

- Der Anteil $\Delta T \cdot SSW$ (sofern die Fassade direkt besonnt werden kann mit Sonnenschutz)

$$D_m = (D_{m,d} + D_{m,R}) \cdot \tau_{D65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \tau_{J,D65} \quad (37)$$

$$\text{Direkter Anteil } D_{m,d}: \quad D_{m,d} = D_{aw} \cdot D_j \quad (38)$$

$$\text{mit } D_j = (\beta_{Fr} + \beta_{Fl}) \cdot e^{(2,77 - g_F)} \quad (40)$$

wobei D_j der Jalousiefaktor ist, der analog zur Gleichung 30 zustande kommt.

Innenreflexionsanteil D_{mR} : kann nach [5] bestimmt werden.

Der Anteil $\Delta T \cdot SSW$ (sofern die Fassade nicht direkt besonnt werden kann ohne Sonnenschutz)

$$D_m = (D_{mH} + D_{mV} + D_{mR}) \cdot \tau_{65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \quad \text{in \%} \quad (41)$$

- Der Anteil $\Delta T \cdot (1 - SSW)$ die Sonne scheint nicht

$$D_m = [D \cdot (1 - SSW) + D_K \cdot SSW] \cdot \frac{R_H}{100} \quad (42)$$

Dabei ist

R_H Korrekturfaktor nach [2] für den teilweise bedeckten Himmel,
SSW siehe DIN 5034, Teil 2

D Tageslichtquotient im Innenraum bei bedecktem Himmel, er wird nach Abschnitt 2.5 berechnet,

D_K Tageslichtquotient im Innenraum bei klarem Himmel, er wird wie folgt berechnet:

$$D_K = (D_{KH} + D_{KV} + D_{KR}) \cdot \tau_{D65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \quad (43)$$

Himmelslichtanteil D_{KH} :

Analog zur Gleichung 21 wird hier der Tageslichtquotient für den Himmelslicht-

anteil D_{KH} wie folgt ermittelt: $D_{KH} = \beta_H \cdot \exp(d_{KH} - g_H)$ (44)

Mit der Kenntnis des Tageslichtanteils D_{aw} auf der Fassade bei klarem Himmel, in der der Anteil $D_{aw,s}$ null ist, läßt sich der Maxfaktor d_{KH} nach folgender Gleichung bestimmen:

$$d_{KH} = \ln\left(\frac{D_{aw}}{\pi} \cdot 100\right) \quad (45)$$

Außenreflexionsanteil D_{KV} $D_{mV} = \frac{D_{av} \cdot \rho_v}{\pi} \cdot A_{VP}$ in % (46)

Innenreflexionsanteil D_{KR} : kann nach [5] bestimmt werden.

In Bild 4 wird die jährliche relative Nutzbelichtung als Funktion der Nennbeleuchtungsstärke E_n und des Geometriefaktors g_{rel} in einem Diagramm dargestellt. Der Geometriefaktor g_{rel} wurde aus dem Bild 3 mit der Kenntnis des Tageslichtquotienten bei mittlerem Himmel entnommen.

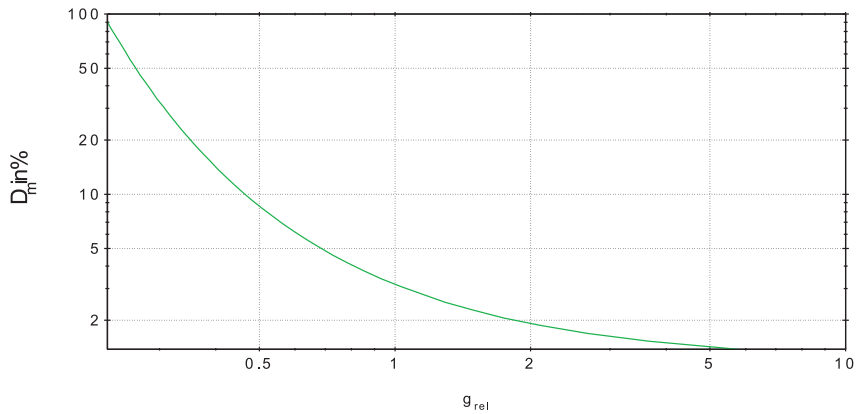


Abb. 3: Tageslichtquotient D_m bei mittlerem Himmel als Funktion des Geometriefaktors g_{rel}

Anschließend wurde die jährliche relative Nutzbelichtung als Funktion von g_{rel} in einem Diagramm dargestellt.

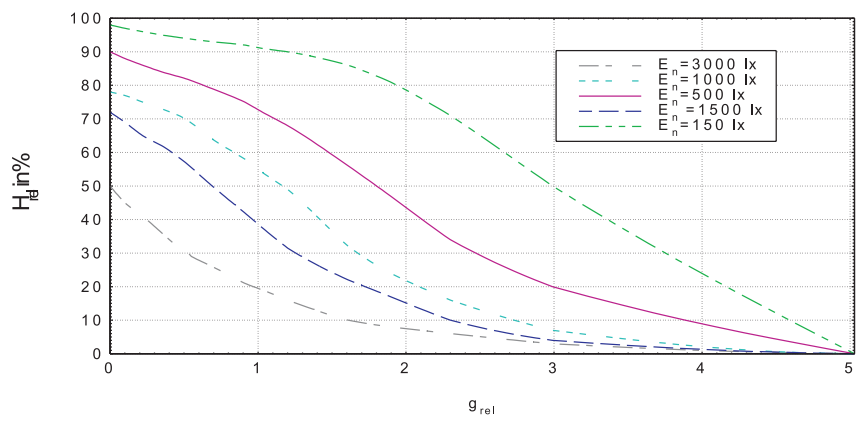


Bild 4: Die jährliche relative Nutzbelichtung als Funktion von g_{rel}

Literatur

- [1] Aydinli, S.: Energie- und Kosteneinsparung durch tageslichtabhängige Steuerung der künstlichen Beleuchtung von Arbeitsstätten, IV LUX-EUROPA, Granada, 5-7, Mai 1981
- [2] Aydinli, S.: Über die Berechnung der zur Verfügung stehenden Solarenergie und der Tageslichtes. Fortschrittsberichte der VDI-Zeitschriften, Reihe 6, Nummer 76, 1981
- [3] Aydinli, S., Krochmann, J., Seidl, M.: Possibilities for energy saving for electrical light by daylighting of interiors in consideration of the visual task. Proceedings, European Conference on Architecture. Commission of the European Communities. Munich, Germany, 6.-10. April 1987
- [4] DIN 5034, Teil 3: Tageslicht in Innenräumen. Berechnung, Beuth Verlag, Berlin (1994).
- [5] Handbuch für Beleuchtung 5. Auflage 1992
- [6] Hawwary, J.: Praxisnahes Planungsverfahren für die Tagesbeleuchtung von Innenräumen, Tagungsband S. 208-215, LICHT 98, Bregenz,
- [7] Heusler, W.: Experimentelle Untersuchung des Tageslichtangebotes und dessen Auswirkung auf die Innenraumbelichtung, Dissertationsschrift, TU-Berlin, 1991
- [8] Hunt, D.R.G.: Crisp, V. H.C.: Lighting controls, their current use and possible improvement, International Journal of Energy Research 2, 1978, H. 4, S. 343-374

Energie-Management in der Beleuchtung

Ökonomie durch Ökologie

Thomas Bänziger

Zusammenfassung

In einem kommerziellen Gebäude werden bis ca. 30 % der elektrischen Energie im Licht verbraucht. 25-50 % dieser Energie kann mit einer geeigneten Beleuchtungssteuerung eingespart werden. Energie-Management in der Beleuchtung hat darum in den letzten Jahren enorm an Bedeutung gewonnen. Es geht dabei um die effiziente Nutzung von elektrischer Energie in der Innen- und Außenbeleuchtung. Trotz der heute sehr effizienten Leuchten und Leuchtmittel gibt es ein sehr hohes Potential an Energieeinsparungen, welche mit einer geeigneten Steuerung genutzt werden können. Nicht nur das „Ernten“ von Tageslicht, sondern auch die Kompensation des Planungsfaktors, die Kompensation von Überplanung, aber auch das Absenken der Beleuchtungsstärke zum richtigen Zeitpunkt, kann bis zu 50 % Energie einsparen. Es gibt viele verschiedene Systeme. Diese reichen von einfachen Schaltuhren bis hin zu tageslichtabhängigen Steuerungen, oder Präsenzmeldern welche die Räume überwachen und das Licht entsprechend schalten, oder verkehrs- und wetterabhängige Lichtsteuerungen in der Beleuchtung von Hochleistungsstrassen, welche je nach Verkehrsdichte und Umweltbedingungen die Leuchtdichte anpassen. Dieser Beitrag befasst sich v.a. mit der „stufenlosen“ Technologie, welche bei Lichtsteuerungen im Bereiche „Energie-Management“ angewendet werden. Dessen Vor- und Nachteile werden aufgezeigt. Amortisationszeit-Berechnungen und Finanzierungsmodelle werden dargestellt und erläutert. Modelle werden erklärt, wie man die potentiellen Energieeinsparungen in der Projektphase vorausberechnen kann und auf was bei der Planung der Beleuchtung zu achten ist, um möglichst viel Energie mit einer Lichtsteuerung einzusparen. Auch das Nachrüsten von Lichtsteuerungen wird diskutiert und evaluiert. Beispiele von Zusammenarbeiten zwischen Herstellern von solchen Systemen und Energieversorgungsunternehmen werden erwähnt. Die Unterstützung für das Dimmen von Entladungslampen der Leuchtmittelhersteller selber wird erwähnt.

1. Einleitung

1.1 Anforderungen

Ein Energie-Management-System im Bereich Licht soll:

- einfach und bedienerfreundlich sein,
- keine anderen Systeme stören oder beeinflussen (EMV),
- mit Standard-Installationstechnik und Standard-Beleuchtungskomponenten auskommen,
- von den Personen, welche sich in der beleuchteten Umgebung aufhalten oder arbeiten, nicht oder fast nicht wahrgenommen werden,

Dipl. Ing. HTL/STV Thomas Bänziger
Merloni Progetti s.p.a,
247 Viale Certosa,
IT-20151 Milano

- mindestens 20% Energie einsparen,
- je nach Anwendung eine Amortisationszeit von 2 bis 4 Jahren haben,
- zuverlässig und störungsfrei funktionieren,
- unterhaltsfreundlich sein.

1.1.1 Funktion

Die funktionellen Anforderungen an eine Lichtsteuerung im Bereich Energie-Management können einfach bis komplex sein. Ein Sprichwort von Albert Einstein sagt: „Alles soll so einfach wie möglich gemacht werden, aber nicht einfacher!“ Ein gutes System folgt diesem Sprichwort, läßt Ihnen aber die Wahl, das System „Lichtsteuerung“, mit übergeordneten Systemen wie zum Beispiel PLC (Programmable Logic Controller), BAS (Building Automation System) oder gar einem Bussystem, wie zum Beispiel EIB oder LON, zu integrieren. Schon mit zwei Komponenten, dies sind ein Steller und eine intelligente Fozelle, kann ein Energie-Management System aufgebaut werden. Für eine größere Fabrikhalle zum Beispiel sind lediglich drei verschiedene Komponenten zusätzlich zur Standard-Beleuchtung notwendig:

1. ein Steller pro einphasige Gruppe, zwischen Schalter (Schütze) und der ersten Leuchte dazwischen geschaltet ...
2. ein zentrales Steuergerät (Central Control Unit CCU) für die Fozelle, mit Zweidrahtleitung an alle Steller angeschlossen ...
3. eine Fozelle, im Zentrum der Halle an der Decke montiert und mit einer Zweidrahtleitung (nicht abgeschirmt) an das CCU angeschlossen ...

...und schon ist eine Beleuchtungssteuerung voll funktionstüchtig! Eine erfolgreiche Beleuchtungssteuerung sollte keine, vom „normalen“ Anwender, beeinflussbaren Teile haben. So sollte der Anwender in unserem Beispiel oben keinen Einfluß auf die Beleuchtungssteuerung haben. Falls das Licht in diesem Fall manuell geschaltet wird, belassen wir die Ein-Aus-Funktion so wie sie ist. Die gewünschte Beleuchtungsstärke wird bei der Inbetriebsetzung einjustiert und kann vom Unterhaltspersonal zu jedem späteren Zeitpunkt verstellt werden. Es sind natürlich, je nach Anwendung, nahezu unendlich viele Funktionen integrierbar. Präsenzmelder (PIR) und Schaltuhr sind nur zwei davon.

1.1.2 Wahrnehmung

Es ist äußerst wichtig, daß der Benutzer der beleuchteten Umgebung die Steuerung nicht oder fast nicht wahrnimmt. Die Erfahrung hat gezeigt, daß zum Beispiel Lichtfühler, die eine ganze Beleuchtung oder Teile davon ausschalten, nur in ganz wenigen Ausnahmen akzeptiert werden. Meistens enden solche Installationen mit abgedeckten Lichtfühlern! Auch das schnelle Verändern der Beleuchtungsstärke ist schlecht, führt gegebenenfalls zu Sehbeschwerden oder gibt Anlaß zu Reklamationen. In einer Innenraumbeleuchtung ist es erfahrungsgemäß nicht empfehlenswert, das Kunstlicht unter die 40 % Grenze abzusenken, weil sie ab diesem Grenzwert subjektiv deutlich wahrnehmbar wird.

1.1.3 Energieeinsparung, Amortisation

Ein Energie-Management System soll natürlich Energie sparen. Mit einem guten System können zwischen 30% und 50% Energie eingespart werden! Die Zeiten

als man sagte: „Man spare, koste es was es wolle!“ sind definitiv vorbei. Jede Investition, darunter fällt auch ein Energie-Management System im Licht, muß sich nachweisbar, innerhalb nützlicher Frist amortisieren. Man spricht auch vom ROI (Return of Investment). Je nach Projekt und Bauherr kann diese ROI Vorgabe zwischen 2 und 5 Jahren betragen. Der ROI ist von vielen Parametern abhängig und kann deshalb nur projektbezogen errechnet werden (s. Kap. 3).

1.1.4 Zuverlässigkeit

Da die Beleuchtung etwas sehr „Sichtbares“ ist, ist die zuverlässige Funktion einer Beleuchtungssteuerung von hoher Wichtigkeit. Das kleinste Problem kann binnen Sekunden zum Großproblem heranwachsen. Einige Hersteller haben dies erkannt und Sicherheitskonzepte entwickelt, die zum Beispiel bei einem Ausfall der Steuerung das Licht auf Maximum bringen.

1.1.5 Unterhalt und Service

Präventive Unterhaltsarbeiten wie die jährliche Überprüfung der Funktionen, sind wichtig.

1.2 Anwendungen

1.2.1 Ladengeschäft (Retail, Markt)

Sogar ein kleiner Verkaufsladen mit etwa 500 m² ist ein ideales Beispiel, wie eine Lichtsteuerung angewendet werden kann. Es werden hier Amortisationszeiten von 2-3 Jahren erreicht. Verkaufsläden werden meistens mit Leuchtstofflampen beleuchtet und besitzen meist keinen Tageslichtanteil. Die Zielbeleuchtungsstärke liegt zwischen 550 und 750 Lux, der Planungsfaktor etwa 0.7. Durch gebäudebedingte Einschränkungen, aber auch durch Einschränkungen wegen der Ladeneinrichtung und wegen der geforderten hohen Beleuchtungsgleichmäßigkeit wird die Zielbeleuchtungsstärke meist massiv übertroffen. Es ist keine Seltenheit, daß mit „ausgebrannten“ Lampen immer noch 1000 Lux erreicht werden! Der Planungsfaktor, die Überplanung und die notwendigen geringeren Beleuchtungswerte während der Auffüll- und Reinigungsarbeiten führen dazu, daß normalerweise 30-45 % Energie eingespart werden kann (ohne Berücksichtigung der Einsparungen bei der Klimaanlage). In einem kleinen Laden existiert meist nur eine Zone, in einem großen Laden sind jedoch mehrere Zonen vorhanden, z.B. Food, Non Food, Kasse. Jede Zone hat ein Fotozellensteuergerät und eine Fozelle. Außerhalb der Ladenöffnungszeiten wird die Beleuchtung mit einer Schaltuhr auf 50% gefahren. Diese Beleuchtungsstärke reicht normalerweise für Reinigungs- und Auffüllarbeiten aus.

1.2.2 Fabrik / Lagerhalle

Auch in kleinen Fabriken mit etwa 500 m² kann eine Lichtsteuerung vorteilhaft angewendet werden. Es werden Amortisationszeiten von 2-3 Jahren erreicht. Fabriken sind mit Leuchtstofflampen oder Hochdruck-Entladungslampen beleuchtet und sind vielfach mit Tageslicht versehen. Die Zielbeleuchtungsstärke ist je nach Anwendung zwischen 100 und 1000 Lux, der Planungsfaktor zwischen 0.5 und 0.8. Der Planungsfaktor, das Tageslicht und die geringeren Beleuchtungswerte in den Randzeiten oder Zonen, die nicht besetzt sind, führen dazu, daß normalerweise 30-50 % Energie eingespart werden kann. Je nach Anwendung können in einer Fabrik eine oder mehrere Zonen definiert werden. Jede Zone be-

sitzt ein Fozellensteuerg r t und eine Fozozelle. Außerhalb der Arbeitszeiten wird die Beleuchtung mit einer Schaltuhr (oder einer zentralen Steuerung, falls vorhanden) auf z.B. 50 % gefahren. Zusätzlich können Raumzonen, welche nicht stark frequentiert sind, z.B. Gänge in einem Hochregallager, mit Präsenzmeldern (PIR's) ausgerüstet werden. Solche Zonen werden während Zeiten, in denen sich niemand in der entsprechenden Zone aufhält, auf „stand-by“ (z.B. 50 %) gefahren. Es wird so vermieden, die Beleuchtung unnötig vielen Schaltzyklen auszusetzen, Aufw rmphasen von Hochdrucklampen wirken sich nicht mehr störend auf die Benutzer aus.

1.2.3  ffentliche Beleuchtung

Ein enormes Potential liegt auch in der öffentlichen Beleuchtung. Vom Abschalten jeder zweiten Leuchte wird abgeraten /4/. Bleibt noch das Dimmen. Dies kann u.a. auch mit einer zentralen Anlage (Blockregler) in der Verteilung erreicht werden. Die Leuchtdichte wird so der Verkehrsfrequenz angepaßt. Dies geschieht am einfachsten mit einer Schaltur, welche die Leuchtdichte von 100 % in z.B. zwei Stufen auf 40 % reduziert. Im reduzierten Zustand können so fast 50 % Energie eingespart werden. Im Projekt DYNO „Autobahn A12“ in den Niederlanden ist man noch einen Schritt weiter gegangen /4/. Zusätzlich zu den Verkehrsinformationen werden „online“ die Wetterbedingungen gemessen. Anhand dieser Informationen wird die Leuchtdichte auf dem 15 km langen Autobahnteilst ck auf 2.0, 1.0, 0.5 oder 0.2 cd/m² gesteuert ohne auch nur eine Lampe abzuschalten. Nicht nur Energie stand im Vordergrund. Ebenso wichtig waren Sicherheit und Verkehrskapazität.

1.2.4 Tunnel-Beleuchtung

Investitionseinsparungen durch die Reduktion der Anzahl Lichtpunkte, Energieeinsparungen /5/ und Unterhaltskosten-Einsparungen sind die Folge der Anwendung einer stufenlosen Steuerung / Regelung in einem Tunnel.

1.3 Woher kommen die Energieeinsparungen?

In einem Projekt müssen die Energieeinsparungen im voraus berechenbar sein. In diesem Kapitel wird auf die verschiedenen Bereiche näher eingegangen. Die einzelnen Einsparungen sind nur teilweise kumulierbar. Einsparungen von über 50% sind eher die Seltenheit.

1.3.1 Energieeinsparungen durch Tageslicht

So schwierig es auch ist, im voraus zu sagen, wieviel Tageslicht zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft, an einem bestimmten Ort sein wird, so einfach ist es, zu wissen, wieviel Tageslicht im nächsten Jahr im Durchschnitt auf den Bodensee fallen wird. Die Tageslichtwerte sind sehr dynamisch, aber im Jahresmittel sehr stabil. Falls die Tageslichtkoeffizienten von einem Raum bekannt sind, können die Einsparungen sehr genau im voraus berechnet werden. Wichtig für hohe Tageslichteinsparungen ist die gleichm tzigige „Durchflutung“. So zum Beispiel kann in einer Fabrik mit guten Schedoberlichtern während der Tagesstunden mit 30-50 % Energieeinsparungen gerechnet werden. Wegen der nur teilweisen, einseitigen Ausleuchtung eines Büroraumes sind dies hier je nach Gegebenheit im Schnitt zwischen 10 und 40% der gesamten Beleuchtung.

1.3.2 Energieeinsparungen durch operationelle Maßnahmen

Unter operationellen Maßnahmen versteht man:

- Absenkung in Randzeiten (Reinigung)
- Absenkung in verkehrsarmen Zeiten
- Absenkung in unbenützten Zeiten

Durch diese Maßnahmen können je nach Anwendung und Ausnützung zwischen 30 und 50 % Energie eingespart werden. Es sind dazu natürlich die entsprechenden zusätzlichen Steuer- und/oder Detektiergeräte notwendig.

1.3.3 Energieeinsparungen durch die Kompensation des Planungsfaktors

Dieser Teil der Einsparungen ist der am einfachsten im voraus berechenbare Teil. Der Planungsfaktor einer Beleuchtung ist gegeben. Bei einem Planungsfaktor von 0.7 haben wir am „ersten Tag“, (im Leben einer Lampe) rund 43 % zuviel Licht. Dies wird nun von einer Fozozelle erfaßt und das Licht wird auf 70 % herunter geregelt. Das heißt nun, daß je nach Lampentyp zwischen 18 und 38 % Energie eingespart werden. Am „letzten Tag“ sind diese Einsparungen auf null abgesunken. Im Durchschnitt aber werden zwischen 9% und 19% an Energie eingespart. In Umgebungen mit höherem Verschmutzungsgrad und entsprechend höherem Planungsfaktor sind dies entsprechend mehr. Die Unterhalts- und Reinigungsarbeiten an einer Beleuchtung müssen natürlich den Gegebenheiten angepaßt durchgeführt werden, um die Einsparungen zu erreichen. Diese Einsparungen werden nur von Systemen erfaßt, welche einen geschlossenen Regelkreis haben. Viele marktübliche Systeme haben dies jedoch nicht.

1.3.4 Energieeinsparungen durch die Kompensation von Überplanung

Auch dieser Teil ist, sofern die Parameter einer Beleuchtung bekannt sind, im voraus genau berechenbar. Je nach Installation sind so zwischen 0% und 50% Einsparungen erzielbar.

1.4 Steuer- und Regelmöglichkeiten

1.4.1 Einzel-System

Ein System läßt sich ohne viele weitere Komponenten „energiesparfähig“ gestalten. Zur Verfügung stehen eine Reihe von Steuer- und Regelgeräten wie z.B.:

- Steuergerät Fozozelle und Fozozelle
- Intelligente Fozozelle
- 4-Stufen Steuergerät mit Schaltuhr

1.4.2 Integration mit SPS (BMS, Building Management System) oder Bus

Es ist wichtig, daß ein System mit handelsüblichen Komponenten integrierbar ist. So sollte es möglich sein, ein System via PLC, BMS oder einem BUS, wie z.B. EBI oder LON, anzusteuern. Der Integration sind dann theoretisch keine Grenzen gesetzt. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, daß man trotz „Mega-Chip-Zeitalter“ die Füße auf dem Boden haben sollte. (siehe Kapitel 1.1.1)

1.4.3 Bewegungsmelder / Präsenzmelder (PIR)

Es gibt eine große Anzahl von Bewegungsmeldern auf dem Markt. Wichtig ist deren Qualität, denn viele Billigprodukte erweisen sich im nachhinein als sehr teuer. Bewegungsmelder können über ein 4-Stufen Steuergerät oder als Option

direkt am Steller angeschlossen werden. Es ist darauf zu achten, daß die nötigen Zeitverzögerungen im PIR untergebracht sind, denn es darf nicht vorkommen, daß das Licht zehnmal in der Stunde hinauf und herunter gesteuert wird.

1.4.4 Reinigungsarbeiten, reduzierte Grundbeleuchtung

Im Kapitel 1.2 sind einige Beispiele beschrieben. Im Prinzip wird mit einer Schaltuhr oder einem zentralen System entschieden, wann die Beleuchtung reduziert werden darf. Die Ansteuerung der Steller erfolgt über ein 4-Stufen Steuergerät, das Licht wird auf den gewünschten Wert langsam (fast unsichtbar) abgesenkt. In komplexeren Anlagen, z.B. Bürogebäuden, kann ein solches Signal durch die „Bewohner“ rückgestellt werden. Reset-Taster können installiert werden und z.B. die Absenkung bei Betätigung der Taste für eine Stunde aufheben. Solche Maßnahmen sind aber nur mit einer zentralen Steuerung (BMS) machbar.

1.5 Staatliche Subventionen

In vielen Gebieten und Ländern werden Energiesparmaßnahmen staatlich gefördert. Dies kann eine Unterstützung in Form von Vergünstigungen wie zum Beispiel Sonderabschreibungen oder in Form von Bargeld sein. Es lohnt sich, sich detaillierte Kenntnisse über solche Unterstützungsprogramme anzuschaffen. Ein guter Ratgeber hierbei ist die „Förderfibel Energie“ /1/ vom Fachinformationszentrum Karlsruhe. Solche Zuschüsse sind interessant, weil diese die Investitionskosten vermindern und dadurch die Amortisationszeit verkürzt wird. In der Schweiz gibt es das Programm „ENERGIE 2000“.

1.6 Finanzierung / Leasing von Energiespar-Anlagen

Leasing ist heute eine weit verbreitete Methode, Investitionen zu finanzieren. Der Vorteil liegt darin, daß die eigenen Mittel für andere Zwecke zur Verfügung stehen, die Leasingkosten über eine gewisse Zeit konstant anfallen und somit einen ausgeglichenen „Cashflow“ unterstützen. Unter dem Motto „LEASING, DENN DER NUTZEN ZÄHLT MEHR ALS DAS EIGENTUM“ haben verschiedene Firmen die Zusammenarbeit mit Leasingfirmen gesucht, welche die Finanzierung von Investitionsgütern übernehmen. Genau darunter fallen natürlich auch Energiesparanlagen. Der Unterschied zu vielen anderen Investitionsgütern liegt bei einer Energiesparanlage darin, daß keine zusätzlichen Mittel für das Leasing budgetiert werden müssen, denn die Leasingraten werden durch die Einsparungen finanziert! Konkret heißt das, daß eine solche Anlage installiert werden kann, nichts dafür bezahlt werden muß und die Leasingraten über die Energieeinsparungen über etwas länger als die Dauer der Amortisationszeit finanziert werden. Nach Ablauf dieser Zeit geht die ganze Anlage für einen symbolischen Restbetrag in Ihren Besitz über. Auch die Kosten der Installation werden so finanziert. „Pay as you earn“ wird dieses System in der englischen Sprache genannt. Zu gut Deutsch heißt das, man bezahlt (die Leasingraten) mit dem Geld, das man (durch die Einsparungen) verdient! Viele Leasingfirmen, aber auch einige innovative Energieversorger haben sich auf diesem Gebiet etabliert.

2. Technologien zur Steuerung von Gasentladungslampen

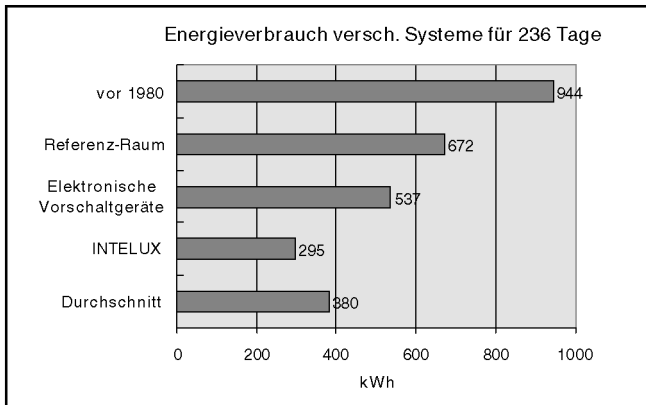
2.1 Geschichtliches

Seit den 60-er Jahren gibt es Dimmgeräte für Leuchtstofflampen /6/. Das Dimmen von Leuchtstofflampen war in der Vergangenheit mit einigem Aufwand verbun-

den, mußten doch zusätzliche Komponenten, wie z.B. Heiztransformatoren, Dimmvorschaltgeräte oder elektronische Zusatzgeräte in die Leuchte eingebaut werden. Dies führte zu zusätzlichen Kosten und meist auch zu zusätzlicher Leistungsaufnahme. Zudem mußte die Verdrahtung erweitert werden. Es war notwendig, entweder eine zusätzliche, nicht geregelte Phase auf jede Leuchte zu verdrahten, oder Steuerleitungen an jede Leuchte anzuschließen. Sämtliche früheren Methoden führten zu einer markant schlechteren Lichtausbeute im gedimmten Zustand im Vergleich zum 100% Betrieb. Je weiter man hinunter regelt, desto schlechter fällt die Lichtausbeute (lm/W) aus. Aus diesem Grunde waren (und sind) diese Systeme nicht für ein Energie-Management geeignet. Das Dimmen von Hochdruck-Entladungslampen war bis in die frühen 80er Jahre schlichthin nicht bekannt. Dann wurden die ersten Systeme auf den Markt gebracht. Eine amerikanische, eine finnische und eine schweizer Firma waren Vorreiter auf diesem Gebiet. Nach Angaben der Lampenindustrie war zu dieser Zeit das Dimmen von Natriumhochdruck-Lampen nicht möglich. Die Leuchtmittelhersteller taten sich aus verschiedenen Gründen schwer mit den neuen Technologien, und erst Ende der 80-er Jahre wurde von einigen Leuchtmittelherstellern das Dimmen einiger Hochdrucklampen-Typen offiziell „zugelassen“. Heute sind wir ein gutes Stück weiter. Nah, HQL und einige Halogenmetallampfen sind nach Herstellerangaben offiziell dimmbar /7/, /8/. So wird zum Beispiel das Dimmen von praktisch sämtlichen Hochdruckentladungslampen unter eigens dafür herausgegebenen Spezifikationen von zwei namhaften internationalen Leuchtmittelherstellern unterstützt /9/, /10/. Solche Tendenzen sind durchaus begrüßenswert und wichtig für das Vorantreiben von Dimmgerätektechnologie, um dem immer stärker werdenden Bedarf von Dimmanlagen in der Zukunft gerecht werden zu können.

2.2 Elektronische Vorschaltgeräte (EVG)

Die elektronischen Vorschaltgeräte sind nun schon einige Jahre auf dem Markt. In technischer Hinsicht haben sie sich, gegenüber ihren Vorgängern der ersten Generation, markant verbessert. Wo die klaren Vorteile des EVG's genutzt werden, ist das EVG heute eine gute Investition. Das gute Startverhalten, der flackerfreie Betrieb, die gute Lampenlebensdauer und der etwas niedrigere Energiebedarf gegenüber den VVG's sind die Vorteile von EVG's /2/. Leider aber können die Vorteile vielfach nicht oder nur teilweise genutzt werden. So zum Beispiel ist das Startverhalten in vielen großflächigen Installationen wie zum Beispiel einem Verkaufsladen oder einer Fabrik nicht von Bedeutung, weil das Licht nur einmal am Tag eingeschaltet wird und zu diesem Zeitpunkt sich praktisch niemand im Raum befindet. Möchte man Energie sparen, sind die EVG's nur unter optimalen Umständen eine „gute“ Investition. Die Amortisationszeit eines nicht regelbaren EVG's liegt meist weit über 3 Jahren, ja vielfach sogar über 5 Jahren im Vergleich zu VVG's. Mit den dynamischen (regelbaren) EVG's sieht dies nicht besser aus. Bei der Berechnung des ROI von einem EVG ist es wichtig, die korrekten Grundlagen zur Berechnung zu nehmen. Da das KVG (konventionelles -verlustreiches- Vorschaltgerät) meist nicht die Alternative zum EVG ist, muß man in einem solchen Vergleich die technischen Daten vom VVG (verlustarmes konventionelles Vorschaltgerät) nehmen. Auch mit zu berücksichtigen ist der meist geringere Lichtstrom einer Lampe, wenn mit EVG betrieben /2/. Energiepreise und Brenndauer pro Jahr müssen auch korrekt eingesetzt werden. Beim dynamischen EVG verschlechtert sich der Systemwirkungsgrad mit abnehmendem Lichtstrom derart, daß das „gute alte“ VVG in Ver-



Grafik 1: Testresultate KEMA Studie /3/

legt. Die Resultate der Studie finden Sie in der Grafik in diesem Abschnitt. Der Energiebedarf für 236 Betriebstage verschiedener Systeme wird dargestellt.

2.3 Die Technologie von elektronischen Stellern

Die Technologie von elektronischen Stellern zur Steuerung von induktiven Gasentladungslampen basiert auf einer modifizierten Phasenanschnittsteuerung, welche eigens zu diesem Zweck entwickelt wurde. Die Technologie heißt „NCWI“, das steht für „Non Critical Waveform Intersection“. Das Wichtige dabei ist, daß der Lampe ein minimaler Strom in jeder Halbwelle garantiert wird. Dazu kommt, daß die Lampe in jeder Halbwelle mit dem Scheitelwert der Spannung (nominal 325V) versorgt wird, sozusagen eine „Phasenausschnittsteuerung“. Der Steller basiert also auf 50 Hz. Es wird daher keine Hochfrequenz (30kHz oder höher) auf die Lampe gegeben. Die erzeugten Oberwellen werden so gut wie möglich gefiltert. Radiostörschutzfilter stellen sicher, daß die neuesten Normen (EMV, CE-Konformität) eingehalten werden. Die Ansteuerung eines jeden Stellern ist galvanisch vom Netz getrennt. Das heißt, man kann den Steller direkt ab einem PC oder dergleichen ansteuern. Die Ansteuerung ist so ausgelegt, daß bei einem Ausfall der Ansteuerung, aber auch bei einem Leitungsbruch in der Ansteuerung oder bei einer Fozzelle, die Steller mit 100% angesteuert werden. Viele der Steuermodule und Optionen werden unter Verwendung neuester Technologien, wie z.B. SMD (Surface Mount Device) hergestellt. Praktisch alle kritischen Komponenten werden in einem 2-Komponenten-Harz eingegossen. Dies bringt wesentliche Vorteile mit sich. Die Komponenten sind so vor Feuchtigkeit, Schmutz, Staub und auch Sauerstoff geschützt. Dies ist sicher mit ein Grund für die hohe Lebenserwartung der Steller. Bezüglich Reparaturen ist das Vergießen ein Nachteil. Dieser hat sich aber wegen der geringen Ausfallquote als minimal erwiesen. Der schwächste Komponent im System ist der Triac / Thyristor und dieser kann ohne Probleme sogar von einem Elektriker ausgewechselt werden. Mit dieser Technologie ist es nun möglich, praktisch sämtliche Gasentladungslampen (Hochdruck und Niederdruck) zu regulieren. Einige lassen sich sogar bis auf 10% vom nominalen Lichtstrom regulieren, dies alles unter Verwendung von „normalen“ magnetischen Vorschaltgeräten / Drosseln und „normalen“ Startern / Zündgeräten. Auch viele Ty-

bindung mit einem modernen elektronischen Steller eine bessere Systemlichtausbeute hat. Dies wurde auch anhand eines Langzeitversuches der KEMA (NL) an dynamischen EVG's und einer VVG / Steller Lichtsteuerung klar belegt.

pen von Halogenmetall dampflampen sind so regelbar. Untersuchungen haben ergeben, daß je nach Halogenmetall dampf-Lampenfabrikat und -Lampentyp Farbverschiebungen mehr oder weniger stark auftreten können /11/. Allgemein ist zu bemerken, dass Lampen mit einer Natrium-Scandium Füllung (z.B. GE oder Venture) eine viel kleinere Farbverschiebung aufweisen als andere.

Es ist deshalb je nach Art und Aufgabe der Beleuchtung zu prüfen, ob durch den Dimmprozeß hervorgerufene Veränderungen der Lichtfarbe akzeptabel sind. So zum Beispiel besitzt die tagsüber gedimmte MH-Beleuchtung in einer Fabrik mit hohem Tageslichtanteil sicherlich immer noch bessere Farbwiedergabeeigenschaften als die ungedimmte MH-Beleuchtung in den Dunkelstunden (MH = Metall dampf - Halogen).

3. Amortisationszeit-Berechnung (ROI)

3.1 Einführung

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die Amortisationszeit einer energiesparenden Lichtsteuerung berechnet wird und welche Daten zur Berechnung des ROI benötigt werden. Solche Berechnungen werden vielfach kostenfrei von den Herstellern angeboten. Wichtig dabei ist, daß die richtigen Parameter verwendet werden.

3.2 Energiespargarantie

Es ist wichtig, daß sich der Käufer einer energiesparenden Anlage irgendwie absichern kann. Denn was nützt eine Anlage, die nicht hält, was zuvor versprochen wurde. Einige führende Hersteller garantieren deshalb die errechneten Energieeinsparungen dem Käufer, d.h. falls diese nicht erreicht werden, kann sogar eine Rückerstattung bis zur Erreichung der Amortisationszeit verlangt werden.

3.3 Beispiel einer Berechnung

Input Parameter		Projekt: Praktiker Baumarkt	
Betriebsstunden pro Jahr	A	3500	h
Energiekosten	B	24	Pf/kWh
Lampen Leistung	D	58	W
VG Verlustleistung	E	12	W
Anzahl Lampen	F	1000	Stück
Kosten Steller	I	60'000	DM
Kosten der Installation	J	10'000	DM
Energieeinsparung	K	40	% (gemessen)
Energieeinsparung (kWh)	L	$L=AxFx(D+E)xK=$	125'000 kWh/Jahr
Energieeinsparung (DM)	M	$M=LxB=$	30'000 DM/Jahr
Resultat			
Total Einsparungen	M	30'000.00	DM/Jahr
Total Investition	P	$P=I+J=70'000.00$	DM
Amortisation (ROI)	Q	$Q=P/M= 2.3$	Jahre

Tab.1: Beispiel einer Amortisationszeitberechnung

3.4 ROI Parameter

Die Parameter zur Berechnung des ROI sind in folgender Übersicht enthalten:

1. Energiekosten	_____	Währung/kWh Hochtarif
2. Energiekosten	_____	Währung/kWh Niedertarif
3. Energiekosten	_____	kW Tarif pro Quartal / Mt. / Woche
4. Betriebsstunden pro Jahr	_____	
5. Soll Beleuchtungsstärke	_____	Lux
6. Effektive Beleuchtungsstärke	_____	Lux
7. Planungsfaktor	_____	
8. Verhältnis Oberlichter / Dach	_____	(Zeichnungen beilegen mit N-Rtg.)
9. Verhältnis Fenster / Wand	_____	(Zeichnungen beilegen mit N-Rtg.)
10. Externe Behinderungen Tageslicht	_____	
11. Tageslichtkoeffizient	_____	%
12. Interne Behinderungen Tageslicht	_____	
13. Glas Transmissionsfaktor	_____	
14. Geographische Lage	_____ °N _____ °E	
15. Leuchten Typ	_____	
16. Positionierung Leuchten	_____	(Zeichnungen beilegen mit N-Rtg.)
17. Kosten pro Lampe	_____	Währung/Lampe
18. Arbeitskosten pro Lampenersatz	_____	Währung/Lampe

Tab. 2: Übersicht ROI-Parameter

Literatur

- /1/ Förderfibel Energie. Fachinformationszentrum Karlsruhe, ISBN 3-87156-198-3.
- /2/ Elektronische Vorschaltgeräte 94/95. Osram-Produktinformation (1994).
- /3/ Ing. Piet Roelse, KEMA (NL), Untersuchung an tageslichtabhängigen Steuerungen
- /4/ E. Folles, DYN0 (NL), Dynamische Straßenbeleuchtung, eine neue Generation
- /5/ Dr. Blaser, Tagungsberichte Licht '96 Leipzig (S 578ff.)
- /6/ Elstrom Produkteinformation
- /7/ Osram, Lichtprogram (S. 5.17)
- /8/ Philips, Informationsblatt
- /9/ GE, HID Lamp Dimming (1996)
- /10/ Venture, Metal Halide and Dimming (1993)
- /11/ M.Rechsteienr, Tagungsberichte Licht '96 Leipzig (S 276ff.)

Tageslichttechnische Planungswerkzeuge, entwickelt im Subtask „Daylighting Design Tools“ des internationalen Projektes IEA Task 21

Hans Erhorn und Jan de Boer

1. Einleitung

Die Arbeiten im Subtask „Daylight Design Tools“ des IEA Task 21 „Daylight in Buildings“ umfassten sowohl einfache als auch komplexe tageslichttechnische Planungswerkzeuge. In einer Übersicht wurden verschiedenste grafische, analytische und einfache Rechner gestützte Verfahren für die frühe Entwurfsphase zusammengestellt. Diverse lichttechnische Berechnungsalgorithmen (u.a. zu Raytracing- und Radiosityverfahren) sind in Form von Pseudocodes auf einer Internetseite allgemein zugänglich aufbereitet worden. Zur Bewertung des energetischen Einflusses von Atrien auf angrenzende Büroräume ist ein neues einfaches Planungswerkzeug zur integralen Betrachtung der Energieverbräuche (Beleuchtung, Heizung, Kühlung) als Funktion ausgewählter lichttechnischer Parameter entwickelt worden. Das einfache, intuitiv nutzbare Planungstool LESO-DIAL wurde im Rahmen des Task 21 von der Schweiz in einer englischen (und auch deutschen) Version bereitgestellt. Einen Schwerpunkt der Arbeiten bildete die Fortführung der Entwicklung des Lichtberechnungsprogrammes ADELIN. In einer umfangreich angelegten Validierungsstudie wurden insgesamt vier verschiedene Simulationsprogramme gegen Messungen und untereinander mittels standardisierter Testdatensätze verglichen. Die Arbeiten im Subtask wurden vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik international koordiniert. Sie gliedern sich in fünf Arbeitsgruppen:

- Einfache Planungshilfen
- Tageslichtberechnungsalgorithmen
- Integrierte Systeme
- ADELIN
- Validierung

2. Welches Planungswerkzeug für welche Planungsaufgabe?

Für die gezielte Tageslichtnutzung in Gebäuden ist die Bereitstellung und Anwendung geeigneter Werkzeuge in der Planungsphase maßgebend. Die Werkzeuge müssen zum einen auf die Erfordernisse im täglichen Planungsbetrieb zugeschnitten sein, so dass durch schnellen und damit kostengünstigen Einsatz Planungsfehler bei Standardproblemen vermieden werden können, des Weiteren sollten sie aber auch bei architektonisch und technisch anspruchsvollen, innovativen Lösungen Planungssicherheit bieten. Analytische Lösungen und hier-

Dipl.-Ing. Hans Erhorn, Dipl.-Ing. Jan de Boer
Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Nobelstraße 12
D-70569 Stuttgart

aus abgeleitete grafische und tabellarische Verfahren, wie sie dem Planer u. a. in der DIN 5034 an die Hand gegeben werden, genügen für die meisten einfachen Fragen wie

- Ermittlung von Tageslichtquotienten in seitlich und von oben belichteten Räumen bei einfacher Grundrissgestaltung,
- Besonnung bei einfach verschatteten Flächen
- Ermittlung der erforderlichen Fenster- bzw. Oberlichtgrößen bei vorgegebenen Beleuchtungsverhältnissen.

Dagegen stoßen diese Planungshilfen bei komplexeren Fragestellungen wie

- frei wählbaren Raumgeometrien,
- Einsatz spezieller reflektierender und transmittierender Materialien wie z. B. komplexer Verglasungssysteme zum Sonnen- und Blendschutz und zur Lichtlenkung,
- Bewertung energetischer und thermischer Auswirkungen der Tageslichtplanung (Kunstlichtstromverbrauch, interne Gewinne),
- Bewertung des visuellen Komforts am (Bildschirm-) Arbeitsplatz

schnell an ihre Grenzen. Hier bietet sich der Übergang zu Rechner gestützten Verfahren an. Im Rahmen der Aktivitäten des Task 21 ist das Ziel verfolgt worden, die praxisnahe Anwendbarkeit der Planungswerkzeuge weiter zu steigern und die Brücke von einfachen zu komplexen Werkzeugen zu schlagen.

TYPE		SUBJECT							TOOL	
		Daylight Factor for Sidelit Rooms	Daylight Factor for Rooflit Rooms	Window Design	Rooflight Design	Atria Design	Energetic Behaviour / Daylight Autonomy	Shadow and Reflection Analysis / Sunshine Duration		Visual Comfort
1. Formulae			■		■					2.1.1
		■	■	■	■					2.1.2
2. Tables		■		■						2.2.1
			■		■					2.2.2
3. Nomograms		■	■	■	■	■				2.3.1
		■				■				2.3.2
4. Diagrams		■	■	■	■		■	■	■	2.4.1
		■		■						2.4.2
							■			2.4.3
							■			2.4.4
5. Protractors		■	■	■	■					2.5.1
6. Computer Tools		■	■	■	■		■	■		2.6.1
								■		2.6.2
								■		2.6.3
							■			2.6.4
		■	■	■	■		■			2.6.5
7. Typology		■	■	■	■			■	■	2.7.1
8. Scale Models		■	■	■	■	■		■	■	2.8.1

Abb. 1: Übersicht der zusammengestellten einfachen Planungswerkzeuge.

3. Einfache Planungshilfen

Übersicht einfacher Planungswerkzeuge

Basierend auf Befragungen in den Teilnehmerländern wurde, wie Abb. 1 zeigt, ein Querschnitt /1/ verschiedener Werkzeugtypen, wie einfache analytische Ver-

fahren, Tabellen, Diagramme, Nomogramme und verschiedener Anwendungsbereiche erstellt. So unterstützen die Werkzeuge in der frühen Entwurfsphase die Erstellung von Besonnungsstudien, die Auslegung der Art und Größe von Fenstern und Oberlichtern und die Bewertung des thermischen und energetischen Verhaltens. In der Übersicht werden die Verfahren jeweils kurz beschrieben und die Anwendung anhand von Beispielen demonstriert.

Einfaches Werkzeug zur Bestimmung der Energieverbräuche von Büroräumen, die an Atrien angrenzen

Atrien erfreuen sich zunehmender Popularität. Um Aussagen des Einflusses lichttechnischer Planungsgrößen auf den Energieverbrauch an Atrien angrenzender Büroräume schnell und einfach treffen zu können, wurden basierend auf einer Parameterstudie, die mit den Simulationswerkzeugen ADELIN und DOE2 durchgeführt wurde, grafische Planungshilfen erstellt. In [2] ist die zugrunde gelegte Methode beschrieben. Die Planungshilfen wurden für schweizer und deutsche Standorte erstellt. Der Beleuchtungsenergieverbrauch in Abhängigkeit von einem die lichttechnischen Eigenschaften eines Gebäudes charakterisierenden Lichtindex ist exemplarisch in Abb. 2 dargestellt.

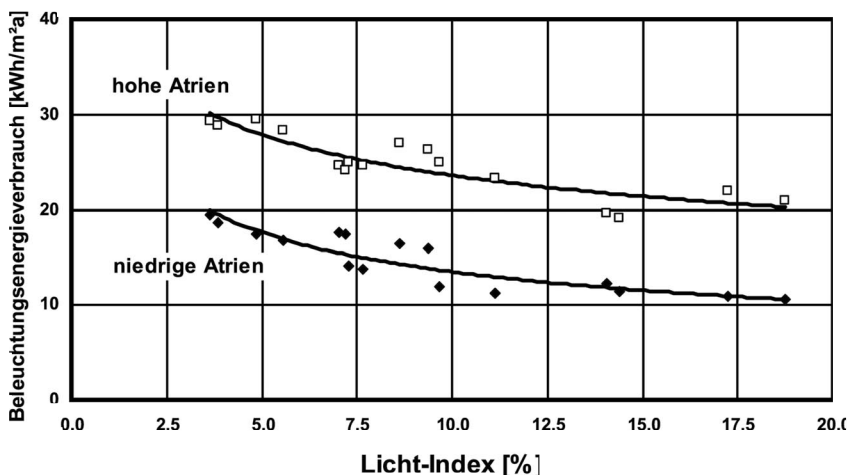


Abb. 2: Diagramm zur Ermittlung des jährlichen Beleuchtungsenergieverbrauches als Funktion eines Lichtindexes für den Standort Würzburg für zwei unterschiedlich hohe Atrien.

Intuitiv nutzbare Lichtsimulationssoftware LESO-DIAL

In der Entwicklung der Lichtberechnungswerkzeuge wird zunehmend die frühe Entwurfsphase berücksichtigt. Hier werden grundlegende, oft irreversible Entscheidungen bzgl. der natürlichen Beleuchtung eines Gebäudes getroffen. Hinzu kommt, dass in dieser Phase der Architekt oft noch – ohne den Rat der Fachplaner – auf sich allein gestellt ist. Mit dem Tool LESO-DIAL ist in der Schweiz eine neue Software entwickelt worden, die es auch lichttechnischen Laien erlaubt, durch den Einsatz eines qualitativen Beschreibungsverfahrens der

relevanten Eingabedaten Lichtberechnungen einfach und sicher durchzuführen /3/. Meistens nur vom Fachplaner genutzte Größen und Fachtermini können, müssen aber nicht als Eingabe dienen. Die Ausgabe liefert Standardplanungs-

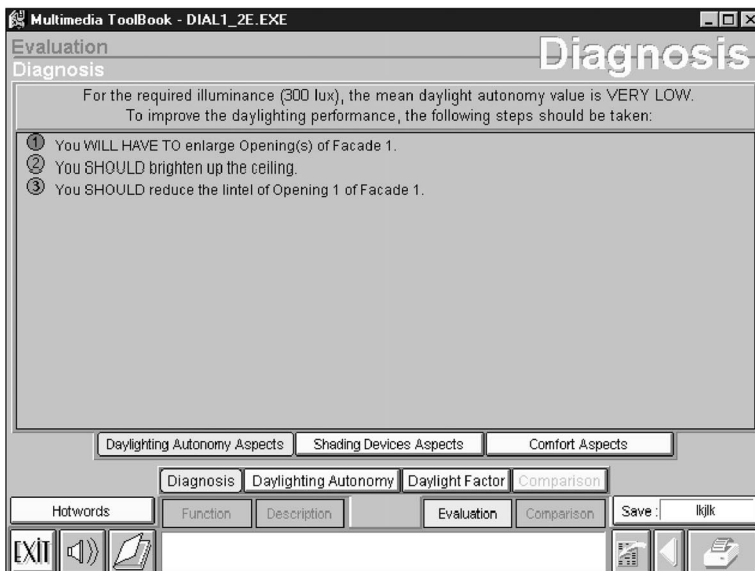
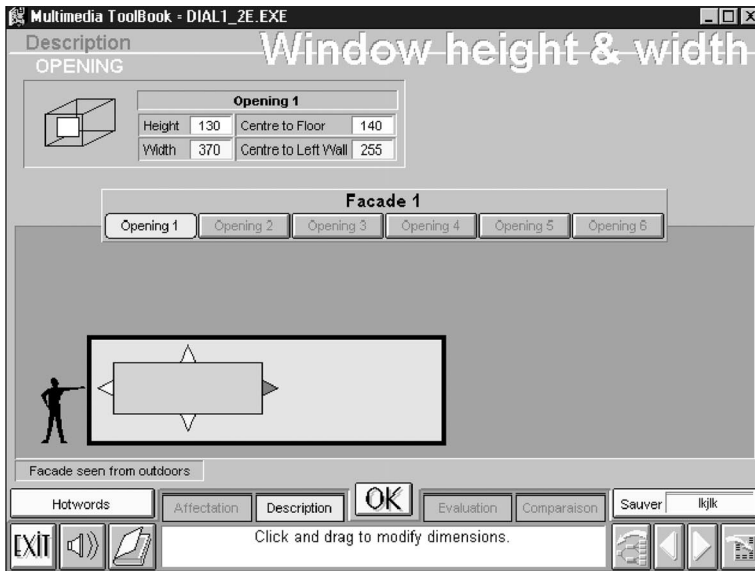


Abb. 3: LESO DIAL: Planungswerkzeug für die frühe Entwurfsphase mit intuitiver Bedienung.

größen wie Tageslichtquotienten, Beleuchtungsstärken usw. für eine Anzahl einfacher Raumgeometrien. Jedoch wird der Nutzer an dieser Stelle mit den Ergebnissen nicht allein gelassen. Basierend auf einem Satz von Expertenregeln (unter Nutzung von Fuzzy Logic) werden die Ergebnisse interpretiert, Empfehlungen zu einer Verbesserung der Beleuchtungssituation werden gegeben. In Abb. 3 sind exemplarisch ein Eingabe- und ein Ausgabedialog selbsterklärend dargestellt.

4. Informationsplattform für Tageslichtberechnungsalgorithmen

Ziel der Arbeitsgruppe war die Dokumentation und Bereitstellung von Berechnungsalgorithmen für die Tageslichtplanung. Aus unterschiedliche Quellen wurden Methoden und Algorithmen für die Entwicklung von Tageslichtanalysewerkzeugen zusammengestellt. Zur Informationsaufbereitung und Darstellung wurde mit dem Internet eine zeitgemäße Plattform gewählt. Die Dokumentation ist im Html- und PDF-Format unter <http://eande.lbl.gov/Task21/dlgorithms.html> verfügbar.

5. Komplexe Planungshilfe – ADELIN

Die bestehende Software ADELIN wurde schwerpunktmäßig in der Bedienbarkeit und Programmintegration verbessert /4/. So sind zahlreiche Arbeitspakete im internationalen Verbund umgesetzt worden und vollständig in einer neuen Programmversion 3, dargestellt in Abb. 4, ab sofort verfügbar. Detaillierte Informationen zum Programmsystem sind ebenfalls in diesem Tagungsband unter „Erweiterte Einsatzmöglichkeiten der internationalen Lichtplanungssoftware ADELIN in der neuesten Version“ zu finden oder im Internet unter <http://www.ibp.fhg.de/wt/adeline/index.html> abrufbar.

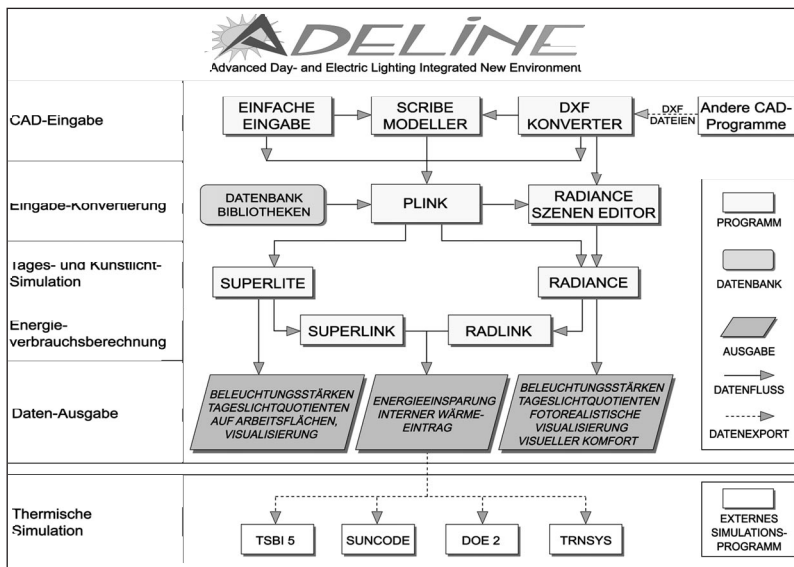


Abb. 4: Programmstruktur des Programmsystems ADELIN 3.0.

6. Programmvalidierung

Die Arbeitsgruppe beschäftigte sich mit

- dem Vergleich der photometrischen Berechnungsergebnisse tageslichttechnischer Berechnungsprogramme mit in künstlichen Himmeln gemessenen Datensätzen von Gebäudemodellen /6/ und
- Erstellung einer Studie zur Anwendbarkeit lichttechnischer Planungswerkzeuge in einem realen Gebäude /7/.

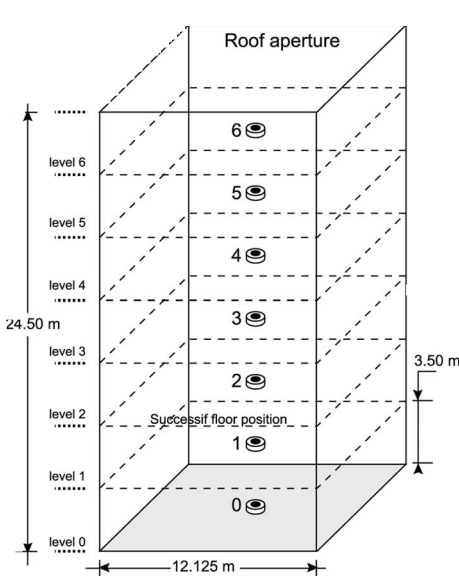
6.1 Photometrische Berechnungsgenauigkeit

Die Tageslichtberechnungsprogramme RADIANCE, SUPERLITE, GENELUX, ADELIN und LESO-DIAL wurden hinsichtlich Berechnungsgenauigkeit, Berechnungszeit und Bedienbarkeit untersucht /5/, /6/. Im Rahmen der Arbeiten wurden Standardtestdatensätze definiert und dokumentiert, die in ihren lichttechnischen Eigenschaften (Geometrie und Materialbeschreibung) ein breites Spektrum der Berechnungsfälle in der Planungspraxis abdecken. Die Programme wurden mit diesen Datensätzen und untereinander verglichen. Die gewählten Modelle decken sowohl seitlich belichtete Räume als auch von oben belichtete Gebäudetypen wie Atrienkonstruktionen ab. Die Photometrie der Oberflächen wurde als perfekt diffus bei variierenden Reflektionsgraden angenommen. Bei dunklen Raumumschließungsflächen ist der direkte – d. h. der nicht reflektierte – Beleuchtungsanteil in den Räumen dominierend. Hierfür lagen die Abweichungen zwischen Simulation und Messung bei +/- 5 %. Mit zunehmend helleren Wänden – d. h. höheren interreflektierten Anteilen – wurden dagegen teilweise höhere Abweichungen festgestellt. Gehen die Simulationsmodelle von perfekt



Abb. 5: Künstliche Himmel am BRE, Watford, Großbritannien (links), und am EPFL in Lausanne, Schweiz (rechts).

diffusen Oberflächen aus, entsprechen die realen in den Modellen genutzten Farben nur näherungsweise diesem Modell und reflektieren mehr Licht in die der Lichtquelle entgegengesetzten Richtung. Somit lagen die in den Himmeln gemessenen Werte meist höher. Die Validierungsstudie zeigte, dass die hier untersuchten Simulationsprogramme hinreichende Planungssicherheit bieten, jedoch die Beschreibung der Lichtquellen, der Materialeigenschaften, Gebäudegeometrie und Simulationsparameter mit Sorgfalt erfolgen muss. Zwei der genutzten drei künstlichen Himmel sind in Abb. 5 dargestellt. Die Geometrie einer einfachen untersuchten Atrienkonfiguration zeigt Abb. 6. Diesem Bild sind ebenfalls die gemessenen und errechneten Tageslichtquotienten zu entnehmen.



BLACK (4%)					
Point	BRE Scale	Superlite (LBNL)	Genlux (ENTPE)	Adeline	DIAL
0	10.7	10	10.14	10.12	10.00
1	13.7	13.3	13.26	13.13	13.30
2	18.9	18.3	18.16	18.25	18.30
3	26.7	26.5	26.47	26.53	26.40
4	40.2	40.4	38.71	40.12	40.10
5	61.9	63.1	61.81	63.01	63.00
6	89.9	90.8	91.26	91.16	91.60

DARK GREY (3%)					
Point	BRE Scale	Superlite (LBNL)	Genlux (ENTPE)	Adeline	DIAL
0	15.6	12.4	12.49	12.5	13.60
1	19.8	16.4	16.30	16.28	17.30
2	25.7	22.4	21.90	22.22	22.70
3	34.5	31.5	31.11	31.41	31.40
4	47.2	45.9	43.62	45.6	45.90
5	67	68	65.93	67.74	69.80
6	92.2	92.7	94.25	92.96	99.50

LIGHT GREY (4%)					
Point	BRE Scale	Superlite (LBNL)	Genlux (ENTPE)	Adeline	DIAL
0	19.1	15.3	15.28	15.32	17.50
1	23.9	20	19.78	19.82	21.50
2	30.7	26.8	26.01	26.54	27.40
3	39.9	36.6	35.94	36.43	36.60
4	53.3	51.3	48.51	50.89	51.70
5	71.8	72.5	69.98	72.13	76.30
6	94.4	94.5	97.03	94.56	100.00

WHITE (8%)					
Point	BRE Scale	Superlite (LBNL)	Genlux (ENTPE)	Adeline	DIAL
0	40.3	38.1	38.19	35.27	43.20
1	47.2	45.5	45.35	42.66	48.50
2	54.7	54.4	53.15	51.87	55.80
3	64.2	65.1	63.91	62.93	66.30
4	75	77.7	73.38	75.85	82.60
5	87.7	91.6	88.49	90.27	100.00
6	98.3	100.7	107.70	100.23	100.00

Abb. 6: Untersuchte einfache Atrienkonstruktion. Ein beweglicher Boden kann in 7 unterschiedlichen Höhen arretiert werden. Die Tabelle zeigt die Tageslichtquotienten für unterschiedliche Reflektionsgrade der Raumumschließungsflächen.

6.2 Anwendung eines Berechnungswerkzeuges an einem realen Gebäude

Die Studie vergleicht die Berechnungsergebnisse (Beleuchtungsstärken, Leuchtdichten und Kunstlichtstromesparpotentiale) der im Programmsystem ADELINe enthaltenen Module Superlite, Superlink und Radiance mit Messdaten, die in einem existierenden Atriengebäude in Kanada aufgezeichnet wurden /7/.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Mit den Aktivitäten in Subtask C wurde dem steigenden Zeit- und Kostendruck in den Planungsprozessen durch eine Fokussierung auf einfache Planungswerkzeuge, der fortgeführten Programmintegration und der Verbesserung der Bedienbarkeit eines Werkzeuges für komplexere Fragestellungen Rechnung getragen. Mit der zunehmenden Vielfalt an so genannten intelligenten Gläsern und Fassadensystemen werden zukünftig erweiterte Fragen an die Simulation derartiger Licht lenkender und blendungsbegrenzender Komponenten gestellt. Für einige Systeme (prismatische Elemente, anidolische Systeme, Laser Cut Panels) existieren bereits Computermodelle. Ein Großteil von Systemen, die sich z. T. noch in der Entwicklung befinden, müssen jedoch den Planern noch in validierter und bedienungsfreundlicher Form in Planungsinstrumente integriert bereitgestellt werden. Hierbei ist es erforderlich, neben der rein photometrischen Modellbildung und Entwicklung verständlicher Kennwerte, zukünftig auch die Entwicklung verfeinerter Modelle zur Bewertung des visuellen Komforts und des energetischen und thermischen Verhaltens der Systeme zu beachten.

Literatur und www -Adressen

- /1/ De Boer, J.; Erhorn, H.: Survey Simple Design Tools, A Working Document of Task 21 / Annex 29, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, 1998
- /2/ Hopkirk, N.: Simple Design Tool for Lighting, Lighting plus Heating and Cooling Energy in an Office Adjcent to an Atrium, Daylighting '98, Conference Proceedings, Ottawa, 1998.
- /3/ Paule, B. et al.: „LESO-DIAL“ Daylighting Design Software, Daylighting '98, Conference Proceedings, Ottawa, 1998.
- /4/ Erhorn, H.; de Boer, J.; Dirksmüller, M.: ADELINe – An Integrated Approach to Lighting Simulation, Daylighting '98, Conference Proceedings, Ottawa, 1998.
- /5/ Aizlewood, M. et al.: Data Sets for the validation of daylighting computer programs, Daylighting 98, Conference Proceedings, Ottawa, 1998.
- /6/ Fontoynt, M.: Validation of daylighting computer programs within Task 21 C1 of the International Energy Agency, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Lyon, 1999
- /7/ Galasiu, A. D.; Atif, M. R.: Applicability of Daylighting Computer Modeling in Real Case Studies: Comparison between Measured and Simulated Daylight availability and Lighting Consumption, National Research Council, Ottawa, 1998.

Task 21, Subtask C:

<http://www.iea-shc.org/task21/subtask8c.htm>

Algorithmensammlung:

<http://eande.lbl.gov/Task21/subtask-c2.html>

Info LESO-DIAL:

<http://lesowww.epfl.ch/anglais/>

[Leso_a_frame_sof.html](http://leso_a_frame_sof.html)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik:

<http://www.ibp.fhg.de>

Info ADELINe:

<http://www.ibp.fhg.de/wt/adeline/index.html>

Erfahrungen bei der Installation und Inbetriebnahme einer tageslichtabhängig geregelten Beleuchtungsanlage in einer Industriehalle

Markus Görres

1. Einleitung

Regelungssysteme für tageslichtabhängige Beleuchtungsanlagen in Büroräumen sind bereits ausführlich untersucht worden. Diese Systeme lassen sich jedoch nicht einfach auf große Industriehallen übertragen, da neben den größeren Abmessungen auch andere Anforderungen wie Arbeitssicherheit, Unabhängigkeit gegenüber Tageslichtschwankungen usw. eine große Rolle spielen.

Am Beispiel einer großen Halle (siehe Abbildung 1) werden die Erfahrungen bei der Installation und Inbetriebnahme einer tageslichtabhängigen Beleuchtungsanlage geschildert.



Abbildung 1: Innenansicht der Halle, rechts die lange Fensterfront an der Nordseite

2. Messung der vorhandenen Beleuchtungsstärke

Die Halle wurde nach DIN 5035, Teil 6, in verschiedene Teilbereiche aufgeteilt, die separat mit einem Handmessgerät der Klasse A vermessen wurden /1/. Einige Bereiche der Halle können aufgrund von Installationen oder abgeschlossenen Räumen nicht in die Mittelwertberechnung einbezogen werden. Die mittlere Beleuchtungsstärke bei einer Messung ohne Tageslichteinfluss ergab einen Wert von 206 lx, d.h. deutlich unter dem vorgeschriebenen Wert von 300 lx nach DIN 5035, Teil 2, /2/ (siehe Abbildung 2).

Dipl.-Ing. Markus Görres
Lehrstuhl Technische Gebäudeausrüstung
Universität Dortmund
D-44221 Dortmund

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	Nahwärmee- übergabe- station		115	96	111	98	74	102	71	56	78	Büro	Büro	Schwärz- raum
B			303	251	308	261	neue Maschine	151	202	190	234	270	164	117
C			329	358	320	301	232	312	175	198	248	235	254	124
D	128	61	147	255	Magnet- raum	184			215	281	240	248	251	100
E	284	308	310	285	324	303	257	294	320		213	180	177	182
F	250	172	308	263	256	215	296	237	240	193	164	179	186	247
G	165	26	235	246	172	194	195	150	153	138	137	161	141	107

Abbildung 2: Messergebnisse der Beleuchtungsstärke ohne Tageslichteinfluss

3. Installation

3.1 Sicherheitsbeleuchtung

Im Gegensatz zur Bürobeleuchtung ist im industriellen Bereich eine Sicherheitsbeleuchtung nach den Arbeitsstättenrichtlinien notwendig, die das gefahrlose Beenden notwendiger Tätigkeiten und das Verlassen des Arbeitsplatzes bei Störungen der allgemeinen Beleuchtung ermöglicht /3/.

Um diese besonderen Anforderungen zu erfüllen, dürfen die Lichtbänder der Sicherheitsbeleuchtung zwar geregelt sein, jedoch nicht bei Überschreiten einer definierten Beleuchtungsstärke abschalten. Die Lichtbänder der Sicherheitsbeleuchtung wurden darüber hinaus an separaten Lichtstromkreisen, die nicht per Taster ein- oder ausgeschaltet werden können, angeschlossen.

3.2 Sensorplatzierung

Bei der Platzierung der Sensoren wird ausgenutzt, dass die Lichtbänder parallel zu der verglasten Nordfassade verlaufen und jeweils über einen Lichtsensor geregelt werden können (siehe Abbildung 3). Aufgrund der unterschiedlichen Arbeitsbereiche in der Halle wird jedoch nicht ein komplettes Lichtband über eine Länge von 70 m durch einen Lichtsensor geregelt, sondern durch 4 über die Länge verteilte Sensoren, d.h. abschnittsweise entsprechend der manuellen Schaltmöglichkeit der Lichtbänder.

Aufgrund des abnehmenden Tageslichteinflusses mit zunehmendem Abstand von der Fensterfront werden jedoch nur die ersten 3 der insgesamt 8 Lichtbänder tageslichtabhängig geregelt. Die anderen Lichtbänder wurden allerdings bereits mit elektronischen Vorschaltgeräten ausgestattet, um eine eventuelle nachträgliche Umstellung problemlos zu ermöglichen.

3.3 Montage

Die Montagearbeiten in einer gewerblichen Halle im laufenden Betrieb unterscheiden sich deutlich von Installationsarbeiten im Bürobereich oder in Neubauten.

Um einen reibungslosen Betrieb in der Halle auch während der Umbauarbeiten zu gewährleisten, wurden die Installationen nach Arbeitsende in der Halle in der

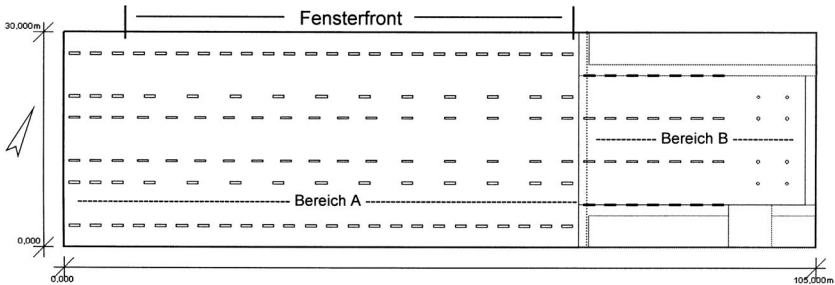


Abbildung 3: Grundriss der Halle, Bereich A: 2160 m² Grundfläche und 8 m Höhe

Zeit von 16.00 Uhr bis 22.00 Uhr durchgeführt. Dadurch konnten Störungen des Betriebs weitestgehend vermieden werden.

Da die Halle eine Höhe von ca. 8 m aufweist, schließt sich eine Montage mit normalen Leitern aus. Der Aufbau von Gerüsten ist wegen der damit verbundenen Betriebsstörungen ebenfalls nicht möglich. Als praktikable Alternative bot sich die sowieso vorhandene Kranbahn an, die neben Hebeeinrichtungen ebenfalls ein begehbare Fläche bereitstellt, von der die Demontage der alten Beleuchtungseinrichtungen und die Montage der neuen Leuchten durchgeführt werden konnte.

Insbesondere bei Altanlagen stimmt die tatsächliche Leitungsführung und Verschaltung aufgrund nachträglicher Änderungen häufig nicht mehr mit vorhandenen Installationsplänen überein, wenn diese nicht komplett verschwunden sind. Bei dieser Halle befand sich die Unterverteilung der Lichtstromkreise nicht, wie aus den Plänen vermutet, in unmittelbarer Nähe der Absicherungen und Leistungsschütze sondern am entgegengesetzten Ende der Halle. Die Nutzung vorhandener Kabelschächte verzögerte sich ebenfalls wegen parallel durchgeführter Asbestsanierungen.

Aufgrund dieser erschwerten Bedingungen erhöhen sich die Kosten für Montage- und Umbauarbeiten in Industriehallen deutlich und verlängern sich die Umbauzeiten.

4. Inbetriebnahme

Nach Inbetriebnahme der neuen Leuchten wird bereits ohne Messung deutlich, dass die fensternahen, geregelten Lichtbänder im Gegensatz zu den unregelmäßig Lichtbändern wesentlich gedimmt werden (siehe Abbildung 4).

4.1 Nutzervorbehalte

Die Umbaumaßnahmen sowie die damit verbundenen Planungen und Messungen konnten selbstverständlich nicht ohne Information der Nutzer der Halle durchgeführt werden. Eine parallel organisierte Informationsveranstaltung, die auf rege Beteiligung seitens der Betroffenen traf, zeigte die Vorbehalte und Probleme der Nutzer auf.



Abbildung 4: Hallenansicht nach Umbauarbeiten, Lichtbänder 1 bis 3 in Fensternähe tageslichtabhängig geregelt, Lichtband 4 ungeregelt

Neben Aspekten des Arbeitsschutzes wurden ebenfalls konstruktive Vorschläge zur Verschaltung der Anlage seitens der Benutzer angeführt.

Die größten Bedenken bestanden in einer möglichen Verringerung des Beleuchtungsniveaus aufgrund der tageslichtabhängigen Regelung und eventueller Abschaltungen der Lichtbänder.

Hinweise auf die Kompensation des Lichtstromrückgangs durch die Regelung sowie die verlängerten Wartungsintervalle und damit verbundenen geringeren Ausfälle der mit elektronischen Vorschaltgeräten ausgestatteten und teilweise geregelten Beleuchtungsanlage konnten einige Bedenken beseitigen.

4.2 Kalibrierung

Eine exakte Kalibrierung beinhaltet aufgrund der großen Hallenabmessungen, der zahlreichen Maschinen und der erschwerten Zugänglichkeit andere Problemstellungen als bei Büroräumen, in denen ein exakter Kalibrierwert bereits im voraus berechnet werden kann /4/. Hier waren zur Messung der mittleren Beleuchtungsstärke in Höhe der Nutzebene und zur gleichzeitigen Einstellung der Lichtsensoren bereits 2 Personen erforderlich, von denen sich eine wiederum auf der Plattform der Kranbahn bewegen musste. Bedingt durch die zahlreichen Maschinen und Gegenstände in der Halle bewirkte eine kleine Positionsänderung in der x-, y- oder z-Richtung bereits deutliche Abweichungen der angezeigten Messwerte der mittleren Beleuchtungsstärke. Aufgrund der Hallenhöhe und der parallelen Lichtbänder beeinflussen sich die Leuchten und Sensoren gegenseitig. Die erforderlichen iterativen Kalibrierungsvorgänge wurden und werden bedingt durch den damit verbundenen Zeit- und Kostenaufwand sowie der eingeschränkten Zugangsmöglichkeiten in 8 m Höhe nicht durchgeführt.

5. Fazit

Modernisierungen von Beleuchtungsanlagen sowie tageslichtabhängige Regelungen in Industriehallen unterscheiden sich wesentlich von Bürogebäuden und erfordern, dass Planer, Installateure und Betreiber einige Besonderheiten beachten:

- Die laut Arbeitsstättenrichtlinien vorgeschriebene Sicherheitsbeleuchtung für Räume über 2000 m² bzw. Arbeitsstätten mit besonderer Gefährdung verbieten eine Abschaltung der Sicherheitsbeleuchtung durch Regelungen oder Steuerungen und erfordern getrennte Lichtstromkreise und Verschaltungen.
- Um Störungen des Betriebs zu vermeiden, ist eine durchdachte Ablaufplanung der Umbauarbeiten zwingend erforderlich. Betriebsausfälle können bei Ein-Schicht-Betrieben durch Installationsarbeiten in den verbleibenden Zeiten vermieden werden. Hohe Hallen erfordern ebenfalls unübliche Montagehilfen, wie Gerüste, Hebebühnen oder Kranbahnen. Diese Schwierigkeiten bei den Installationen bedingen höhere Montagekosten und längere Montagezeiten.
- Gezielte Nutzerinformationen im Vorfeld bewirken einen rechtzeitigen Abbau vorhandener Vorbehalte und dienen zur Unterstützung innovativer, energiesparender Maßnahmen, die andernfalls von den Nutzern konterkariert werden können.
- Einregulierungen geregelter Beleuchtungsanlagen erfordern in Hallen ebenfalls besonderer Montagehilfen und eine aufwendigere Ausführung.

Trotz der auftretenden Schwierigkeiten bietet sich sowohl die Verwendung elektronischer Vorschaltgeräte als auch der Einsatz von Regelungen oder Steuerungen an, da dadurch deutliche Kosteneinsparungen im Bereich Energie und Wartung zu erzielen sind. Die zukünftige Verwendung von definierten Schnittstellen wie Dali erlaubt darüber hinaus, Rückmeldungen eines Lampenausfalls direkt zu verarbeiten und somit rechtzeitig Austauschmaßnahmen durchzuführen und Gefährdungen im Arbeitsbereich zu vermeiden /5/.

6. Literatur

- /1/ Norm DIN 5035 Teil 6 Dezember 1990. Beleuchtung mit künstlichem Licht; Messung und Bewertung.
- /2/ Norm DIN 5035 Teil 2 September 1990. Beleuchtung mit künstlichem Licht; Richtwerte für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien
- /3/ ASR (idFv. März 1981) 7/4 Sicherheitsbeleuchtung
- /4/ G-RRES, M.: Einregulierung tageslichtabhängiger Beleuchtungsanlagen, Licht, Heft 11/12, S. 1076 - 1080, 1999.
- /5/ DIANO, J.: DALI, digital addressable lighting interface, Dossier Lightech, Heft 5, S. 28-32, 2000.

Umweltbewusst – Sein und Handeln

Energiesparende Beleuchtungsregelung für Hallen mit Hochdrucklampen

(Eine Kurzinformation über den Stand der Technik und die erzielten Ergebnisse anhand von praktischen Einsatzfällen)

Gerd Gottschlich

Umweltschutz beginnt im Kopf, am besten im eigenen. Dies waren die Gedanken, die man hatte, als man überlegte, wie der Energieeinsatz verringert werden könnte.

In gemeinsamer Anstrengung mit der Firma ENDLESS ENERGY GMBH wurden Konzepte entwickelt, die den Stromverbrauch für die Beleuchtung merklich reduzieren, die Umwelt entlasten und zusätzlich den Beleuchtungskomfort steigern.

Die irreführende Ansicht, dass Lichtquantität gleich Lichtqualität ist, führt oftmals zu überbelegten Gebäuden

1. Technik der eingesetzten Regelsysteme

Technische Lösungen sind mit Vor- und Nachteilen behaftet. Deshalb ist zum einen zwischen zentralen und dezentralen Systemen und zum anderen zwischen Phasenanschnitt- und Amplitudenregelsystemen zu unterscheiden.

Bei dezentralen Systemen besteht der Vorteil darin, dass auch relativ kleine Einheiten schon wirkungsvoll eingesetzt werden können. Dies ist aber bei steigender Anzahl relativ aufwendig bezüglich der Verkabelung und Kontrolle der Systeme. Bei bestehenden Anlagen muß zusätzlicher Aufwand betrieben werden, um die Leuchten entsprechend zu konfigurieren. Das Kosten-/Nutzenverhältnis wird durch den Nachrüstaufwand enorm verschlechtert. Zusätzlich muß für eine Funktionskontrolle der einzelnen Regler gesorgt werden. Ab 10 kVA ist es sinnvoll auf dezentrale Systeme überzugehen.

In den letzten Jahren haben sich dezentrale Regelsysteme in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen auch unterschiedlich entwickelt. Es gab Versuche, Hochdrucklampen mit Phasenanschnitt zu regeln. Dies hat im Bereich der Tunnelbeleuchtung auch zu akzeptablen Ergebnissen geführt, da überwiegend gleiche Lampentypen unkompensiert eingesetzt werden. Die durch die Regler

erzeugten Oberwellen spielen hier keine so entscheidende Rolle. Die Anlagen haben praktisch ein eigenes Netz, Auswirkungen auf andere Verbraucher sind nicht so relevant.

Bei der Industriebeleuchtung stellen sich Probleme ein. Kompensierte Lampen sind mit Phasenanschnitt nicht regelbar, Lampenmischungen (Typen und Wattagen) bereiten zusätzliche Probleme. Stand der Dinge sind seit einigen Jahren Amplitudenregelsysteme. Diese arbeiten nach einem relativ einfachem aber wirkungsvollem Prinzip. Vorteilhaft hierbei ist, dass der Betreiber keinerlei Beschränkungen bezüglich unterschiedlicher Lampenarten, Wattagen, kompensiert oder unkompensiert unterliegt. DEERFIELD-Beleuchtungssysteme sorgen für die totale Kontrolle des Beleuchtungsaufwandes ohne die Ästhetik des Lichtbildes oder die Integrität der Lichtverteilung zu beeinträchtigen. Es sind schrankfertige Regeleinheiten, die nach dem Amplitudenregelprinzip arbeiten. Bei der Installation ist lediglich ein leistungsmäßiger Anschluß (einschleifen) der Gesamtbeleuchtung erforderlich. Einzelne Leuchten müssen weder verändert noch zusätzlich verkabelt werden. Selbstverständlich muß bei der zu erwartenden Energieeinsparung auf das schwächste „Lampenglied“ in der Kette Rücksicht genommen werden. Einsparungen zwischen 30% und 45% an elektrischer Leistung sind erreichbar. Die Möglichkeiten der unterschiedlichen Lampen werden später aufgezeigt.

Die Regelsysteme stellen sicher, dass der einstellbare, gewünschte Sollwert (Lux) nie unterschritten wird. Berücksichtigt wird hierbei auch die Alterung und die Verschmutzung der Lampen und Leuchten. In Bereichen mit Außenlichtanteil bedeutet dies – je nach Lampentyp – einen Regelbereich von ca. 100-25%. DEERFIELD „3PCV-Systeme“, aufgebaut als Amplitudenregler, verursachen keine Netzoberwellen und sind vorhandenen Netzstörungen gegenüber unempfindlich. Der gleichzeitige Einsatz unterschiedlicher Lampenarten, Wattagen, kompensiert oder unkompensiert ist möglich. Leistungsgrößen von 10 kVA bis 190 kVA werden standardmäßig angeboten.

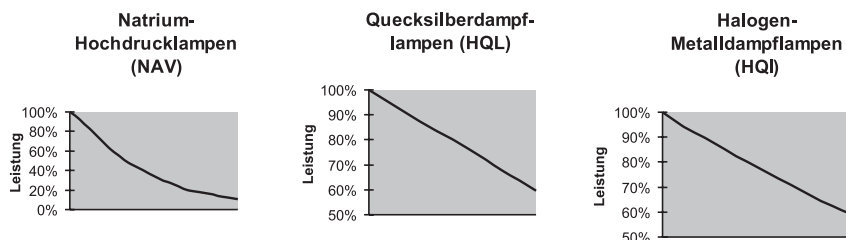
Die Installation der schaltschrankfertigen Systeme erfolgt durch einschleifen in die 3-phasige Beleuchtungszuleitung. Die Aufteilung und Steuerung über Schütze bleibt unverändert. Eine Anbindung an BUS-Systeme ist problemlos möglich. Die manuelle Schaltung von Beleuchtungsbereichen ist während des Regelbetriebs – ohne Verlegung von zusätzlichen Steuerleitungen – möglich. An Leuchten sind keine Umbauarbeiten notwendig. Durch die kontinuierliche stufenlose Ausregelung ist eine optimale Energieeinsparung, ohne Ausschaltung von Beleuchtungsgruppen möglich. Bei Installationen in bestehende Anlagen ergeben sich typische Amortisationszeiten von 2 Jahren.

2. Voraussetzungen für einen sinnvollen Einsatz

Viel Geld sparen lässt sich auch im Beleuchtungssektor manch eines Unternehmens, nimmt man die einmal installierte Beleuchtung genau unter die Lupe. Räume oder Hallen erstrahlen in unnötig hellem Glanz und Bequemlichkeit und mangelndes Energie- und Umweltbewußtsein führt dazu, dass Licht auch am helllichten Tag brennt.

Viele Beleuchtungsanlagen liefern hohe Lichtstärken ohne Berücksichtigung des tatsächlichen Bedarfs, eine kostspielige Verschwendung von Energie. Der Einfluß von Tageslicht ändert den Beleuchtungsbedarf, aber nur in den seltensten Fällen haben Anlagen eine Anpassungsfähigkeit. Die Lampen sind entweder an oder aus, also bleiben sie in der Praxis eingeschaltet.

Ein sinnvoller Einsatz beginnt bei einer Beleuchtungsleistung von ca. 10 kW, wenn die entsprechenden Beleuchtungszeiten dazu beitragen, die geforderten Amortisationszeiten von 18 bis 36 Monaten zu erreichen. Bei höheren Anschlußleistungen wird diese Amortisation auch schon bei einer Einsatzzeit von 50 Stunden pro Woche erreicht. Der Strompreis spielt für die Amortisationszeit natürlich eine große Rolle, es sollte aber bei den Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit auch der Umweltgedanke berücksichtigt werden. Außerdem, wer garantiert, dass der Strompreis nicht wieder genauso stark ansteigt wie er gefallen ist? Die Benzinpreise haben es in den letzten Monaten vorgemacht, wie es rauf und runter geht. Die Strombörse wird auch dazu beitragen, dass sich Steigerungen schneller durchsetzen lassen.



Abbildungen 1 bis 3: Auswirkungen der Regelung auf Lampentypen NAV, HQL, HQL; Kurven für Regelbereiche

3. Zitate aus Herstellerkatalogen

SYLVANIA: HSL- und SHP-Lampen können leistungsvermindert bis ca. 50% betrieben werden, vorausgesetzt, der Anlauf erfolgt bei Nennleistung.

OSRAM: HQL- und NAV-Lampen können leistungsvermindert bis 50% der Nennleistung betrieben werden, vorausgesetzt, der Anlauf erfolgt bei Nennleistung.

Lichtbrief Nr. 4 (Radium): Grundsätzlich kann gesagt werden, dass auch Hochdruck-Entladungslampen bis zu einem bestimmten Grade geregelt werden können.

Auf Grund jahrelanger Erfahrung ist im allgemeinen eine Leistungsreduzierung bis 50% möglich, ohne dass ein schädlicher Einfluß auf die Lebensdauer befürchtet werden muß. Evtl. kann bis zu dieser Grenze sogar mit einer Erhöhung der Lebensdauer gerechnet werden.

Ende der Zitate

Zu den Farbveränderungen ist auszuführen, dass bei Leistungsabsenkung folgende Erscheinungen auftreten

NAV-Lampen: etwas gelbere Lichtfarbe

HQI-Lampen: Änderung des Farbortes, die Lampen werden grünlicher

HQL-Lampen: kaum eine Änderung des Farbortes

4. Bewertung von Anwendern und Lampenherstellern

Differenzen in der Bewertung von Regelsystemen und ihre Auswirkung auf die eingesetzten Lampen gibt es nach wie vor. Inzwischen werden jedoch auch von Lampenherstellern vorsichtige Aussagen getroffen, dass Regelungen die Lampen nicht schädigen. Erste zaghafte Ansätze, dass die Lampenlebensdauer positiv beeinflusst wird gibt es auch schon. Diese Entwicklung ist mit Sicherheit darauf zurückzuführen, dass mittlerweile viele langjährige Praxiseinsätze dies eindeutig belegen.

Regelanlagen nachfolgender Art sind seit mehr als 10 Jahren in Betrieb und zeigen keinerlei negative Erscheinungen für die Lampenlebensdauer.

5. Fallbeispiele zur Regelung:

Industriehallen

Mannesmann DEMAG Duisburg

3 unterschiedlich ausgeführte Hallenbeleuchtungen (NAV, HQI, HQL)

Der Grundgedanke war, dass die auftretende Leistungsspitze in der Mittagszeit über die Beleuchtungsanlagen teilweise reduziert werden kann, da mittags Tageslichtanteile zur Verfügung stehen. Einsatzziel war auch eine Beleuchtungsoptimierung, die eine Zufriedenheit bei der Belegschaft erzielt. Vorgenommene Maßnahmen, wie Abschaltung einzelner Lampengruppen haben ergeben, dass eine Akzeptanz bei den Arbeitnehmern nicht erreicht werden kann. Die entstandenen Hell-/Dunkelzonen wurden als störend empfunden.

Die Regelsysteme wurden für 3 verschiedene Hallen mit unterschiedlichen Lampentypen installiert.

- Lehrwerkstatt: Quecksilberdampflampen
40 Lampen · 250 W (unkompensiert)
Die Halle hat teilweise sehr viel Tageslicht von einer Seite, eine Abschaltung von Gruppen war wegen der Hallentiefe nicht möglich. Das Regelsystem wird von einer Lichtauswerteeinheit geführt, die mit zwei Lichtfühlern eine Innenlichtmessung vornimmt.
- Produktionshalle Schiff 4: Natriumhochdruck- und Halogenmetallampflampen
48 NAH-Lampen · 1000 W und 48 HQI-Lampen · 400 W (kompensiert)
Es handelt sich um eine bestehende Beleuchtungsanlage in der jeweils eine NAH+HQI-Lampe als Einheit kombiniert ist. Außenlicht kommt teilweise von den Seiten und vom Dach. Eine Gruppenabschaltung war wegen der Hell-/Dunkelzonen verworfen worden. Das Regelsystem wird von einer Lichtauswerteeinheit geführt, die mit drei Lichtfühlern eine Innenlichtmessung

vornimmt. Die Anzahl Lichtfühler ist aufgrund der Hallenlänge und der möglicherweise störenden Laufkrane erforderlich.

- Produktionshalle Schiff 5: Halogenmetalllampen
66 Lampen · 400 W Scandium (kompensiert)
Diese Halle wurde mit einer komplett neu errichteten Beleuchtungsanlage ausgestattet. Die Grundsituation für die Ausregelung ist ähnlich der vorherigen Halle. Die bei starker Ausregelung eintretende Farbverfälschung bei den Scandium-Lampen war dem Betreiber im Vorfeld bekannt und konnte aufgrund der auszuführenden Arbeiten in der Halle vernachlässigt werden.

Die Systeme wurden zwischen Juli 1998 und Januar 1999 in Betrieb genommen. Es kommen unterschiedliche Einsatzzeiten von 10 bis 24 Stunden pro Tag zum Tragen. Die gesamte Einsatzzeit erreicht derzeit ca. 35.00 Stunden. Negative Auswirkungen auf die Lampen haben sich bis dato nicht eingestellt. Die erwarteten und prognostizierten Einsparungen sind sowohl beim Verbrauch als auch bei der Leistungsspitze eingetreten.



Abbildungen 4 und 5: öffentliche Beleuchtung (DB-Hauptbahnhof Stuttgart)

Einen ganz besonders interessanten Einsatzfall hat es für die Kopfsteighalle des Stuttgarter Hauptbahnhofes gegeben. (Abb. 4)

Einsatzziel war eine Optimierung des Energieeinsatzes für Beleuchtung, gekoppelt mit der Möglichkeit, für Veranstaltungen in der Halle die Beleuchtungsanlage auch für atmosphärische Beleuchtungszwecke einsetzen zu können.

Gefordert war eine gleichzeitige Regelung von Natriumhochdruck- und Halogenmetalllampen, die außer der normalen Lichtenpassung an das Tageslicht auch noch bis zum Abschalten – bei ausreichendem Tageslicht – geführt werden sollten. Dies bedeutete, eine genau kontrollierte Abschaltung zu gewährleisten, damit nicht zu kurze Brennzeiten entstehen. Das unterschiedliche Anlaufverhalten und die erforderliche Einbrennzeit musste ebenfalls berücksichtigt werden. Gleichzeitig sollte das System gewährleisten, dass auch die einzel-

nen Gruppen der Natriumhochdruck- bzw. Halogenmetallampfen einzeln geschaltet werden können, d.h. nach Abschaltung einer Gruppe und deren späterer Zuschaltung musste eine einwandfreie Zündphase für die Lampen gesichert sein. Zu kombinieren war das System außerdem mit der vorhandenen Leittechnik des Bahnhofes. D.h. auch von dieser Leittechnik kann eingegriffen werden bzw. es werden Störmeldungen ausgetauscht und übernommen. Für Veranstaltungszwecke wurde für alle Funktionen eine manuelle Steuerung der Anlage gefordert und umgesetzt.

In der bestehenden Beleuchtungsanlage sind 11 Natriumhochdrucklampen · 1000 W, 3 · 400 W sowie 11 Halogenmetallampfen · 1000 W und 3 · 400 W installiert, alle einzeln kompensiert.

Das System wurde im Februar 1999 in Betrieb genommen und ist seitdem praktisch jeden Tag 24 Stunden im Einsatz. Dies entspricht einer Einsatzzeit von ca. 13.500 Stunden. Negative Auswirkungen auf die Lampen haben sich bis dato nicht eingestellt.



Modelle der visuellen Leistungsfähigkeit für die Innenbeleuchtung

Siegfried Kokoschka

Zusammenfassung

Es werden zwei unterschiedliche Modelle zur Berechnung einer Sehleistung in Abhängigkeit vom Beleuchtungsniveau, dem Kontrast der Sehobjekte und deren Detailgröße beschrieben. Mit Hilfe des auf den Untersuchungen von Weston beruhenden Modells werden die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen Sehleistung und Beleuchtungsniveau analysiert.

1. Aufgabenstellung

Die Kriterien zur Bewertung der Beleuchtung von Arbeitsplätzen sind im Wandel begriffen. Nach einer Periode einer mehr leistungsbezogenen Bewertung versucht man heute, die Beleuchtung auch nach gestalterisch-ästhetischen, biologischen und psychologischen Kriterien zu planen und zu beurteilen.

Diese ganzheitliche Betrachtungsweise birgt aber auch die Gefahr, die lichttechnischen Güteermale zu unterschätzen, insbesondere was die Bedeutung des Beleuchtungsniveaus zur Gewährleistung der Sehaufgabe betrifft.

Die Frage nach dem Zusammenhang zwischen visueller Leistungsfähigkeit und Beleuchtungsniveau ist eine der am häufigsten untersuchten Fragen der Lichttechnik. Eine Zusammenfassung von Literaturstellen, in denen der mit wachsendem Beleuchtungsniveau einhergehende Leistungsgewinn dokumentiert wird, findet man zum Beispiel in der Dissertation von Völker /1/. Die Richtlinien über die erforderliche Höhe des Beleuchtungsniveaus, z.B. in DIN 5035 Teil 2, beruhen im Wesentlichen auf dem Ansatz, je nach Schwierigkeit der Sehaufgabe eine relative Sehleistung von mindestens 95 % zu gewährleisten.

Andererseits ist es aber schwierig, aus der großen Menge der in ihren Versuchsbedingungen und Auswertungsmethoden weit auseinanderliegenden Untersuchungen allgemein gültige Aussagen über die visuelle Leistungsfähigkeit abzuleiten. Die Versuche von Blackwell z.B., die visuelle Leistung aus der Kontrastüberschwelligkeit bzw. dem sog. Visibility Level der Sehobjekte zu erklären, verliefen mehr oder weniger im Sande /2/. Hentschel und darauf aufbauend auch Lindner z.B. erstellten spezielle Diagramme und Nomogramme, aus denen je nach Kontrast und Detailgröße der Sehobjekte das erforderliche Beleuchtungsniveau für ein 95 % Leistungsniveau abgelesen werden kann. /3/, /4/. Dieses Verfahren ist aber relativ unhandlich. Auch beschränkten sich diese Analysen nur

auf eine relative Sehleistung. Was in der Beleuchtungstechnik bisher fehlt, ist ein einfach zu handhabendes Modell, das auf einfachen Grundelementen zur Beschreibung der Sehaufgaben aufbaut und in universeller Weise Vorhersagen der Sehleistung in Abhängigkeit vom Beleuchtungsniveau und der Schwierigkeit der Sehaufgabe ermöglicht.

Zu diesem Zweck werden in diesem Beitrag zwei Sehleistungsmodelle vorgestellt. Das erste, in Abschnitt 3 besprochene Modell, beruht auf den in der Beleuchtungstechnik seit langem bekannten Untersuchungen von Weston /5/. Das zweite Modell nach Rea /6/ wird in Abschnitt 4 erklärt. Beide Modelle werden anschließend in Abschnitt 5 verglichen. In Abschnitt 6 werden einige praktische Anwendungen behandelt. Doch zunächst sollen im folgenden Abschnitt 2 die hier verwendeten Begriffe Sehleistung und relative Sehleistung näher spezifiziert werden.

2. Zum Begriff Sehleistung

In der Arbeitswissenschaft wird die Arbeitsleistung durch die zur Erledigung einer Arbeitsaufgabe erforderliche Zeit und die dabei gemachten Fehler beschrieben. Entsprechend wurde auch bei den erwähnten Beleuchtungsexperimenten verfahren. Gemessen wurden z.B. Such- und Reaktionszeiten in Abhängigkeit vom Beleuchtungsniveau, die sich im Allgemeinen aus einer visuellen, also beleuchtungsabhängigen, und einer motorischen, weitgehend beleuchtungsunabhängigen Komponente zusammensetzen. Um den Beleuchtungseinfluss allein auf die visuelle Leistung zu erfassen, muss der motorisch bedingte Zeitanteil außer Betracht bleiben. In diesem Sinne wird unter Sehleistung nur die rein visuell bedingte Leistungskomponente verstanden.

Ferner wird zwischen Sehleistung und relative Sehleistung unterschieden. Die Sehleistung ist proportional zur vereinbarten Leistungsmaßzahl, z.B. der Geschwindigkeit, mit der eine Sehaufgabe verrichtet wird, eventuell korrigiert mit einer Fehlermaßzahl. Sie ist eine Absolutgröße, normiert auf den Zahlenbereich von 1 bis 100. Davon unterschieden wird die sog. relative Sehleistung, die auf diejenige Sehleistung bezogen wird, die bei dem gleichen Sehobjekt bei sehr hohen Beleuchtungsniveaus maximal erreichbar ist. Bei den erwähnten Untersuchungen von Hentschel und Lindner handelt es sich in diesem Sinne um relative Sehleistungen.

3. Sehleistungsmodell basierend auf den Daten von Weston

Die in der Beleuchtungstechnik gut bekannten Untersuchungen von Weston sind in hervorragender Weise als Datenquelle für ein Sehleistungsmodell geeignet:

- die Sehleistungsvariablen Beleuchtungsniveau, Sehobjektkontrast und Detailgröße umfassen den für die Innenbeleuchtung relevanten Bereich
- die ermittelten Daten enthalten nur die visuelle Sehleistungskomponente
- die Ergebnisse sind gut dokumentiert.

Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, regelmäßig auf weißem Papier (Reflexionsgrad 84 %) gedruckte, schwarze Landoltringe zeilenweise zu lesen und von einer Normalstellung abweichende Schlitzorientierungen zu

markieren. Gemessen wurde einmal die zum Auffinden der speziellen Schlitzöffnung erforderliche Suchzeit, von der die zum Markieren benötigte Durchstreichzeit (je nach Versuchsvariable zwischen 0,6 und 0,7 s) abgezogen wurde. Ferner wurde die Anzahl der richtig markierten Landoltringe ermittelt. Es wurde ein sog. Richtigkeitsfaktor als Verhältnis von richtig markierten Zeichen zu insgesamt dargestellten Zeichen ermittelt. Als Leistungsmaß definiert wurde der Kehrwert der pro Suchzeichen gemessenen Suchzeit multipliziert mit dem Richtigkeitsfaktor. Die Experimente wurden bei folgenden Variablen durchgeführt:

- Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche:
E = 5,4 Lux; 21,5 Lux; 86,1 Lux; 344,3 Lux; 1377 Lux; 5509 Lux
- Sehwinkel der Schlitzöffnungen bei einem Beobachtungsabstand von 0,33 m:
 $\alpha = 1,5'; 3,0'; 4,5'$
- Sehobjektkontraste:
C = 0,97; 0,56; 0,39; 0,28.

Für die folgenden Analysen wurden die in Tabelle III bei Weston dargestellten Daten herangezogen. Das sind also die mittleren Suchgeschwindigkeiten zum Auffinden eines Landoltringes multipliziert mit dem Richtigkeitsfaktor, der bis auf die sehr kleinen und kontrastschwachen Zeichen praktisch bei 1 lag.

Tabelle 1 enthält die dem Sehleistungsmodell zugrunde liegenden Daten. Dabei wurden zum Zwecke der besseren Anschaulichkeit die von Weston ermittelten Suchgeschwindigkeiten auf den gemessenen Maximalwert $0,575 \text{ s}^{-1}$ normiert, der bei dem größten Beleuchtungsniveau (E = 5509 Lux), dem größten Sehobjektkontrast (C = 0,97) und der größten Detailgröße ($\alpha = 6'$) ermittelt wurde. Dieses Verhältnis wurde ferner mit dem Faktor 100 multipliziert und wird im Folgenden mit Sehleistung P bezeichnet. Zum Beispiel hat Weston bei einem Beleuchtungsniveau von 344,3 Lux, einem Sehobjektkontrast von 0,56 und einer Detailgröße von $3'$ eine Suchgeschwindigkeit von $0,47 \text{ s}^{-1}$ gemessen. Daraus folgt dann der in Tabelle 1 angegebene Wert für die Sehleistung von $P = 81,7$ ($= 100 \cdot 0,47 / 0,575$).

Die von Weston gemessenen Sehleistungen werden hier durch folgende Funktion approximiert:

$$P = 100 \frac{1}{1 + \left(\frac{L_u}{L_o}\right)^{-0,6}} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{z}{1,12}\right)^{-2,5}} \quad \text{mit} \quad L_o = 5,7 \cdot (\alpha C)^{-3}; \quad z = \alpha C^{0,5}; \quad (1)$$

Es bedeuten:

- P Sehleistung im Bereich zwischen 0 und 100
- L_u Adaptationsbestimmende Umfeldleuchtdichte ($= 1/\pi \cdot \rho \cdot E$) in cd/m^2
- α Kritische Detailgröße der Landoltringe in Bogenminuten
- C Leuchtdichtekontrast der Sehobjekte ($= \Delta L/L_u$)
- ρ Reflexionsgrad der Sehobjekte ($= \dots 1$)
- E Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsvorlage in Lux

Zum Beispiel erhält man nach Gl. (1) für eine Sehaufgabe mit $C = 0,56$ und $\alpha = 3'$ bei einer Beleuchtungsstärke von $344,3$ Lux eine Sehleistung $P = 79,2$. Das heißt, dass bei dieser Sehaufgabe $79,2\%$ derjenigen Sehleistung im Sinne einer Suchgeschwindigkeit möglich ist, die unter günstigsten Sehbedingungen maximal erreichbar ist. Günstigste Sehbedingungen liegen vor, wenn eine weitere Erhöhung der Sehleistungsvariablen Beleuchtungsniveau, Kontrast und Sehhobjektdetail keine Verbesserung der Sehleistung zur Folge hat.

Die Modellfunktion Gl.(1) zur Bestimmung der Sehleistung setzt sich bis auf den Normierungsfaktor 100 aus 2 psychometrischen Teilfunktionen zusammen. (Funktionen vom Typ einer sog. psychometrischen Funktion bilden sehr gut sinnessphysiologische Vorgänge ab. Sie verlaufen bei linear-logarithmischer Darstellung S-förmig und nähern sich den Grenzwerten 0 und 1 asymptotisch an). Die erste Teilfunktion hängt von allen drei Sehleistungsvariablen L_u , α und C ab, die zweite nur von α und C . Gl. (1) bildet natürlich auch die experimentell immer wieder bestätigte Eigenschaft ab, dass bei sehr hohen Umfeldleuchtichten die Sehleistung einem Maximalwert zustrebt. Dieser Maximalwert ist identisch, wiederum bis auf den Faktor 100, mit der zweiten Teilfunktion von Gl.(1), da dann die erste Teilfunktion den Wert 1 annimmt. Für die maximale Sehleistung gilt daher:

$$P_{\max} = 100 \frac{1}{1 + \left(\frac{z}{1,12}\right)^{-2,5}} \quad (2)$$

Zum Beispiel erhält man für die Sehaufgabe mit $C = 0,56$ und $\alpha = 3'$ bei sehr hohen Beleuchtungsniveaus eine maximale Sehleistung $P_{\max} = 85,1$.

Bezieht man die bei einem bestimmten Sehobjekt erzielbare Sehleistung auf den bei sehr hohen Beleuchtungsniveaus erreichbaren Maximalwert, so erhält man die sog. relative Sehleistung. Dafür gilt nach der Gl. (1) und Gl. (2):

$$p = 100 \frac{P}{P_{\max}} = 100 \frac{1}{1 + \left(\frac{L_u}{L_o}\right)^{-0,6}} \quad (3)$$

Die relative Sehleistung wird im Folgenden mit p bezeichnet und als Prozentwert interpretiert. Zum Beispiel erhält man für die Sehaufgabe mit $C = 0,56$ und $\alpha = 3'$ bei einer Beleuchtungsstärke von $E = 344,3$ Lux bzw. einer Umfeldleuchtichte von $L_u = 92,1$ cd/m^2 (Reflexionsgrad 84) wie erwähnt eine Sehleistung $P = 79,2$. Daraus folgt dann mit $P_{\max} = 85,1$ eine relative Sehleistung von $p = 93,1\%$.

Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, besteht zwischen gemessenen und modellierten Sehleistungen eine angemessene Übereinstimmung. Über alle Messdaten gemittelt liegt die Betragsabweichung bei $11,6\%$. Lässt man die auffällige Abweichung von 199% bei den Variablen $E = 5,4$ Lux, $C = 0,28$ und $\alpha = 1,5'$ außer Betracht, dann beträgt die mittlere Betragsabweichung $9,1\%$. Dieses Ergebnis spricht für die Relevanz der Modellgleichung (1).

Tabelle 1:

Modelldaten der Sehleistung in Abhängigkeit vom Beleuchtungsniveau, dem Seheobjektkontrast und dem Sehwinkel des kritischen Sehdetails. Die Spalten W enthalten die Originaldaten nach Weston, normiert auf einen Maximalwert von 100. Die Spalten M enthalten die nach Gl. (1) berechneten Sehleistungen.

Beleuchtungsstärke E in Lux	Kontrast C Sehwinkel α	0,97		0,56		0,39		0,28	
		W	M	W	M	W	M	W	M
5,4	1,5'	31,3	31,5	8,7	12,5	5,2	5,8	0,9	2,6
	3'	70,3	69,6	52,2	45,7	27,8	29,5	13,9	17,6
	4,5'	87,0	83,9	62,6	66,4	48,7	50,6	36,5	35,5
21,5	1,5'	41,7	44,9	10,3	21,7	10,4	11,1	4,0	5,4
	3'	83,5	80,6	62,6	61,9	45,2	45,6	27,8	30,6
	4,5'	93,9	90,8	78,3	79,6	62,6	67,5	47,8	53,3
86,1	1,5'	50,4	55,0	27,8	32,0	19,1	18,7	8,7	10,0
	3'	87,8	86,6	73,9	73,1	60,0	59,7	40,0	45,0
	4,5'	97,4	94,1	88,7	87,1	74,8	79,0	58,3	68,2
344,3	1,5'	57,4	60,8	36,5	39,9	28,7	26,1	12,2	15,7
	3'	91,3	89,4	81,7	79,2	67,8	68,6	48,7	56,1
	4,5'	99,1	95,6	94,8	90,8	83,5	85,1	66,1	77,2
1377	1,5'	60,0	64,1	45,2	45,3	37,4	32,3	15,7	21,6
	3'	92,8	90,8	84,4	82,5	72,2	74,0	55,7	63,7
	4,5'	100,0	96,4	96,5	92,6	86,1	88,4	69,6	82,5
5509	1,5'	60,9	65,5	48,7	47,9	42,6	35,8	19,1	25,5
	3'	92,2	91,4	85,2	83,9	74,8	76,4	59,1	67,4
	4,5'	100,0	96,7	97,4	93,4	87,0	89,8	71,3	84,9

4. Sehleistungsmodell nach Rea

Das von Rea und Quelette entwickelte Modell beruht auf Daten, die für zwei unterschiedliche Sehaufgaben erhalten wurden/6/. Die eine Aufgabe der Versuchsperson bestand darin, auf einer Papiervorlage Paare von fünfstelligen Ziffern mit einer Vorlage zu vergleichen und Abweichungen zu markieren. Gemessen wurde die dazu erforderliche Zeit, wobei wiederum die Markierungszeit von der gemessenen Suchzeit abgezogen wurde. In einer zweiten Messreihe wurde die Reaktionszeit zur Identifikation eines auf einem Bildschirm dargestellten Zeichens ermittelt, das zufallsartig eingeblendet wurde. Auch hier wurde die Dauer des Drückens einer Reaktionstaste eliminiert. In beiden Experimenten wurden die gemessenen Zeiten auf eine Referenzsituation bezogen, in der minimal mögliche Zeiten ermittelt wurden. Ferner wurden von den gemessenen Such- bzw. Reaktionszeiten diejenigen Zeiten abgezogen, die zur Zeichenerkennung an der Schwelle nötig waren. Die Experimente wurden für folgende Variablen durchgeführt:

- Umfeldleuchtdichte: $L_u = 0,02$ bis 169 cd/m^2
- Seheobjektkontrast: $C = 0,092$ bis $0,894$
- Kritische Seheobjektgröße: $\alpha = 4,7'$ bis $39,2'$

Als kritische Seheobjektgröße wurde die Kantenlänge des flächengleichen Quadrates der realen Zeichenfläche definiert. Deren Messung erfolgte mit einer bildverarbeitenden Leuchtdichtekamera.

Die Modellgleichungen zur Ermittlung der relativen Sehleistung bestehen aus einer Folge von relativ kompliziert aufgebauten empirischen Näherungsgleichungen, die nach /6/ wie folgt lauten:

Eingangsgrößen:

L_u : Adaptationsbestimmende Umfeldleuchtdichte in cd/m^2

α : Kritischer Sehobjektwinkel in Bogenminuten

C: Leuchtdichtecontrast der Zeichen

Berechnungsgrößen:

Altersfaktor: $P = 1 - 0,017 (a - 20)$; a = Alter in Jahren (hier a=22)

Pupillenradius: $r = 2,386 - (1,22 \cdot \tanh(0,3 \cdot \log(L_u)))$ in mm

Retinale Beleuchtungsstärke: $I_R = P \cdot L_u \cdot \pi \cdot r^2$ in Troland

Raumwinkel des kritischen Sehobjektdetails: $\omega = \alpha^2$ in sr

Modellkonstanten: $A = \log(\tanh(20\,000 \omega))$ $L = \log(\lg(10 \cdot I_R/\pi))$

$A^* = \log(\tanh(5000 \omega))$ $L^* = \log(\tanh(0,04 \cdot I_R/\pi))$

$K = 10^{(-1,763 - 0,175 \cdot A^* - 0,031 \cdot L^* + 0,112 \cdot A^{*2} + 0,171 \cdot L^{*2} + 0,062 \cdot A^* \cdot L^*)}$

$\varepsilon = 1 + ((0,113/45)(a - 20))$

$R_{max} = 0,000196 \lg(I_R) + 0,00270$

$RT_{ref} = 305,38 \text{ ms}$ $RVP' = 0,998$

$\Delta T_{vis,r} = -800 \text{ ms}$ $\Delta T'_{vis} = -22,99 \text{ ms}$

Schwellencontrast: $C' = \varepsilon \cdot 10^{(-1,364 - 0,179 \cdot A - 0,813 \cdot L + 0,226 \cdot A^2 - 0,077 \cdot L^2 + 0,169 \cdot A \cdot L)}$

Kontrastdifferenz: $\Delta C = |C - C'|$

Suchleistung: $R = \Delta C^{0,97} \cdot R_{max} / (\Delta C^{0,97} + K^{0,97})$

Suchzeit: $\Delta T_{vis} = RT_{ref} - 1/R$

Sehleistung: $RVP = RVP' \cdot \frac{\Delta T_{vis} - \Delta T_{vis,r}}{\Delta T'_{vis} - \Delta T_{vis,r}} \cdot 100$ (4)

5. Vergleich beider Modelle

Den Zusammenhang zwischen den Modellvariablen Beleuchtungsniveau, Kontrast und Detailabmessungen der Sehobjekte und der relativen Sehleistung zeigen die Abb. 1 und 2. Dargestellt ist jeweils die Sehleistung in Abhängigkeit vom Beleuchtungsniveau. Parameter der Kurven sind der Kontrast und die Detailgröße der Sehobjekte, die nach der Zuordnung von Tabelle 2 unterschiedliche Schwierigkeitsgrade der Sehaufgabe kennzeichnen.

In Tabelle 2 wurden Sehaufgaben als leicht eingestuft, wenn die relative Sehleistung mindestens bei 90 % liegt. Mittelschwierige Sehaufgaben ermöglichen eine relative Sehleistung von etwa 50 bis 90 %, schwierige von unterhalb etwa 25 %.

Tabelle 2:

Sehobjektkontraste und kritische Detailabmessungen zur Kennzeichnung unterschiedlich schwieriger Sehaufgaben.

Sehaufgabe	Sehobjektcontrast C	Kritische Detailgröße α
leicht	0,9	3'
mittelschwierig	0,9	1,5'
schwierig	0,3	1,5'

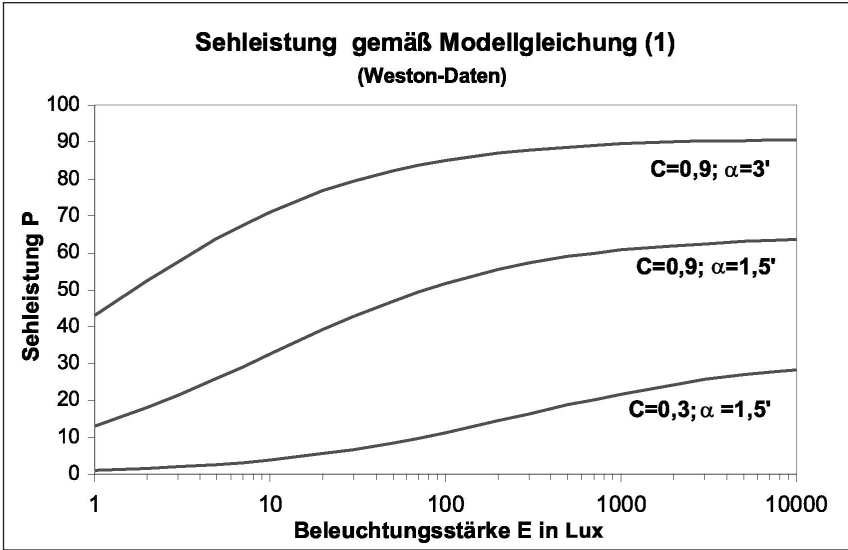


Abb. 1: Sehleistung nach der Modellgleichung (1) in Abhängigkeit vom Beleuchtungs-niveau. Parameter sind Kontrast und Detailgröße des Sehobjektes

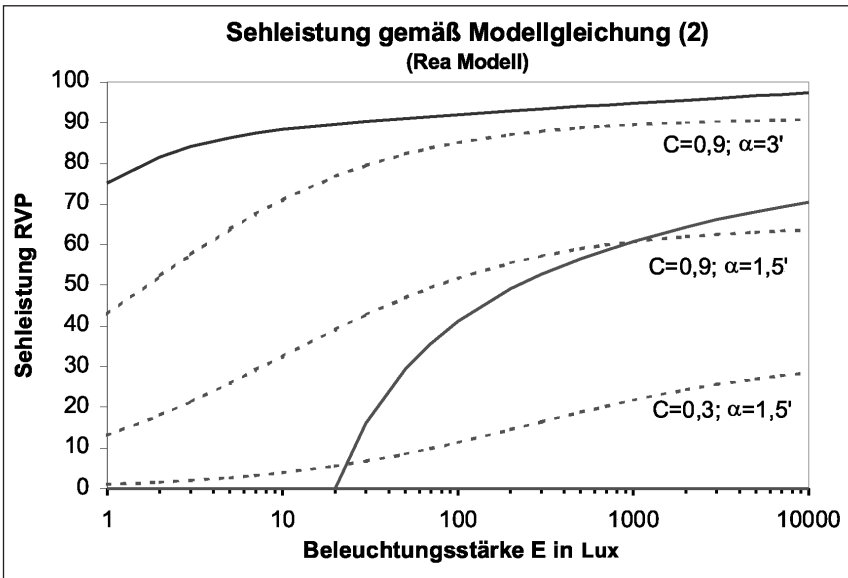


Abb. 2: Sehleistung nach der Modellgleichung (4), (dicke ausgezogene Kurven). Zum Vergleich sind mit der Modellgleichung (1) berechneten Werte (gestrichelt) eingezeichnet.

Abb. 1 und 2 zeigen einmal übereinstimmend, dass mit wachsendem Beleuchtungsniveau die Sehleistung einem Grenzwert zustrebt, der umso höher liegt, je einfacher die Sehaufgabe ist. Im Detail bestehen aber zwischen beiden Modellen erhebliche Unterschiede. Einigermmaßen Übereinstimmung besteht bei einfachen bis mittelschwerigen Sehaufgaben. Schwierige Sehaufgaben werden jedoch mit dem Modell nach Rea erheblich kritischer bewertet. Zum Beispiel strebt bei dem auf den Daten von Weston beruhenden Modell die Sehleistung für die schwierige Sehaufgabe (Sehobjektkontrast $C = 0,3$, Detailabmessung $\alpha = 1,5'$) einem Grenzwert von etwa 25 zu, während mit dem Rea-Modell für dieses Sehobjekt die Sehleistungsdaten selbst bei sehr hohen Beleuchtungsniveaus gleich Null sind.

Ursache dafür ist vermutlich die unterschiedliche Definition der Sehleistung. Wie erwähnt, wird bei dem Rea-Modell die Sehleistung in der Schwellensituation, bei der also das Sehobjekt gerade erkannt wird, künstlich zu Null gesetzt. Dieses Sehleistungsmodell besitzt keinen echten Nullpunkt. Tatsächlich werden aber auch in Schwellensituationen durchaus endliche Sehleistungswerte erzielt/2/.

Beide Modelle unterscheiden sich auch in der Definition des kritischen Sehobjektdetails. Bei dem auf den Daten von Weston beruhenden Modell bezieht sich der Sehwinkel α auf die Ausdehnung eines kritischen Details, bei dem Rea-Modell dagegen auf die Ausdehnung eines Quadrates, das die gleiche Fläche aufweist wie das flächenmäßig strukturierte Sehobjekt. Es scheint, dass beide Definitionen annähernd gleichwertig sind.

6. Modellanwendungen

Die folgenden Betrachtungen werden mit Hilfe des auf den Daten von Weston beruhenden Modells durchgeführt, das einmal erheblich einfacher zu handhaben ist und zudem den Vorteil eines echten Nullpunktes aufweist, wodurch schwierige Sehaufgaben vermutlich realistischer bewertet werden.

Die Anwendung dieses Modells auf reale Sehaufgaben setzt voraus, dass die realen Sehobjekte sich durch ein charakteristisches Sehobjektdetail beschreiben lassen, das dem Testzeichen Landoltring zugeordnet werden kann. Besteht z.B. die Sehaufgabe in der Auflösung zweier Punkte, so wird üblicherweise der Punktabstand der Schlitzbreite des Landoltringes zugeordnet. Bei alpha-numerischen Zeichen entspricht das kritische Detail erfahrungsgemäß etwa der Zeichenbreite oder etwa 1/5 der Schrifthöhe.

Im Folgenden werden 3 Anwendungsfälle betrachtet. Erstens wird der Frage nach der Sehleistung beim Lesen von alpha-numerischen Zeichen nachgegangen, einer typischen Aufgabe im Bürobereich. Zweitens soll der generelle Einfluss des Beleuchtungsniveaus auf die Sehleistung betrachtet werden. Drittens schließlich soll untersucht werden, welcher Leistungsgewinn bei einer definierten Beleuchtungssteigerung zu erwarten ist.

Typische Sehleistungen im Bürobereich

Übliche Texte werden bei Vorlagen im A4-Format mit Schriftgraden zwischen 6 und 20 geschrieben. Zum Beispiel ergibt ein Schriftgrad 11 im A4-Format eine

Schriftgröße für kleine Buchstaben von etwa 2,20 mm bzw. von 1,54 mm bei Verkleinerung auf A5 wie bei dem vorliegenden Tagungsband, wenn mit einem Verkleinerungsfaktor von 0,7 gerechnet wird. Daraus folgt eine kritische Detailgröße

Sehleistung und Sehobjekteigenschaften

Konstante Parameter:

Beleuchtungsniveau: 500 Lux
Umfeldleuchtdichte: 119 cd/m² ($\rho = 0,75$)
Beobachtungsabstand: 500 mm

Sehleistungsgrößen

- **Sehleistung P (0...100)**
- **relative Sehleistung $p = P/P_{\max}$ in %**

Sehobjekteigenschaften

- **Leuchtdichtekontrast C**
- **Verkleinerungsfaktor: 0,70**
- **Detailgröße α (in Bogenminuten)**
- **Zeichenhöhe/A5-Format in mm**



	Kontrast	Detail	Leistung	
	C	α	P	p
Hoher Kontrast 				
Schriftgrad/Höhe: 20/2,80	0,9	3,85	93,4	98,3
Schriftgrad/Höhe: 16/2,24	0,9	2,70	85,9	96,8
Schriftgrad/Höhe: 11/1,54	0,9	2,12	77,3	95,2
Schriftgrad/Höhe: 8/1,12	0,9	1,54	60,6	91,8
Geringer Kontrast 				
Schriftgrad/Höhe: 20/2,80	0,3	3,85	73,8	88,9
Schriftgrad/Höhe: 16/2,24	0,3	2,70	53,9	80,9
Schriftgrad/Höhe: 11/1,54	0,3	2,12	38,2	73,3
Schriftgrad/Höhe: 8/1,12	0,3	1,54	20,0	60,7

Abb. 3: Demonstration von Sehobjekten, die sich in ihrem Kontrast C und ihrer Detailgröße α unterscheiden. Die dazugehörigen Sehleistungen P und die relativen Sehleistungen p wurden nach Gl. (1) bzw. Gl. (3) berechnet.

von 0,308 mm (= 1,54/5) und bei einem Beobachtungsabstand von 50 cm ein Sehwinkel für das kritische Detail von $\alpha = 2,12'$.

Abb. 3 zeigt Schriftzeichen unterschiedlicher Größe bei zwei verschiedenen Leuchtdichtekontraste wobei die den Berechnungen zu Grunde gelegten Kontrastwerte von $C = 0,9$ bzw. $C = 0,3$ aus drucktechnischen Gründen mehr oder weniger vom Idealwert abweichen werden. Die Werte für die Sehleistung P und die relative Sehleistung p wurden gemäß Gl.(1) und Gl.(3) für ein Beleuchtungsniveau von 500 Lux berechnet. Wie ersichtlich, wird bei kontrastreichen Zeichen der angestrebte Wert für die relative Sehleistung von $p = 95\%$ für Schriftgrade größer 11 überschritten, bei kontrastarmen Darstellungen allerdings nicht. Hier würde eine entsprechende Erhöhung des Beleuchtungsniveaus die Lesbarkeit der Zeichen weiter erhöhen.

Sehleistung und Beleuchtungsniveau

Tabelle 3 zeigt die nach Gl.(1) und Gl.(3) berechneten Sehleistungen für typische Beleuchtungsniveaus in der Innenbeleuchtung bei unterschiedlich schwierigen Sehaufgaben. Kritisch sind danach relativ kleine Sehobjektdetails unterhalb etwa $2'$, bei denen selbst bei hohen Sehobjektkontrasten nur Sehleistungswerte unterhalb von 50 erreicht werden. Tabelle 3 zeigt aber auch, dass die in der Beleuchtungstechnik angestrebten 95 %-Werte für die relative Sehleistung nur bei den hier als leicht eingestuften Schwierigkeitsgraden der Sehobjekte erreichbar sind. Bei schwierigen Sehaufgaben muss mit relativen Sehleistungen unter 50 % gerechnet werden.

Tabelle 3: Erzielbare Sehleistung je nach Beleuchtungsniveau und Schwierigkeit der Sehaufgabe, berechnet nach Gl.(1) und Gl.(3). Reflexionsgrad des Untergrundes 0,75.

Beleuchtungsniveau	Sehleistung P			relative Sehleistung p in %		
	leicht	mittel	schwierig	leicht	mittel	schwierig
300 Lux	87,9	57,2	16,4	96,5	88,7	52,0
500 Lux	88,8	59,0	18,8	97,4	91,4	59,6
1000 Lux	89,6	60,8	21,8	98,3	94,2	69,1
Maximalwert	91,1	64,5	31,5	100	100	100

Sehleistungsgewinn und Beleuchtungsniveau.

Im Folgenden wird auf die Frage nach der Sehleistungsänderung bei Erhöhung oder Reduzierung des Beleuchtungsniveaus eingegangen. Ein typisches Beispiel zeigt Abb. 4. Dargestellt ist dort der Gewinn an Sehleistung bei einer Beleuchtungserhöhung von 10 %. Danach wird der erzielbare Gewinn sowohl vom Beleuchtungsniveau als auch von der Schwierigkeit der Sehaufgabe bestimmt. Bei schwierigen Sehaufgaben ist der Gewinn an Sehleistung bzw. Arbeitsschwindigkeit bei etwa 500 Lux am größten und beträgt hier $\Delta P = 0,43$ Leistungseinheiten. Der Gewinn an relativer Sehleistung liegt in diesem Beispiel bei $\Delta p = 1,37\%$. In Tabelle 4 sind diese Betrachtungen auch für den Fall einer Beleuchtungserhöhung von 50 % dargestellt. Berechnet wurde auch der Gewinn an relativer Sehleistung.

Tabelle 4: Sehleistungsgewinn ΔP bei einer Beleuchtungserhöhung von 10 % und 50 %. Die Werte in Klammern enthalten den prozentualen relativen Sehleistungsgewinn $\Delta p = 100 \Delta P/P_{\max}$

Beleuchtungs-niveau	Beleuchtungserhöhung 10%			Beleuchtungserhöhung 50%		
	Schaufgabe			Schaufgabe		
	leicht	mittel	schwierig	leicht	mittel	schwierig
300 Lux	0,17 (0,19)	0,36 (0,56)	0,45 (1,43)	0,68 (0,74)	1,43 (2,22)	1,90 (6,01)
500 Lux	0,13 (0,14)	0,28 (0,44)	0,43 (1,37)	0,51 (0,56)	1,11 (1,72)	1,78 (5,70)
1000 Lux	0,087 (0,096)	0,20 (0,31)	0,38 (1,21)	0,34 (0,37)	0,78 (1,20)	1,56 (4,94)
P_{\max}	91,2	64,5	31,6	91,2	64,5	31,6

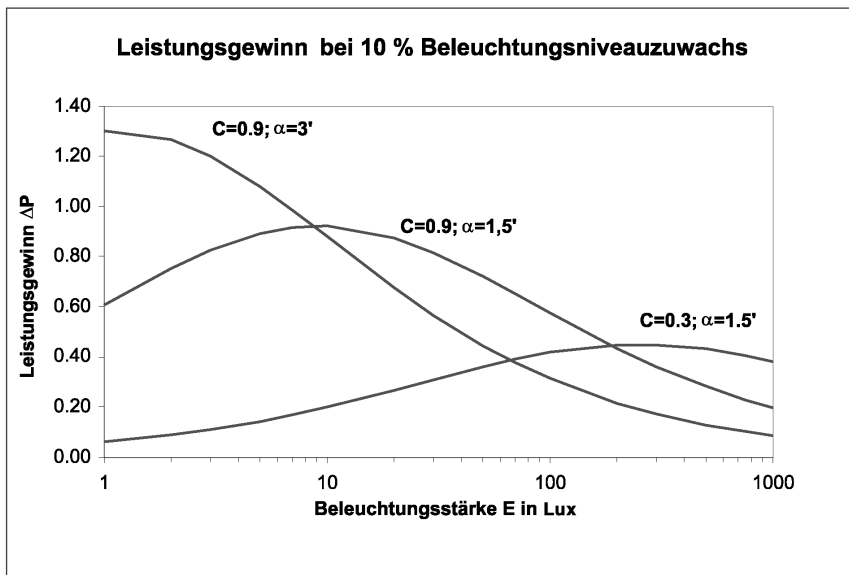


Abb. 4: Gewinn an Sehleistung ΔP bei einer Erhöhung des Beleuchtungsniveaus um 10 % berechnet mit Hilfe von Gl. (1).

Diese Analysen zeigen, dass bei schwierigen Schaufgaben, z.B. Seheobjektetails unterhalb etwa 2', die durchaus z.B. auch im Bürobereich anzutreffen sind, das angestrebte Leistungsniveau für die relative Sehleistung von 95 % nicht immer erreicht wird. Aus dieser Sicht sind die heutigen Richtwerte für die empfohlenen Beleuchtungsstärken sicher nicht zu hoch angesetzt. Modellanalysen sind eine fundierte Methode, die tatsächlichen Zusammenhänge zwischen Beleuchtungsniveau und Sehleistung klar aufzuzeigen.

Literatur:

- /1/ Völker, S., Eignung von Methoden zur Ermittlung eines notwendigen Beleuchtungsniveaus, Dissertation an der TU Ilmenau, 1999
- /2/ CIE – Publication No 19/1, 19/2, An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance, Vol. I, Vol. II, Paris, 1981
- /3/ Hentschel, H.J., Zur Frage der leistungsorientierten Bewertung der Beleuchtung, Lichttechnik 23, Nr. 5, S. 304-307, 1971
- /4/ Lindner, H., Einfluß des Beleuchtungsniveaus auf visuell-motorische Leistungen, Lichttechnik 28, Nr. 7, S. 299-305, 1976
- /5/ Weston, H.C., The relation between illumination and visual efficiency – The effect of brightness contrast, Industrial Health Research Report No 87, Great Britain Medical Research Council, 1945
- /6/ Rea, M.S., Quelette, M.J., Relative visual performance: A basis for application, Light.Res. Technol. 23(3), p. 135-144, 1991

Licht im Büro, eine Herzensangelegenheit?

Ariadne Tenner, Grażyna van Lith-Górnicka, Johan van Kemenade

Zusammenfassung

Dass Licht einen Einfluss, abgesehen vom Sehen, auf die Arbeitsleistung und Stimmung von Menschen hat, wird allgemein angenommen, eine quantitative Bewertung fehlt allerdings noch.

Um psychologische und physiologische Effekte der Beleuchtung zu untersuchen braucht man Methoden, die möglichst objektiv Ermüdung, Stimmung, Aktivierungsniveau oder Stress messen. Diese Methoden dürfen die Effekte, die sie messen sollen, nicht beeinflussen.

Wir haben dazu mehrere psychologische Tests sowie die Herzschlagvariabilität experimentell auf ihre Brauchbarkeit für die oben genannten Messungen unter verschiedenen Lichtverhältnissen durchgeführt. Von der Herzschlagvariabilität (Schwankungen der Herzfrequenz) ist bekannt, dass sie bei größerer geistigen Anstrengung niedriger wird.

Diese Experimente und die Brauchbarkeit von den verschiedenen psychologischen Tests und der Herzschlagvariabilität für die Auswertungen von Lichtverhältnissen werden diskutiert.

1. Einleitung

Die Produktivität und das Wohlbefinden des Büroarbeiters werden heutzutage immer wichtiger. Allgemein herrscht die Meinung vor, dass die Produktivität steigt, wenn der Büroarbeiter sich wohl fühlt in seiner Arbeitsumgebung. Wenn die Rolle der Beleuchtung betrachtet wird, spricht man meistens über die Beleuchtungsstärke (aufgrund der visuellen Leistung) und den Komfort der Beleuchtung. Mit Komfort wird dann die Abwesenheit von Störungen der Beleuchtung wie Spiegelung und Blendung gemeint. Aber wie und inwiefern die Beleuchtung die Produktivität beeinflusst (außergewöhnlich schlechte Situationen nicht mitgerechnet) ist schwer zu bestimmen /1/. Der Effekt der Beleuchtung ist fast nicht von den Effekten von anderen Umgebungsfaktoren und persönlichen Umständen zu trennen, dazu kommt noch die Frage, wie die Produktivität von Büroarbeitern definiert werden kann.

Es gibt aber Hinweise, dass Licht tatsächlich einen Einfluss auf Aufmerksamkeit und Ermüdung hat. Untersuchungen, die wir durchgeführt haben, haben gezeigt, dass eine hohe Beleuchtungsstärke die Ermüdung verzögern kann. Es wurde

Dr. Ariadne Tenner
Drs. Grażyna van Lith-Górnicka
Dr. Johan van Kemenade
Philips Lighting BV
Building EDX, P.O. Box 80020, NL-5600 JM Eindhoven

eine Korrelation gefunden zwischen der Zeit, die die Versuchspersonen ununterbrochen im Büro saßen, und der Beleuchtungsstärke, die sie einschalteten /2/.

Eine andere Reihe von Untersuchungen nach der Wirkung der Beleuchtung auf die Stimmung und Leistung von Versuchspersonen hat gezeigt, dass Beleuchtung, die sich im Lauf des Tages verändert (wie Tageslicht), eine positivere Auswirkung auf Stimmung und Aktivierungsniveau hat als eine konstante Beleuchtung/3/.

Um zu messen wie aktiv oder ermüdet eine Versuchsperson ist, kann man am besten objektive Methoden verwenden, wobei die Versuchsperson möglichst wenig direkten Einfluss auf die Messung haben sollte. Wenn man dagegen eine Versuchsperson fragt, wie müde sie sich fühlt, wird eine subjektive Antwort gegeben, und die Antwort stimmt nicht immer mit dem wirklichen Zustand überein. Objektive Methoden sind zum Beispiel spezielle psychologische Tests oder das Messen von Körperfunktionen.

In den hier beschriebenen Untersuchungen sind beide Methoden verwendet worden. Unter verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen haben die Versuchspersonen die Testaufgaben gemacht, während der Begleiter die Zeit aufnahm. Mittels auf die Brust geklebter Elektroden wurde ständig ein Elektrokardiogramm (EKG) registriert. Aus diesem EKG wurde dann später die Herzfrequenz und die Herzschlagvariabilität berechnet. Die Herzschlagvariabilität ist ein Maß für die geistige Anstrengung /4/.

Wenn Licht eine aktivierende Wirkung hat, müsste es entweder einen Unterschied in der Leistung bei den psychologischen Tests oder bei gleicher Leistung, wegen der geistigen Anstrengung, einen Unterschied in Herzschlagvariabilität bei den verschiedenen Lichtverhältnissen geben.

2. Psychologische Tests

Die folgenden psychologischen Tests sind in diesen Untersuchungen als geistige Anstrengung verwendet worden.

Die Dauer einer Minute abschätzen. Das Tempo, womit die Zeit zu vergehen scheint, hängt höchstwahrscheinlich mit der Körpertemperatur und den Lichtverhältnissen zusammen. Im Dunkeln scheint die Zeit schneller zu vergehen als bei heller Beleuchtung. Und in einer informationsreichen Umgebung scheint die Zeit schneller zu vergehen als in einer informationsarmer Umgebung. Die geschätzte Länge einer Minute ist ein Maß für den Zustand der Erregung.

Substitutionsaufgabe. Bei dieser Aufgabe müssen Symbole von Ziffern ersetzt werden mit Hilfe von einem „Substitutionsschlüssel“. Die Aufgabe dauerte 4 Minuten. Mit diesem Test werden visuelles Erinnerungsvermögen, Aufmerksamkeit und Konzentration gemessen. Hierzu kann die Zahl der richtigen Substitutionen als Maß genommen werden.

Bourdon-Wiersma-Test. Dieser Test, wobei bestimmte Muster von Pünktchen angekreuzt werden müssen, gibt ein Maß für durchgehaltene Aufmerksamkeit.

Die benötigte Zeit und die Zahl der Auslassungen können als Maßstab gebraucht werden.

Stroop-Test. In diesem Test müssen die Namen von Farben angegeben werden. Der Test besteht aus drei Varianten, die unterschiedlich schwierig sind. Erstens müssen in schwarz gedruckte Namen von Farben vorgelesen werden, dann müssen die Farben von in drei Farben gedruckten Blöckchen genannt werden. Im dritten Test muss angegeben werden, in welcher Farbe die Farbwörter gedruckt sind. Zum Beispiel bei dem Wort GELB in roten Buchstaben gedruckt muss die Farbe (rot) gesagt werden und nicht das Wort (gelb) vorgelesen werden. Dieser Test gibt ein Maß für die Konzentration /5/.

Die Amsterdamer Stimmungsliste. Mit diesem Fragebogen kann die momentane Stimmung der Versuchsperson bestimmt werden /6/.

Weiterhin wurde nach jedem Test mit einer validierten Skala bestimmt, wie anstrengend die Arbeit (subjektiv) erfahren wurde /7/.

3. Herzschlagvariabilität

Das Herz klopft bei dem Mensch durchschnittlich 70mal pro Minute, das kann variieren zwischen 50 und mehr als 100 Schläge pro Minute. Die Herzfrequenz ist u.a. abhängig von der Körpertemperatur und körperlicher Anstrengung, aber auch von geistiger und emotionaler Belastung. Die Herzfrequenz ist keine Konstante, ist aber von Schlag zu Schlag verschieden, die sogenannte Herzschlagvariabilität, HRV (Heart Rate Variability). Atem und Blutdruckregulierung haben Schwankungen in der Herzfrequenz zur Folge. In Ruhe ist die Herzschlagvariabilität am größten, bei geistiger Anstrengung nimmt sie ab, das Herz klopft dann „regelmäßiger“.

Die HRV kann aus dem registrierten EKG bestimmt werden.

4. Hypothesen

Licht hat eine anregende Wirkung, was eine höhere HRV während des Testes bei höherer Beleuchtungsstärke zur Folge haben sollte. Das Letzte wird dadurch verursacht, dass die Tests weniger geistige Anstrengung bei höherer Beleuchtungsstärke erfordern. Der Einfluss der Farbtemperatur sollte in einer höheren HRV bei höherer Farbtemperatur erkennbar sein /8/.

5. Die Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden in einem als Büroraum eingerichteten Zimmer durchgeführt. Es gab in diesem Zimmer kein Tageslicht. Die Beleuchtung des Versuchsraumes war diffus und homogen. Dazu wurden 6 quadratische, prismatische Leuchten (60x60 cm²) mit 8 TLD 18 W (dreibanden) Leuchtstofflampen in zwei verschiedenen Farbtemperaturen (2700 und 6500K) verwendet. Die Steuerung der Lampen wurde von einem PC mit einem speziell entwickelten Programm zustande gebracht /9/. Mit diesem PC wurde auch das EKG gespeichert. Die Versuchsperson saß am Tisch mit den Elektroden auf die Brust geklebt und der Experimentator saß gegenüber dieser Person. Das Aufkleben der Elektroden wurde im Versuchsraum gemacht, während dessen die Versuchsperson am ersten Lichtverhältnis adaptieren konnte.

Die Versuchspersonen sind alle entweder zwei verschiedenen Beleuchtungsstärken (200 und 1600 lux) bei gleicher Farbtemperatur (3700K) oder zwei verschiedenen Farbtemperaturen (3100K und 4600K) bei gleicher Beleuchtungsstärke (200 lux) unterworfen worden. Die Höhe der Beleuchtungsstärke war so gewählt, dass keine Effekte von der visuellen Leistung zu erwarten waren, die Aufgaben waren unter allen Umständen gut sichtbar.

33 Versuchspersonen haben die Testreihe jeder bei 2 verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen gemacht. Die Reihenfolge der Verhältnisse war für die Hälfte der Versuchspersonen AB und für die andere Hälfte BA (randomisiert).

Die Versuchspersonen waren 23 Männer und 10 Frauen im Alter zwischen 25 und 60 Jahre, der Mittelwert betrug 42 Jahre.

Die gesamte Testsitzung dauerte etwa 90 Minuten. Es wurden hintereinander die folgenden Tests durchgeführt: eine Minute abschätzen, Substitutionsaufgabe, Bourdon-Wiersma und Stroop (siehe Abbildung 1). Zwischen den Tests wurde während einer 2 Minuten dauernden Pause die Versuchsperson gefragt, wie anstrengend die Aufgabe gewesen ist. Nach der Testreihe folgte eine längere Pause, in der die Amsterdamer Stimmungsliste ausgefüllt wurde und die Beleuchtung langsam und unauffällig verändert wurde. Danach wurde alle Tests und die Stimmungsliste noch einmal bei dem neuen Beleuchtungsverhältnis wiederholt.

Während der ganzen Zeit wurde das Elektrokardiogramm registriert und im PC gespeichert.

6. Ergebnisse

Durch die Weise, in der die Beleuchtungsverhältnisse angeboten wurden, sind eigentlich zwei unabhängige Versuche durchgeführt worden. Bei dem einen Versuch wurde die Beleuchtungsstärke variiert und bei dem anderen Versuch die Farbtemperatur. Die Ergebnisse können deshalb getrennt verarbeitet werden. In beiden Experimenten können drei unabhängige Faktoren unterschieden werden: die Versuchsperson, der Lerneffekt (zwischen erstem und zweitem Mal) und die Beleuchtung. Der Effekt von diesen drei Faktoren sollte untersucht werden.

Die Amsterdamer Stimmungsliste wurde nach jedem Beleuchtungsverhältnis ausgefüllt. Die Beleuchtungsverhältnisse hatten keinen signifikanten Effekt auf die Stimmung. Das zweite Mal zeigten die Faktoren Ängstig, Arrogant, Gewissenhaft und Launisch eine signifikante Verbesserung, was darauf hinweisen kann, dass die Versuchspersonen sich das zweite Mal durch Gewöhnung an die Situation wohler fühlten.

Durch unvorhergesehene Umstände war die Analysesoftware erst nach Beendigung der Versuche vorhanden, was zufolge hatte, dass sich erst dann erwies, dass einige EKG's nicht zu verarbeiten waren, weil sie zu viele Fehlanzeigen behielten.

Die Verarbeitung der Herzfrequenzdaten erwies sich als sehr kompliziert und zeitaufwendig, daher konnte hier keine komplette Analyse gegeben werden. Es folgt ein Beispiel der Daten von einer Versuchsperson.

Abbildung 1 gibt den Zeitverlauf des „Inter Beat Interval“ (Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Herzschläge) während den Testreihen. In dieser Figur ist zu sehen, dass die Herzfrequenz dauernd variiert (+/- 15 %). Mit Hilfe von Fourieranalyse kann die spektrale Leistungsdichte (Power Density) im mittleren Frequenzbereich (0.07-0.14 Hz) berechnet werden. Die Leistungsdichte im mittleren Frequenzbereich ist empfindlich für geistige Anstrengung /4,10/. Bei Anstrengung ist die Leistungsdichte niedrig und bei Ruhe hoch. Abbildung 2 zeigt die Leistungsdichte (Mittelwerte von 50 Sekunden Intervallen) während der Substitutionsaufgabe für eine Versuchsperson bei zwei Beleuchtungsverhältnissen (zuerst 4700K und danach 3100K). Man sieht, wie beim Anfang der Aufgabe die Leistungsdichte von dem hohen Ruhewert herunter sinkt, tief bleibt, und beim Ende wieder steigt. Der Effekt von der geistigen Anstrengung während der Aufgabe ist deutlich erkennbar.

Die HRV kann voraussichtlich als Maß der geistigen Anstrengung zum Vergleich verschiedener Beleuchtungsverhältnisse verwendet werden, dabei müssen jedoch die Aufgaben, die zur Anstrengung gebraucht werden, sehr sorgfältig ausgesucht und ausgeführt werden. Die Dauer der Anstrengung und die Dauer der Pausen sind ausschlaggebend für eine erfolgreiche Datenverarbeitung.

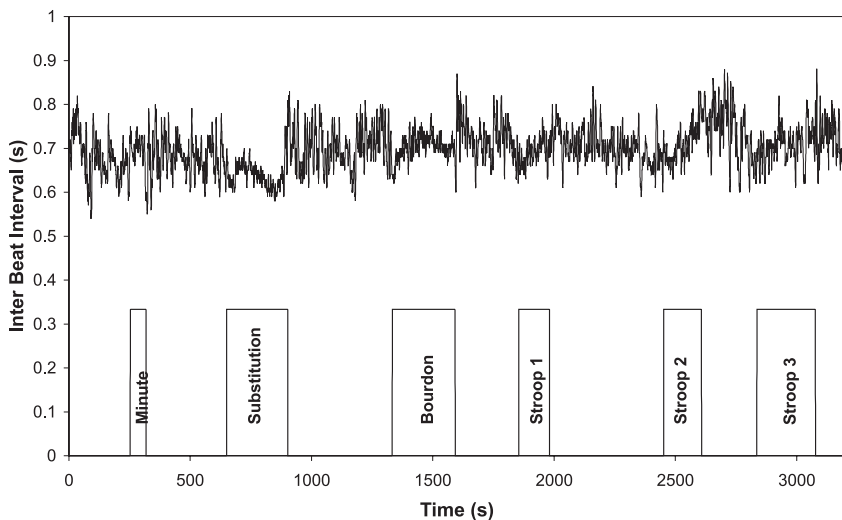


Abbildung 1: Die Zeit zwischen 2 aufeinanderfolgenden Herzschlägen (Inter Beat Interval) für eine Versuchsperson während der ersten Testreihe. Weiterhin ist angegeben, wann die Tests stattfanden. Zwischen den Tests waren Pausen.

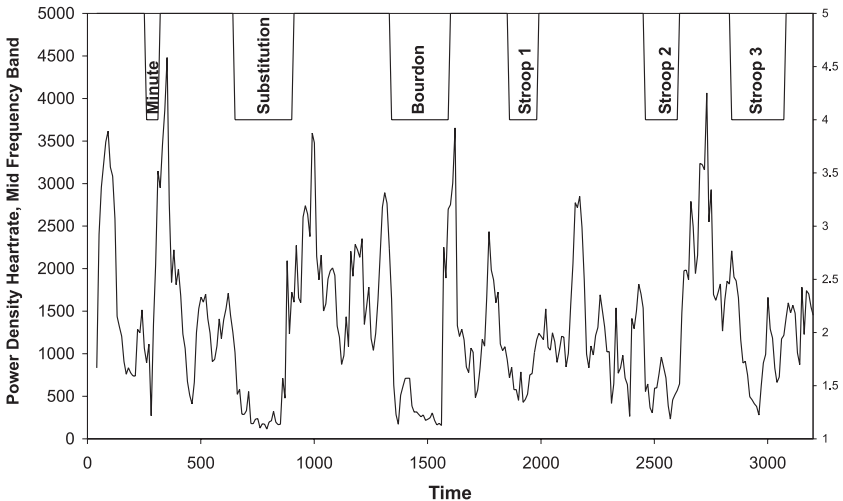


Abbildung 2: Die Leistungsdichte der Herzfrequenz im mittleren Frequenzbereich für dieselbe Versuchsperson von Abbildung 1 während der ersten Testreihe.

7. Schlussfolgerung

Die Zielsetzung dieser Versuche war die Brauchbarkeit der Herzschlagvariabilität als objektive Methode zur Bestimmung der Effekten von Beleuchtungsstärke und Farbtemperatur auf die geistige Anstrengung von Büroarbeiter zu untersuchen. Die Anstrengung wurde mit den psychologischen Tests zustande gebracht. Die Herzschlagvariabilität zeigt deutlich die geistige Anstrengung während der Aufgaben und könnte daher auch Effekte der Beleuchtung nachweisen. Weitere Verarbeitung der Daten ist dazu notwendig und werden demnächst durchgeführt.

Literaturverzeichnis

- /1/ Eklund N.H., Boyce P.R., Simpson S.N., (2000). Lighting and Sustained Performance, Journal of the IES vol. 29.
- /2/ Tops M., Tenner A.D., van den Beld G.J., Begemann S.H.A. (1998). The effect of continuous presence and other user behavior on the preferred illuminance in offices, Proceedings CIBSE National Lighting Conference, Lancaster,
- /3/ Vallenduuk V. (1999), The effects of variable lighting on mood and performance in an office environment, Master Thesis, Technical University of Eindhoven
- /4/ Mulder L.J.H. (1988). Assessment of cardiovascular reactivity by means of spectral analysis. PhD Thesis. University Groningen.
- /5/ Zeeuw de J. (1995). Algemene psychodiagnostiek. Testmethoden. Lisse: Swets & Zeitlinger .
- /6/ Sonnevile de L.J.M., Schaap Th., Elshout J.J. (1984). Amsterdamse Stemningslijst. Handleiding. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- /7/ Zijlstra F.R.H. (1993). Efficiency in Work Behaviour. A Design Approach for Modern Tools. PhD Thesis. Delft University Press.
- /8/ Berman S, (1996), Luminance-controlled pupil size affects word-reading accuracy, Journal of the IES vol.25 no 1.
- /9/ Melssen H.J.T (2000), Operating system for lighting research, Report Fontys University of Professional Education, Eindhoven
- /10/ Wiethoff M. (1997). Task analysis is heart work. The investigation of heart rate variability: a tool for task analysis in cognitive work. PhD Thesis. University Groningen.

Zeitliche und örtliche Veränderungen der Helligkeitsverteilung in Büroräumen

Bericht aus dem Projekt „Harmonisches Licht“

Susanne Fleischer, Helmut Krueger, Christoph Schierz

Inhalt des Projekts „Harmonisches Licht“ ist es, Einflüsse von Lichtsituationen auf das Befinden und den emotionalen Zustand des Menschen zu ermitteln. Dazu wurden statische, sich in der Beleuchtungsstärke, der Lichtfarbe und der Gewichtung des Direkt- und des Indirektanteils (Lichtschwerpunkt) unterscheidende Beleuchtungssituationen im Labor untersucht. Lichtsituationen, die sich bezüglich des Lichtschwerpunktes verändern, wurden in einem einjährigen Feldversuch getestet. Der Versuchsaufbau und erste Teilergebnisse des Feldversuchs und der Laborversuche werden im folgenden vorgestellt.

1. Einleitung

Im Projekt „Harmonisches Licht“ soll ermittelt werden, wie moderne Beleuchtungstechnik Arbeitstätigkeiten unterstützen kann und wie der Tageslichteinfluss und individuelle Bedürfnisse zu berücksichtigen sind. Es wurde geprüft, ob veränderliche, sich an die momentanen Bedürfnisse in geeigneter Weise anpassende Lichtsituationen zu einer Steigerung des Wohlbefindens und der Motivation führen.

Der Ansatz basiert auf der Erkenntnis, dass für eine hohe Produktivität und eine qualitativ gute Arbeit Licht nicht nur zum Erkennen der Arbeit notwendig ist, sondern auch zum Erhalten der Aufmerksamkeit über den gesamten Arbeitstag. Licht wird als dynamische Gestaltungskomponente des visuellen Raumklimas eingesetzt. Die gestaltete Lichtumgebung ist im Zusammenhang mit der Interaktion der Raumbenutzer mit ihrer erlebten Umgebung zu sehen.

In dem hier vorgestellten Forschungsprojekt wurden verschiedene Algorithmen für die Kombination von Tageslicht und Kunstlicht getestet, die die Tageszeit und die Veränderungen des Tageslichts in die Kunstlichtsituation einbeziehen, ohne das Tageslicht zu imitieren. Da die Art der Tätigkeit und der Wechsel zwischen Tätigkeitsarten wichtige Einflussfaktoren auf den Menschen sein können, wurde das ebenfalls berücksichtigt.

2. Methodik

Um die zur Steigerung des Wohlbefindens und der Motivation geeigneten Lichtsituationen zu ermitteln, wurden für den Feldversuch Tageslicht und Kunstlicht zu

Dipl.- Ing. Susanne Fleischer
Prof. Dr. Helmut Krueger
Dr. sc. nat. Christoph Schierz
Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie
Eidgenössische Technische Hochschule, NW
CH-8092 Zürich

sogenannten Lichtszenarien kombiniert. Dabei wurden folgende Einflüsse berücksichtigt: Tageszeit und Tageslicht (Himmelszustand). Die Jahreszeit wurde als Confounder Variable mit aufgenommen.

Für die Laborversuche wurden statische, sich in der Beleuchtungsstärke, der Lichtfarbe und der Gewichtung des Direkt- und des Indirektanteils (Lichtschwerpunkt) unterscheidende Beleuchtungssituationen im Einzelversuch tätigkeitsbezogen bewertet. Dadurch konnte der Einfluss der Tätigkeitsart und der Wechsel zwischen verschiedenen Tätigkeiten untersucht werden.

So lassen sich die Vorteile beider Untersuchungsmethoden (Feld und Labor) nutzen und ihre Nachteile relativieren: Feldstudien haben bekanntlich den Vorteil einer grossen Praxisrelevanz, aber den Nachteil beschränkter wissenschaftlicher Zuverlässigkeit (Reliabilität). Aussagen aus Laborversuchen sind verlässlicher, ihre Allgemeingültigkeit ist jedoch eingeschränkt (externe Validität).

2.1 Feldversuch

Die vier im Feld benutzten Lichtszenarien unterteilen sich in zwei tageszeitabhängige Szenarien und zwei, die in Abhängigkeit des Himmelszustandes verändert wurden (s. Tab.1):

Lichtszenario	Gestaltung
A	Indirektlicht am Morgen, Direktlicht am Nachmittag
B	Direktlicht am Morgen, Indirektlicht am Nachmittag
C	Indirektlicht bei bedecktem Himmel, Direktlicht bei klarem Himmel
D	Direktlicht bei bedecktem Himmel, Indirektlicht bei klarem Himmel

Tabelle 1

Die in der zweiten Spalte dargestellten Zustände stehen für die Extremwerte der einzelnen Szenarien. Über den Tag fand ein allmählicher Übergang zwischen diesen beiden Polen statt.

Die Szenarien A und B wurden abhängig von der Uhrzeit gesteuert; für die Szenarien C und D diente die Schattigkeit nach Haeger /2/ als Mass für den Bedecktheitsgrad des Himmels. Der Feldversuch wurde in zwei Grossraumbüros durchgeführt. Jedes Szenario dauerte drei Wochen und wurde mehrmals über das Jahr getestet, um die Jahreszeit als Confounder Variable in die Berechnungen einbeziehen zu können. Die Jahreszeit wie geplant /1/ als Untersuchungsvariable zu setzen, war aus versuchstechnischen Gründen nicht möglich. Jeweils zum Abschluss der drei Wochen wurde ein Fragebogen zum Raumeindruck, zur Tätigkeit und zur Art und Häufigkeit des Benutzereingriffs von den in diesen Büros Arbeitenden ausgefüllt. Um eine hohe Konsistenz der Antworten zu erhalten, wurde direkt nach dem Licht bzw. der Helligkeit als zu bewertender Grösse gefragt, nicht z. B. allgemein nur nach dem Raumeindruck.

Über mehrere Monate hinweg wurden ausserdem von einigen Mitarbeitern Minutagebücher geführt, in denen u. a. das Befinden und die Motivation aufgezeichnet sind.

2.2 Laborversuch

Für den Laborversuch wurde ein Mock-up-Raum an der ETH Zürich mit heutzutage üblicher Büroeinrichtung (Schreibtisch, PC-Arbeitsplatz) eingerichtet. Als künstliche Beleuchtung dienten Direkt-/Indirektpendelleuchten.

Ziel war es, eine geeignete Zuordnung zwischen Tätigkeit und Lichtsituation zu ermitteln und den Einfluss des Lichts auf den emotionalen Zustand der Person im Raum zu messen. Die Versuchsteilnehmer bewerteten 10 bzw. 12 Lichtsituationen bzgl. Raumeindruck, Ausleuchtung des Arbeitsplatzes und Eignung für verschiedene Tätigkeiten. Zusätzlich fand eine emotionale Bewertung mittels 18 bipolarer Adjektivskalen statt. Vor dem Ausfüllen des Fragebogens wurden die Versuchsteilnehmer darauf hingewiesen, dass das Licht die zu bewertende Grösse ist und nicht z. B. die Farbgebung im Raum. So liess sich vermeiden, dass die Teilnehmer unterschiedliche Stimuli beurteilten /5/.

Folgende Lichtsituationen wurden beurteilt (s. Tab. 2):

Versuchsreihe	Lichtsituation Nr.	Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene [lx]	Indirektanteil [%]	Lichtfarbe, Indirektanteil	Lichtfarbe, Direktanteil
1	1/ 6	500/ 300	100	nw	nw
1	2/ 7	500/ 300	75	nw	nw
1	3/ 8	500/ 300	50	nw	nw
1	4/ 9	500/ 300	25	nw	nw
1	5/ 10	500/ 300	0	nw	nw
2	11/ 16	500	100	tw/ ww	ww/ tw
2	12/ 17	500	75	tw/ ww	ww/ tw
2	13/ 18	500	50	tw/ ww	ww/ tw
2	14/ 19	500	25	tw/ ww	ww/ tw
2	15/ 20	500	0	tw/ ww	ww/ tw
2	21/ 22	500	50	ww/ tw	ww/ tw

Tabelle 2: Die Angabe des Indirektanteils bezieht sich darauf, wie gross der Anteil an der mittleren Beleuchtungsstärke auf dem Tisch durch die obere Lampe in der Leuchte ist

3. Auswertung

3.1 Laborversuch

Hier soll nur auf die Auswertung des emotionalen Zustandes eingegangen werden. Nach Mehrabian /3/, /4/ lassen sich durch eine Kombination der drei Größen Pleasure (Gefallen), Arousal (Aktivierung), Dominance (Dominanz) die wesentlichen Emotionen des Menschen charakterisieren (Abb. 1). Die Faktoranalyse der bipolaren Adjektivskalen ergab genau diese drei Faktoren.

Eine Varianzanalyse mit den Variablen ID (Indirektanteil), E (Beleuchtungsstärke), IDxE, IDxD, IDxIDxE für Versuchsreihe 1 bzw. mit ID, FID (Farbe des Indirektanteils), IDxFID, IDxD, IDxIDxFID für diese Faktoren ergab folgende Einflüsse:

Aufgrund des Projektziels war vor allem der Einfluss auf den Faktor Arousal von Interesse, da daran die Wirkung des Lichts auf die Aktivierung des Menschen erkennbar wird. Für die Lichtsituationen der ersten Versuchsreihe sind das Beleuchtungsstärkeniveau, der Lichtschwerpunkt und die Interaktionen als beeinflussende Variable auf dem 5% Niveau signifikant. Eine Erhöhung der Aktivierung findet sowohl durch eine höhere Beleuchtungsstärke statt, als auch durch

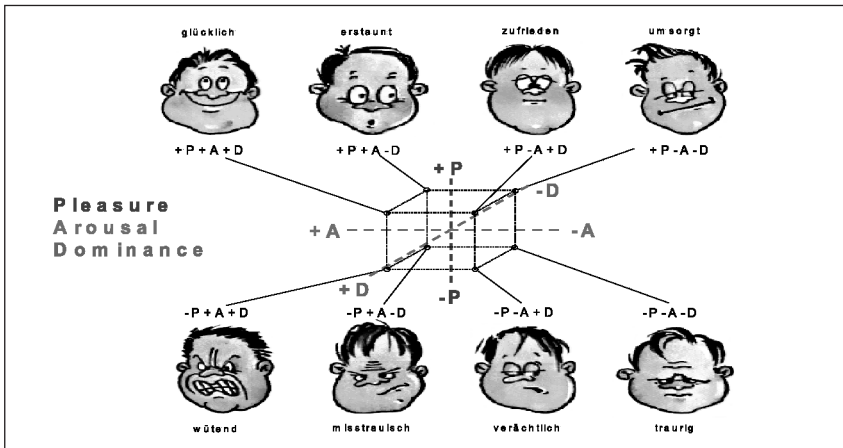


Abbildung 1

eine Verschiebung des Lichtschwerpunktes in Richtung Direktanteil bei gleichbleibender Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene. Die Auswirkung dieser Verschiebung ist bei niedrigeren Beleuchtungsniveaus stärker als bei hohen (Abb. 2).

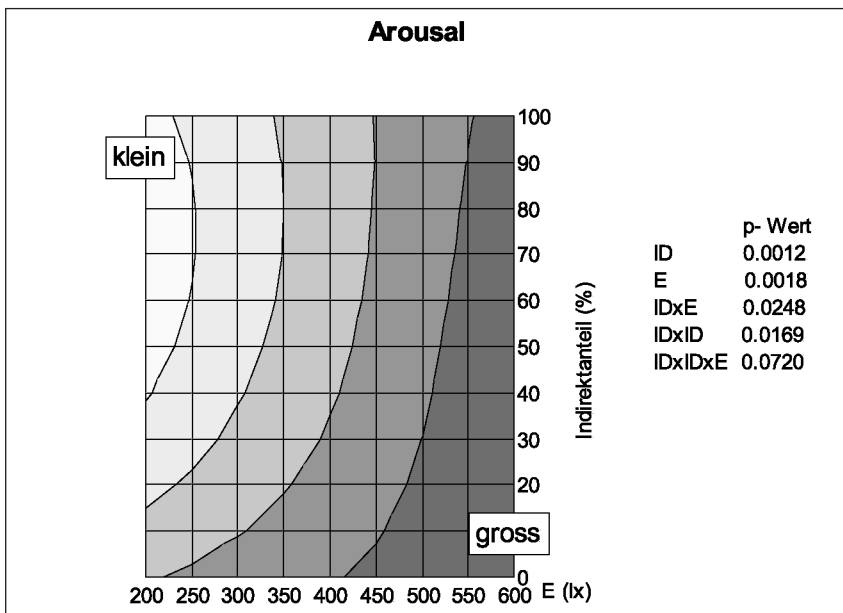


Abbildung 2

Für die zweifarbigen Lichtsituationen ist die Lichtfarbe und die Interaktion zwischen Lichtfarbe und Indirektanteil signifikant. Die grösste Angeregtheit wird durch die rein tageslichtweissen Lichtsituationen (nur indirektes oder nur direktes Licht) erreicht. Da bei diesen Kombinationen Indirekt/ Direkt= tw/ww oder ww/tw eine Veränderung des Lichtschwerpunktes immer auch eine Veränderung der im Raum vorherrschenden Lichtfarbe bewirkt, hat das zur Folge, dass die Angeregtheit für die Lichtsituationen mit der Kombination tw/ww mit höherem Indirektanteil steigt und für die mit ww/tw mit höherem Direktanteil grössere Werte annimmt (Abb. 3).

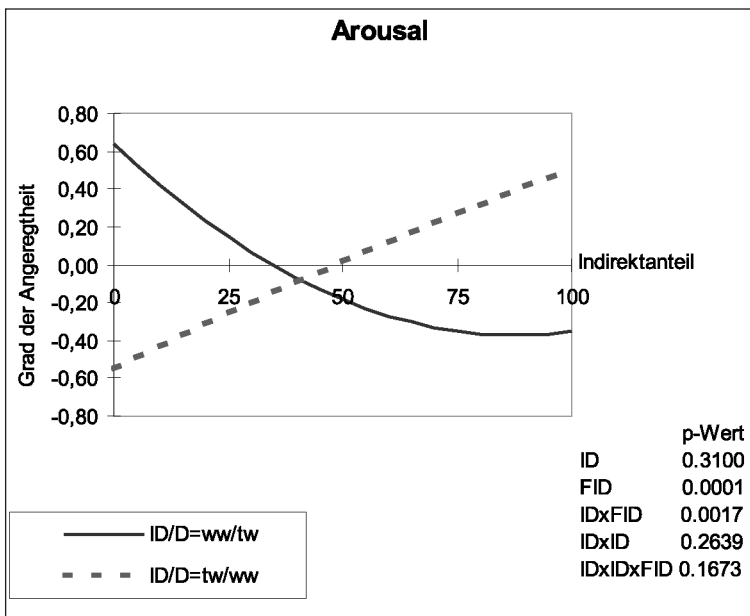


Abbildung 3

Betrachtet man abschliessend noch die beiden anderen Faktoren, so ergibt sich folgendes:

Für die Lichtsituationen der ersten Versuchsreihe wird Faktor Pleasure nur vom Beleuchtungsstärkeniveau signifikant beeinflusst, Faktor Dominance der Lichtschwerpunkt und der Interaktion aus Lichtschwerpunkt und Beleuchtungsstärke. Je höher der Indirektanteil ist, desto dominierender fühlt sich die Person im Raum. Für die zweifarbigen Lichtsituationen der zweiten Versuchsreihe beeinflussen der Lichtschwerpunkt und die Lichtfarbe sowie ihre zweifach Interaktion den Faktor Pleasure signifikant. Am besten gefällt die Kombination mit ID-Anteil ww und Direktanteil tw bei hohem Indirektanteil. Für die umgekehrte Farbkombination wird ein Lichtschwerpunkt von 50% Direkt- mit 50%- Indirektanteil bevorzugt. Für Faktor Dominance ergab keine der Grössen einen signifikanten Einfluss.

3.2 Feldversuch

Zwei Fragen aus dem Minitagebuch sind stellvertretend für die Faktoren Pleasure und Arousal: „Wie zufrieden waren Sie heute mit der Beleuchtung?“ (gar nicht ... sehr)

„Welche Wirkung hatte die Lichtsituation am Arbeitsplatz auf Sie?“ (Ich fühlte mich dadurch schläfrig ... wach). Am besten gefiel das Lichtszenario D: Das Kunstlicht reagiert mit seinem diffusen Indirektanteil gegenläufig auf den Bedecktheitsgrad des Himmels. Je geringer die Schattigkeit wird, desto mehr wird der Lichtschwerpunkt in Richtung gerichtetes Licht verschoben. Als zweitbestes Szenario wurde A beurteilt, Indirektlicht am Morgen. Die Jahreszeit und das Wetter wurden bei der Auswertung berücksichtigt. Für den Faktor Arousal gibt es dieselbe Reihenfolge wie für Pleasure, d. h. die stärkste Aktivierung erfolgt durch D, gefolgt von A. Da die Auswertungen noch nicht abgeschlossen ist, konnte zum Zeitpunkt dieser Veröffentlichung der Einfluss des Wetters noch nicht in die Berechnung mit einbezogen werden.

4. Schlussbemerkung

Aus den Teilergebnissen des Feld- und des Laborversuchs geht hervor, dass der emotionale Zustand des Menschen durch Veränderungen der Lichtsituationen beeinflusst werden kann. Dies wird bereits möglich, wenn die Parameter Beleuchtungsstärke, Lichtschwerpunkt und Lichtfarbe innerhalb der Bandbreite der für Büroräume üblichen Werte variiert.

Eine differenzierte Betrachtung ist dazu aber notwendig, da eine Steigerung des Faktors Arousal nicht immer von Vorteil ist. Es gilt ein U-förmiger Zusammenhang mit Distanzregelung (meiden ... annähern). Je nachdem, auf welchem Ast der U-Form man sich befindet, kann eine Steigerung oder Verminderung von Arousal zu einer besseren Arbeitsleistung führen. Beispielsweise kann bei starker Arbeitsbelastung eine beruhigende Wirkung des Lichts zu positiven Ergebnissen führen.

Mittels der Erkenntnisse aus diesen Versuchsreihen lassen sich Lichtszenarien entwerfen, die die Befindlichkeit und die Motivation steigern bzw. zu einer Zunahme der Vigilanz führen. Dies stellt einen neuen Planungsansatz für ergonomisch sinnvolle Arbeitsplätze dar.

Literatur

- /1/ FLEISCHER, S., SCHIERZ, CH., KRUEGER, H. (1998): Forschungsvorhaben „Harmonisches Licht“, Neue Ansätze zur Kombination von Tageslicht und Kunstlicht, Tagungsband Licht '98 P. 300-307
- /2/ HAEGER, F. (1975) Schattigkeit- Eine Analyse lichttechnischer Definitionen und subjektiver Bewertungen von Schlagschattensituationen, Dissertation TU Berlin
- /3/ MEHRABIAN A., RUSSEL J. A. (1974): An Approach to Environmental Psychology. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London.
- /4/ MEHRABIAN A. (1978): Räume des Alltags oder wie die Umwelt unser Verhalten bestimmt. Campus Verlag: Frankfurt, New York.
- /5/ TILLER DALE K. (1990): Toward a Deeper Understanding of Psychological Aspects of Lighting, Journal of the Illuminating Engineering Society V19 No2 p. 59-65.

Neue Ergebnisse zur objektiven und quantitativen Erfassung und Bewertung der psychophysischen und visuellen Belastung bei Bildschirmarbeit im Vergleich verschiedener Tages- und Kunstlichtsysteme

Walter Witting

1. Einleitung

In der wahrnehmungspsychologischen Abteilung der Fa. Bartenbach LichtLabor in Aldrans bei Innsbruck werden seit Jahren systematische Untersuchungen durchgeführt, die den Einfluß von verschiedenen Beleuchtungsvarianten in Büros auf die psychophysische bzw. mentale Belastung von Personen an Bildschirmarbeitsplätzen zum Inhalt haben. Dabei wird großer Wert auf die objektive und quantitative Erfassung der visuellen Belastung versus Entlastung in einer realen Leistungssituation gelegt. Die dafür entwickelten Testverfahren messen je eine bestimmte Teilleistung aus dem Spektrum der visuellen Anforderungen, wie sie bei Bildschirmarbeit hauptsächlich auftreten. So werden mit den besagten Testverfahren in Abhängigkeit von installierten Tages- und Kunstlichtsystemen u.a. folgende visuelle Leistungsfaktoren gemessen:

- Wahrnehmungssicherheit und Wahrnehmungsgeschwindigkeit am Bildschirm,
- Aufmerksamkeitsumfang,
- Aufmerksamkeitsbelastbarkeit,
- Überblickgewinnung am Bildschirm,
- Punktuelle Reizdiskrimination,
- Konzentrationsfähigkeit,
- Blickwechselsorgfalt beim Hin- und Herschauen zwischen Beleg und Bildschirm,
- Gewisse Faktoren des Kurzzeitgedächtnisses.
- Vegetative Ermüdung.

Auf der Basis der Ausprägung solcher Variablen werden Beleuchtungssysteme miteinander verglichen, um die Belastungsfaktoren statistisch zu analysieren und daraus die günstigsten Beleuchtungsbedingungen im Sinne einer Minimierung der visuellen Belastung zu bestimmen. Die Versuche werden als quasi-experimentelle Felduntersuchungen durchgeführt, um die Nachteile einer klassischen Feldstudie zu eliminieren und die Vorteile einer Laboruntersuchung zu nutzen. Dazu werden reale Büroräume als Testräume aufgebaut, in denen die Beleuchtungssysteme austauschbar sind und wo erwünschte und unerwünschte Einflußgrößen systematisch kontrolliert und variiert werden können.

Dr. Walter Witting
Bartenbach LichtLabor
Rinnerstr.14
A-6071 Aldrans/Innsbruck

So etwa die Sitzposition innerhalb des Raumes (frontal zum Fenster, quer zum Fenster) und die Ablesebedingungen am Bildschirm (Farbdarstellung, monochromatische Darstellung; Positiv- oder Negativdarstellung, Vorgabe der Tests mit oder ohne Beleg, stehende und liegende Belege, Belege mit und ohne Glanz). Der Einfluß dieser Bedingungsvariablen in Verbindung mit dem Beleuchtungssystem auf die objektive Leistung bzw. den Leistungsverlauf (Testdauer 4–5 Stunden) wird mittels der unten beschriebenen Testverfahren ermittelt.

2. Forschungsdesign

Alle unsere Untersuchungen beruhen auf einem Methodenrepertoire, welches sich aus objektiven und subjektiven Datenquellen zusammensetzt.

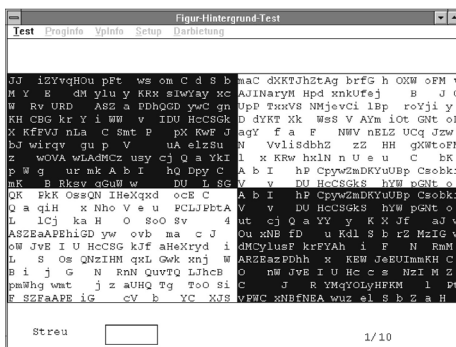
Aus eigenen Untersuchungen zur „stabilen Wahrnehmung“ haben wir neue entsprechend objektive Testmethoden entwickelt, die 6 verschiedene Teilleistungen des Gehirns in bezug auf visuelle Informationsverarbeitung erfassen und die sich verschiedenen visuellen Sehleistungsanforderungen bei Bildschirmarbeit zuordnen lassen. Testpersonen führen dabei eine Reihe von Aufgaben am Bildschirm durch.

2.1 Darstellung der Test-Methodik

FHT: Figur-Hintergrund-Test:

Präzision (Genauigkeit und Schnelligkeit) der Worterkennung auf dem Bildschirm als Leistung des Figur-Hintergrund-Sehens.

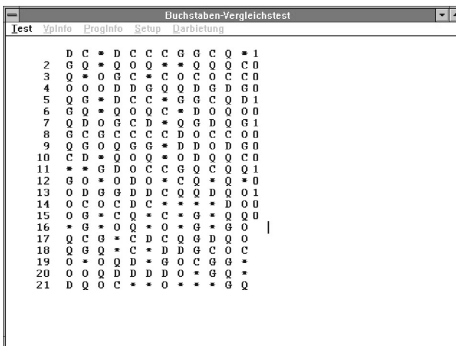
BEISPIEL:
Korrekturlesen von Texten.



BRV: Buchstaben-Reihen-Vergleichs-Test:
Weiterentwicklung des QDO-Tests Punktuelle Reizdiskrimination; foveales Unterscheidungssehen. Wahrnehmungsgeschwindigkeit von fixierten Reizen auf dem Bildschirm und auf dem Beleg.

Genauigkeit des raum-zeitlichen Blickfixierungs- und Blickwechselverhaltens in vorwiegend horizontaler Richtung.

BEISPIEL: Vergleich von Bildschirmhalten mit Daten auf Belegen.



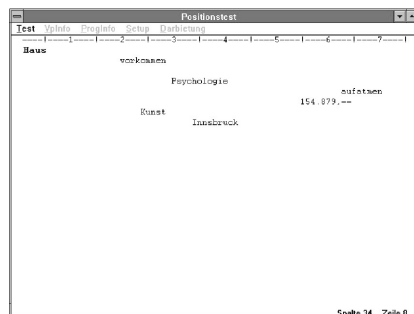
AT: Abschreibetest:
 Kontrollierender Blickwechsel zwischen Vorgabereiz und Reaktionsergebnis. Blickwechsel-sorgfalt; Blickwechselökonomie. Exakte Wahrnehmung des Wort- und Satzbildes auf Beleg (Vorlage) und Bildschirm.

BEISPIEL: Übertragung von Texten (Manuskripten) auf Bildschirm (Textverarbeitung).



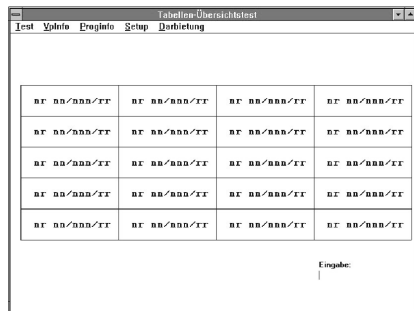
PT: Bildschirm-Positions-Test:
 Einschätzung und Festlegung relativer Reizpositionen im Vergleich zwischen Vorlage (Beleg) und Bildschirm. Topologische Strukturübertragung. Horizontales und hauptsächlich vertikales Blickgleiten.

BEISPIEL: Erstellung und Strukturierung von Tabellen.



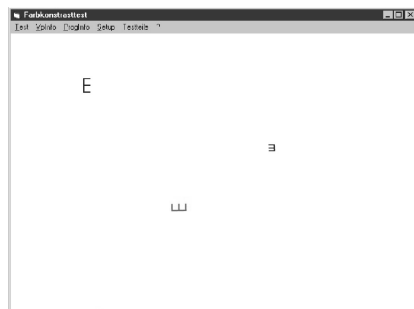
TUT: Tabellen-Übersichts-Test:
 Rasches Erfassen und Vergleichen (Beleg-Bildschirm) von sehr komplexem Reizmaterial in einem vorgegebenen Ordnungsschema. Überblicksgewinnung und visuelle Auflösung von bestehenden Ordnungen.

BEISPIEL: Tabellenkalkulation.



FKT: Farb-Kontrast-Test:
 Wahrnehmungssicherheit und Wahrnehmungsgeschwindigkeit für genormte Sehzeichen am Bildschirm mit wechselnden Schrift-Hintergrund-Kontrasten.

BEISPIEL: Page-Design; Animationen.



Mit diesen „objektiven Methoden“, die die vorwiegend unbewußten optischen Wahrnehmungsabläufe erfassen, war es nun möglich, eine reale psycho-physische Gesamtleistungsbeurteilung von verschiedenen Beleuchtungssystemen zur Beleuchtung von Arbeitsräumen abzugeben. Die visuelle Leistungsaufgabe mußte in jeder Beleuchtungssituation die gleiche zu sein (abhängige Variable), nur die Beleuchtungssysteme wurden variiert (unabhängige Variablen). Unterschiede in den Ergebnissen (Bearbeitungszeit, Leistungswerte, Ermüdungsgrad) lassen sich daher durch den Einfluß der verschiedenen Licht- und Beleuchtungsbedingungen erklären.

Ergänzend werden subjektive Befragungen (Semantische Differentiale) der Testpersonen begleitend durchgeführt, wobei solche subjektiven Urteile hinsichtlich der externen Validität nur sehr beschränkten Wert haben und lediglich als Grobeinschätzung des Ersteindrucks einer Anlage als Bewertung verwendbar sind. Des weiteren werden unsere Studien neuerdings auch durch objektive Erfassung physiologischer Parameter (z.B. Hautleitwert [EDG], Pulsfrequenz, Atemfrequenz, Muskelspannung [EMG]) ergänzt, die als Streßindikatoren fungieren.

2.2 Ermüdungsmessungen

Mangelhafte Beleuchtung stellt einen physiologischen und psychologischen Störfaktor dar, dessen Streßwirkung sich relativ früh im Unbewußten anbahnt und erst bei Zunahme bewußt erlebt wird.

Mittels der kybernetischen Flimmer-Verschmelzungs-Frequenz-Analyse (kVFA; Abb.1) wurde eine Methode gewählt, die es gestattet, den vegetativ-cerebralen Ermüdungsgrad der Versuchspersonen im Zusammenhang mit Bildschirmarbeit in Abhängigkeit von den installierten Lichtsystemen quantitativ und objektiv zu messen.

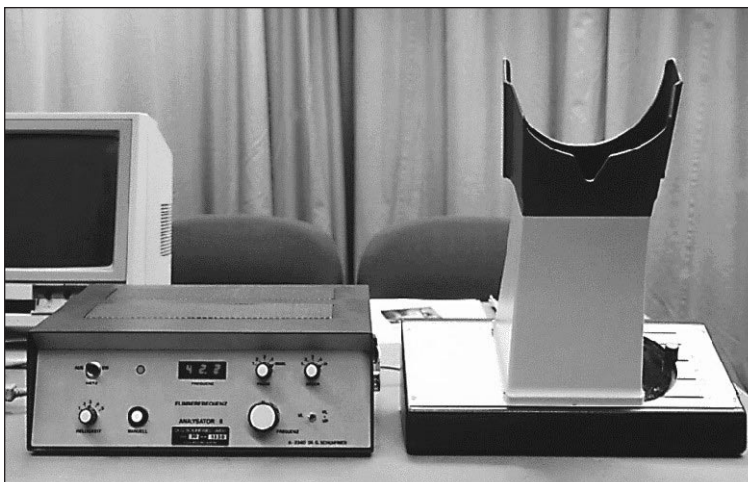


Abb.1: Kybernetische Flimmer-Verschmelzungs-Frequenz-Analyse (kVFA) (Ermüdungsmessung)

Daß diese Methode verhältnismäßig umstritten ist, mag daran liegen, daß mit Einzel- bzw. einmaligen Messungen der momentane Adaptationszustand des Auges zu gewichtig werden kann. Dieser Einfluß konnte aber insofern bis zur statistischen Unauffälligkeit reduziert werden, als insbes. die Messungen vor dem Untersuchungsbeginn nach einer Raumadaptationsphase von etwa 5–10 Minuten durchgeführt wurden, in der den Versuchspersonen der Ablauf und das Ziel der Untersuchung erklärt werden mußte. Zudem wurden nur arithmetische Mittelwerte verglichen bzw. weiterverrechnet, die aus Messungen von je 30–40 Versuchspersonen stammen, so daß ein sog. „Ausreißer“ keinen merklichen Beitrag zum Durchschnittswert mehr leistet und normalverteilte Daten feststellbar waren.

Um zeitliche Ermüdungsgradienten auswerten zu können, wurden – wie gesagt – die Vigilanzmessungen vor Beginn der Testdurchgänge und nach deren Beendigung durchgeführt. Dazwischen liegt immerhin eine Zeitspanne von 4-5 Stunden, die zur Bearbeitung der gesamten Testbatterie notwendig ist.

Wenn hier ein negativer Ermüdungsgradient als „Erholung“ (bei eVG) bezeichnet wird, dann ist damit keine stetige Abnahme der visuellen Ermüdung gemeint, sondern ein statistischer Mittelwert, der auf ein ausgeglichenes hohes und konstantes cerebrales Aktivitätsniveau (Vigilanz) hinweist.

3. Untersuchungen zum Kunstlicht; Teilergebnisse

3.1 Einfluß der Vorschaltgeräte bei linearen Leuchtstofflampen auf die visuelle Arbeitsleistung

Die vorliegende Studie befaßt sich auch mit der Frage, ob sich Kunstlicht aus Gasentladungslampen (Leuchtstoffröhren) auf die visuelle und damit psychophysische Belastung bzw. Entlastung des Menschen unterschiedlich auswirkt, wenn der Betrieb der Leuchtstoffröhren einmal mit konventionellen Standard-Vorschaltgeräten (50/100 Hz Flimmerfrequenz) und im Vergleich dazu mit elektronischen Vorschaltgeräten (Hochfrequenz; 20 000 Hz) erfolgt.

Da alle Testverfahren am Bildschirm bei monochromatischer Darstellung sowohl mit positiven Kontrasten (Hintergrund weiß; Zeichen schwarz) als auch in negativer Darstellung (Hintergrund schwarz; Zeichen hell) vorgegeben wurden und zusätzlich dazu eine gängige Farbdarstellung gewählt wurde, sind die Ergebnisse für alle solchen Ablesebedingungen am Bildschirm relevant.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß sich die Leistungsunterschiede bezüglich der Vorschaltgeräte bei farbigen Bildschirmhalten noch wesentlich deutlicher (signifikanter) zeigen, und zwar zu Gunsten des elektronischen Vorschaltgerätes.

Bei Sehleistungsaufgaben, die ein ganzheitlich-strukturelles Überblicksehen verlangen (Abb. 2: LVT; Abb. 4: PT), waren Leistungsunterschiede zwischen dem eVG und dem kVG nicht generell feststellbar.

Spezifiziert man allerdings die Ergebnisse nur auf farbige Bildschirmhalte, dann sind auch im Hinblick auf die global-figurale Gestaltserfassung hochsignifikante Leistungsverbesserungen zum Vorteil des eVG zu beobachten.

Vergleich der Vorschaltgeräte

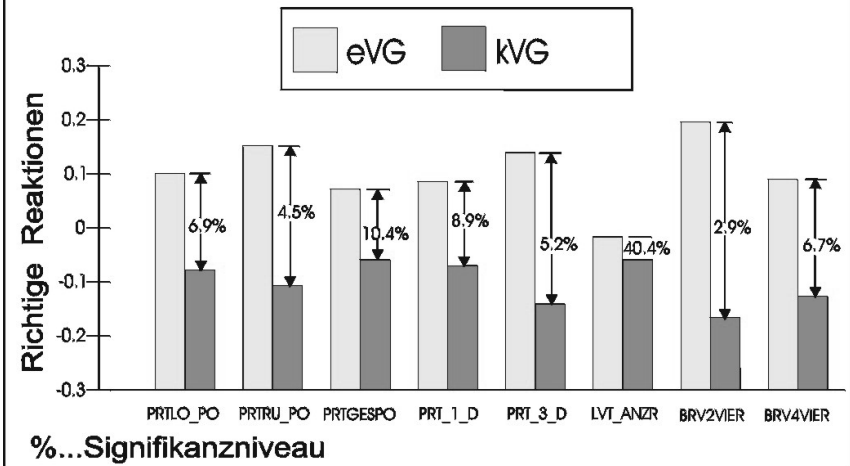


Abb. 2: Variablenbezogene Leistungsunterschiede, die bei gleichbleibenden Leuchten und Leuchtmitteln nur auf die Unterschiedlichkeit der Vorschaltgeräte (konventionell vs. elektronisch) zurückzuführen sind (Vergleich der Anzahl richtiger Testreaktionen)

Innerhalb der echten monochromatischen Darstellung zeigt sich, daß vor allem bei Negativdarstellung (dunkler Hintergrund; helle Zeichen) das eVG die Leistungen bezüglich der Genauigkeit und Schnelligkeit der Worterkennung erheblich begünstigt. Dies mag darin seinen Grund haben, daß ein dunkler Bildschirmhintergrund für störende Reflexblendungen wesentlich anfälliger ist, so daß das Flimmern der Leuchten mit einem kVG sich an ihrem sichtbaren Bild im Bildschirm erheblich stärker als bei eVG fortsetzt und so in das Auge „weitergeleitet“ wird.

Da ein signifikanter Gesamttestwert (z.B. FHTGESPO) über den Verlauf der Testleistung noch nichts aussagt, war es aufschlußreich, etwa beim Primärtest (FHT) die Verlaufsdrittel zu betrachten. Dabei erwies sich, daß das eVG im Vergleich mit dem kVG sowohl bessere Startwerte (FHT_1_D; erstes Testdrittel) als auch signifikant höhere, die Ausdauer betreffende Test-End-Leistungen (FHT_3_D; drittes Testdrittel) zur Folge hatte (Abb. 2).

Dieses Resultat geht konform mit den Ermüdungsmessungen, wonach unter der Bedingung „eVG“ ein anhaltend ausgeglichenes cerebrales Wachheitsniveau im Sinne von „Erholung“ feststellbar war, so daß über eine unbewußte Aktivierung kein tendenzielles Absinken der Leistung – wie es bei „kVG“ der Fall ist – auftrat. Dies verdeutlichen die negativen Differenzen der Flimmerverschmelzungsfrequenzen (Meßwerte nach dem Testdurchgang minus Meßwerte vor dem Testdurchgang) bei „eVG“ in Abb. 3. Diese Überlegenheit des eVG wirkt sich vor allem bei solchen Sehanforderungen aus, die durch die Dominanz des primären

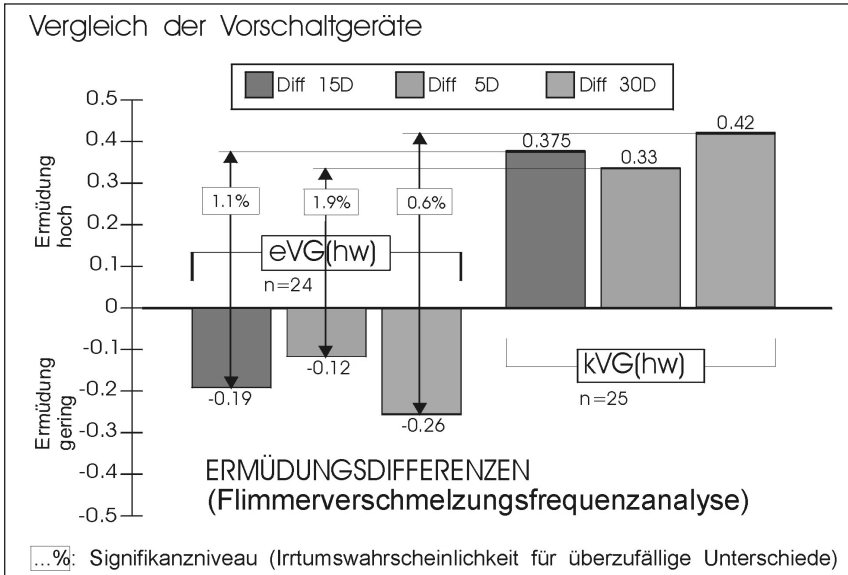


Abb. 3: Gegenüberstellung der Ermüdungswerte für elektronische und konventionelle Vorschaltgeräte: negative Ermüdungsdifferenzen beim elektronischen Vorschaltgerät weisen auf eine geringere vegetative Ermüdung und ein ausgeglicheneres Aktivitätsniveau hin.

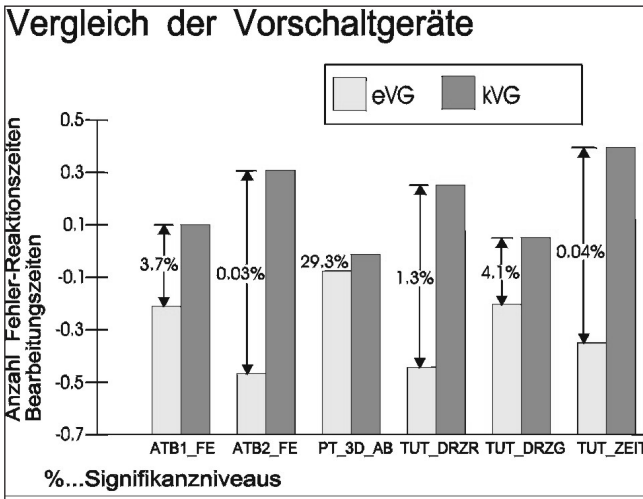


Abb. 4: Variablenbezogene Leistungsunterschiede, die bei gleichbleibenden Leuchten und Leuchtmitteln nur auf die Unterschiedlichkeit der Vorschaltgeräte (konventionell vs. elektronisch) zurückzuführen sind (Vergleich der Fehleranzahl, von Reaktionsgeschwindigkeiten und Bearbeitungszeiten).

Infeldes gekennzeichnet sind, d.h. bei Sehaufgaben, die ein punktuell (foveales) Unterscheidungssehen verlangen; und zwar auch dann, wenn das Blick-Ziel-Feld zwischen Bildschirm und Beleg dauernd (systematisch) wechselt. Die Signifikanzen der BRV-Ergebnisse lassen ferner den Schluß zu, daß das eVG nach dem Beginn (BRV2VIER) der visuellen „Arbeit“ eine deutlich höhere Mengenleistung bewirkt, die bis zum Testende (BRV4VIER) praktisch beibehalten wird, während unter „kVG“ die mittlere Produktivität absolut gesehen merklich niedriger liegt.

Ein sogenannter Abschreibetest (AT) muß so konzipiert sein, daß die sprachlich-kognitiven, insbes. die syntaktischen Textkomponenten, zurücktreten und die elementaren Wahrnehmungsvorgänge davon losgelöst in akzentuierender Weise auf die unabhängige Variable (eVG/kVG) „antworten“ können. Auftretende Fehlerhäufigkeiten sind dann eindeutiger auf die Sehbedingungen (hier: Beleuchtung) zurückzuführen.

Abschreiben heißt weiter, daß von einem Original sukzessive ein Duplikat hergestellt werden soll, so daß laufend vergleichende Blickwechsel zwischen Vorgabereiz (Beleg; Vorlage) und dem Arbeitsergebnis (Bildschirm) vonnöten sind.

Vertippungen sind dann aber nicht mehr ausschließlich auf mangelhafte oder falsche Motorik zurückzuführen, sondern sind die Folge von Ablese-, also von Wahrnehmungsfehlern am Original, die beim Tippvorgang nur noch vollzogen werden. Abb. 4 zeigt eindrucksvoll, daß unter „eVG“ mit zunehmender Dauer (ATB2_FE) sogar eine Verringerung der Fehler (Vertippungen) auftritt, während unter „kVG“ der umgekehrte Trend feststellbar ist (ATB1_FE; ATB2_FE), so daß am Testende die Unterschiede in den Fehlerscores hochsignifikant zugunsten des eVG ausfallen (keine Ermüdung). Werden Reaktionszeiten für das Erkennen von geringfügigen Unterschieden zwischen komplexen Reizanordnungen am Bildschirm und am Beleg erhoben, dann erweist sich das eVG als signifikant besser gegenüber dem kVG (TUT_DRZR; TUT_DRZG). Dies gilt in gleichem Maße für Gesamtbearbeitungszeiten (TUT_ZEIT), d.h. für die Schnelligkeit der Arbeit, was wiederum mehr perzeptive Ausdauer und eine höhere Wahrnehmungssicherheit unter „eVG“ bedeutet.

Die mit der vorliegenden Studie nachgewiesenen Leistungsunterschieden zwischen eVG und VG sind etwa auch so erklärbar, daß das latente Flimmern von niederfrequenten Röhren dem Organismus – biologisch gesehen – eine Art Gefährdung signalisiert, dem er mit übergebührender physiologischer Anspannung (Sympaticus-Erregung, Streß) unbewußt zu „entfliehen“ versucht, so daß unter „kVG“ eine unökonomische Entfaltung der Leistungsreserven abläuft. Eine hochfrequente, also eine auch in dieser Hinsicht dem Tageslicht nahekommende Lichtquelle stellt hingegen den Organismus des Menschen (und wohl auch der Tiere) NICHT auf Sprintleistungen ein, die nur kurzzeitig ein Leistungsmaximum abverlangen, sondern „schaltet“ das vegetative System auf Ausdauer (parasympatische Erregung), so daß eine gute Konzentrationsfähigkeit und Aufmerksamkeitsbelastbarkeit über längere Zeiträume erhalten bleibt. Manche Lichttherapien machen sich diese Tatsache zunutze.

Unter Kunstlicht mit elektronischen Vorschaltgeräten ist also mit einer geringeren psychophysischen Belastung der arbeitenden Personen zu rechnen, womit mehr Arbeitszufriedenheit, weniger Fehlhandlungen und eine höhere Produktivität gewährleistet wäre.

3.2 Einfluß der Farbtemperatur des Lichtes aus linearen Leuchtstofflampen auf die visuelle Arbeitsleistung

Unter der physikalisch definierten Farbtemperatur einer Strahlung, die der Mensch als Licht respektive Beleuchtung wahrnehmen kann, wird vereinfachend die Farbe des von einer Lichtquelle ausgestrahlten Lichts verstanden. Sie wird in Kelvingraden angegeben und versteht sich grob als jene Lichtfarbe, die ein erhitzter Körper (Planckscher Strahler) bei einer bestimmten Temperatur hat. In diesem Sinne hat warmes rötliches Licht eine niedrige Farbtemperatur und kalt wirkendes, bläuliches Licht eine hohe Farbtemperatur. Das Lichtmilieu an einem Arbeitsplatz bzw. in einem Arbeitsraum wird indesens entscheidend von der

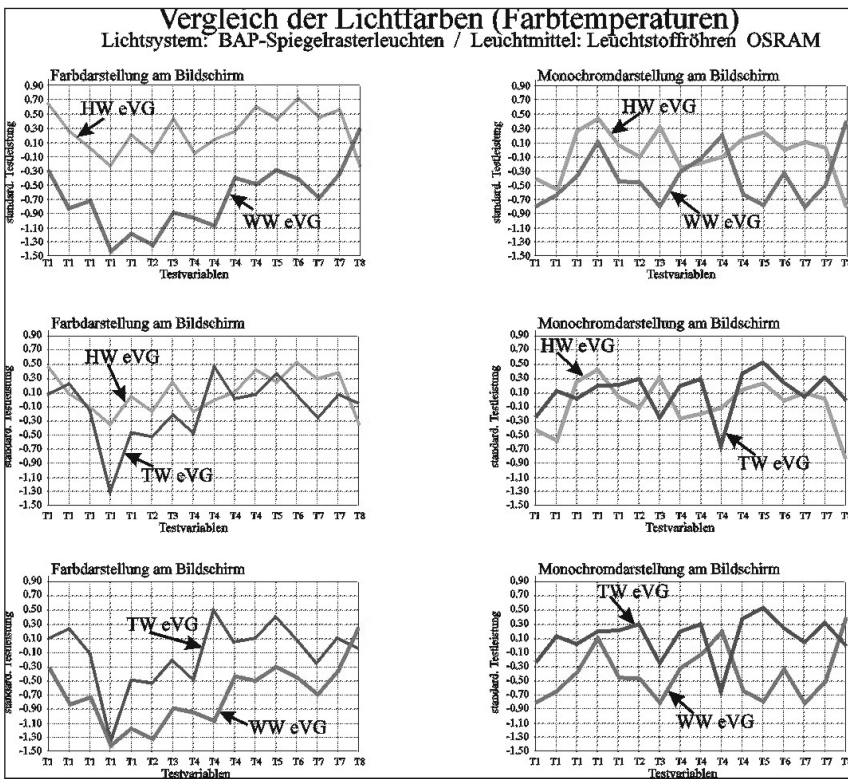


Abb. 5: Testleistungsvergleiche zwischen den Lichtfarben Warmweiß, Hellweiß und Tagessichtweiß (OSRAM 31; OSRAM 21; OSRAM 11) bei Farbdarstellung und Monochromdarstellung am Bildschirm

warmen bis kalten Farbe des Lichts – besonders aus Kunstlichtquellen – bestimmt und hat nach den durchgeführten Untersuchungen auch Einfluß auf das Leistungsergebnis, wenn es darum geht, am Bildschirm verschiedene Sehaufgaben (siehe oben; Beschreibung der Tests) schnell und fehlerfrei auszuführen. Zu diesem Zweck wurden die visuellen Leistungen bei drei gängigen Lichtfarben (Farbtemperaturen) von linearen Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten statistisch miteinander verglichen. Als unabhängige Variable wurde die Farbtemperatur mit den Lichtfarben warmweiß (OSRAM 830, 36W), hellweiß (OSRAM 840, 36W) und tageslichtweiß (OSRAM 850, 36W) gewählt. Die abhängigen Leistungswerte sind die erzielten und auf eine Einheitsskala standardisierten Testergebnisse (T1-T8).

Abb. 5 zeigt, daß die Arbeitsleistung bei vornehmlich visuellen Anforderungen signifikant unterschiedlich von der Farbe des verwendeten Arbeitslichts abhängt. Generell zeigen die Ergebnisse, daß die hellweiße Lichtfarbe (840) vor allem im Vergleich mit der warmweißen Lichtfarbe (830) hochsignifikant bessere Leistungen bewirkt. Aber auch die tageslichtweiße Lichtfarbe (850) ist der hellweißen Variante immer noch unterlegen, wobei die tageslichtweiße Leuchtstofflampe ebenso bessere Leistungen als die warmweiße verursacht. Am stärksten ausgeprägt sind diese Unterschiede dann, wenn bei der Testdarbietung die Farbdarstellung verwendet wird, während bei monochromatischer Vorgabe der Tests die Farbtemperatur des Kunstlichts weniger Einfluß zu haben scheint. Und zwar dergestalt, daß vor allem die warmweiße Lichtfarbe die kritische ist, denn eine leistungsmindernde Auswirkung unter der warmweißen Lichtfarbe zeigt sich bei Monochromdarstellung im Vergleich zur hellweißen und tageslichtweißen Lichtfarbe praktisch nicht. Daraus läßt sich der Schluß ziehen, daß Farbdarstellungen am Bildschirm, wie sie heute allgemein üblich sind, gegenüber der Lichtfarbe hinsichtlich der visuellen Belastung wesentlich empfindlicher als Schwarzweißdarstellungen sind.

Dies mag darin begründet sein, daß sich mit der Farbtemperatur des Lichts auch dessen Farbwiedergabeeigenschaft ändert, die mit der spektralen Zusammensetzung des Lichts zusammenhängt. Bildschirme stellen aber durch ihre Beschaffenheit quasi selbst eine Lichtquelle dar und strahlen je nach dem aktuellen Bildschirminhalt lokal und zeitlich unterschiedliche Wellenlängen ab. Das abgestrahlte Licht des Bildschirms interagiert aber mit dem auftreffenden Licht aus der Raumbeleuchtung, so daß das letztlich vom Bildschirm ins Auge kommende „Informations-Licht“ durch die Vielfalt und den Wechsel der Bildschirmfarben eine wesentlich breitere ständige Modulation erfährt als bei einem monochromatischen Bildschirm. Wenn nun die farbliche Struktur des Raumlichts wegen zu niedriger oder zu hoher Farbtemperatur (rötlich oder bläulich) zu unausgewogen bzw. zu einseitig ist, wird dieser Umstand für den Sehapparat zu höherer Belastung und Anstrengung führen, so daß die Ermüdung übergebührlich ansteigt und in der Folge die Fähigkeit zu einer konstanten Dauerleistung abnimmt.

Bei farbigen Bildschirminhalten sollte demnach zur Optimierung der Sehleistung die Farbtemperatur des Kunstlichts nicht weniger als 3500 Kelvin und nicht mehr als 4500 Kelvin betragen.

4. Vergleich von Tageslichtsystemen; Teilergebnisse

Mit dem Versuchsreihen TL8–TL12 wurden folgende Tageslichtsysteme mit jeweils 30–40 Versuchspersonen (unabhängige Stichproben!) hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Leistungsfähigkeit und die Ermüdung der Versuchspersonen bei Bildschirmarbeit untersucht:

- a) Blendschutz in Form eines relativ dichten Stoffrollos,
Kurzbezeichnung im Text: BS
- b) Klares Fenster ohne System
Kurzbezeichnung im Text: KF(oS)
- c) Umlenklamelle ungelocht (helle Innenseite) mit Umlenkdecke
Kurzbezeichnung im Text: ULUG
- d) Umlenklamelle gelocht (graue Innenseite) mit Umlenkdecke
Kurzbezeichnung im Text: ULG
- e) wie d) aber nur an der oberen Hälfte des Fensters
Kurzbezeichnung im Text: ULGho

Da das Tageslicht einem permanenten tages- und jahreszeitlichen Wandel unterliegt, wird die jeweilige Tageslichtmenge innerhalb eines Raumes Himmel mit einer Prozentzahl, dem sog. Tageslichtquotienten TQ beschrieben. Der TQ gibt an, wieviel Prozent der Außenbeleuchtungsstärke an einem Meßpunkt im Innenraum auftritt. Er bezeichnet also das Verhältnis zwischen punktueller Innenbeleuchtungsstärke und der vorherrschenden wetterabhängigen Außenbeleuchtungsstärke.

Jedem Punkt im Raum kommt prinzipiell ein ganz bestimmter TQ-Wert zu, weil sich das Tageslicht nie völlig gleichmäßig über die gesamte Grundfläche des Innenraumes verteilt. Mittlere TQ-Werte entsprechen demgemäß einer angenommenen durchschnittlichen Himmelsituation, wobei die tatsächliche Außenbeleuchtungsstärke vom geographischen Ort des Projektes (Breitengrad) abhängig ist.

Die Verläufe der Tageslichtquotienten (TQs) für die oben genannten und getesteten Systeme sind in Abb. 6 dargestellt.

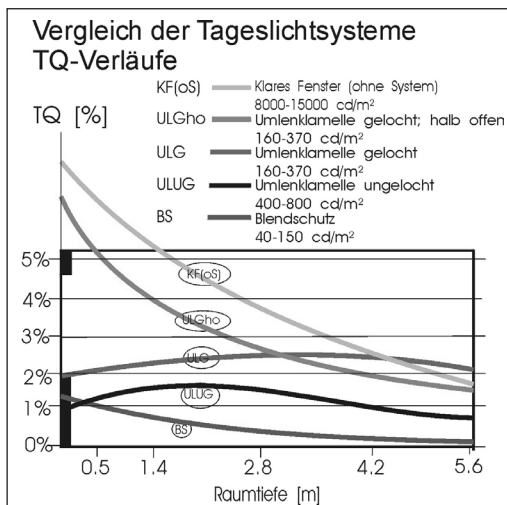


Abb. 6: Raumverlauf der Tageslichtquotienten für die getesteten Tageslichtsysteme

Es zeigen sich sehr unterschiedliche, d.h. zum Teil sehr unausgeglichene TQ-Verläufe für die genannten Systeme, wobei insbesondere das klare Fenster (ohne System) an der Fensterseite zu viel und in der Raumtiefe eher zu wenig Licht liefert. Zur Reduzierung der Fensterleuchtdichte auf 50–200cd/m² wurde ein textiler teiltransparenter Blendschutz gewählt, der aber insgesamt zu dunkel ist, d.h. im Raum ein viel zu niedriges Beleuchtungsniveau schafft. Das beste System hinsichtlich der Höhe und Ausgeglichenheit des TQ ist das System ULG, wenn es an der gesamten Fensterfront angebracht wird.

Wird es nur an der oberen Hälfte des Fensters montiert, verliert es praktisch seine Wirkung (ULGho) und zeigt einen ähnlich ungünstigen TQ-Verlauf wie das klare offene Fenster. Das generelle Beleuchtungsniveau sowie die Art und das Maß der Ausgewogenheit der Helligkeitsverteilung hat nun entscheidenden Einfluß auf die Leistungsquantität und die Leistungsqualität, besonders wenn es um das visuelle Milieu eines Bildschirmarbeitsplatzes geht. Abb. 7 zeigt diese Unterschiede, bezogen auf die horizontale Beleuchtungsstärke auf der Tischoberfläche.

Obwohl die „hellen Varianten“ (KF-oS, ULGho) am Tisch Beleuchtungsstärken zwischen 300 und 850 lux liefern, werden dort ähnlich schlechte Leistungen registriert wie beim dunklen Blendschutz, der am Tisch nur Beleuchtungsstärken zwischen 50 und 200 lux zuläßt. Nicht aber die Helligkeit an sich scheint den eigentlichen Leistungsparameter darzustellen, sondern vielmehr die Interaktion der Systemhelligkeit (Leuchtdichte) mit der Verteilung des Lichts innerhalb des

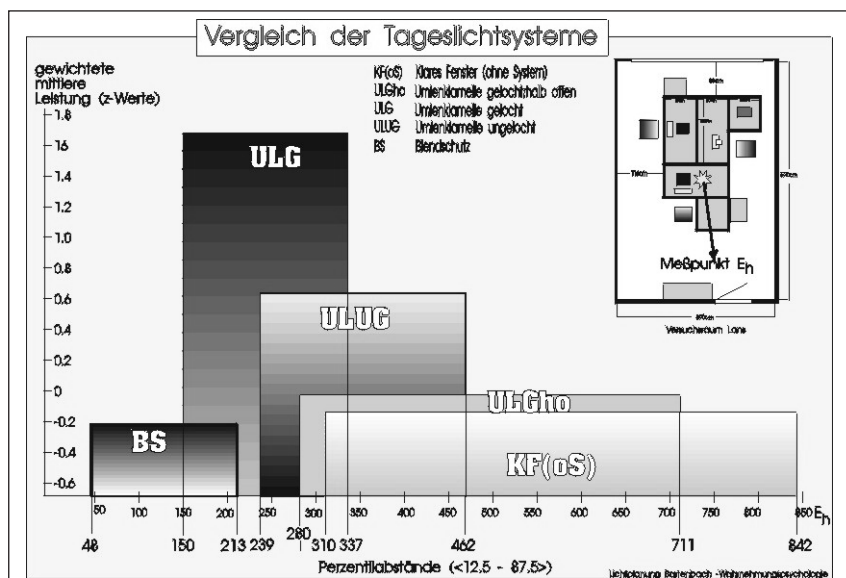


Abb. 7: Systemabhängige Schwankungsbreiten der Horizontalbeleuchtungsstärken (x-Achse) und gewichtete Leistungsmenge (y-Achse)

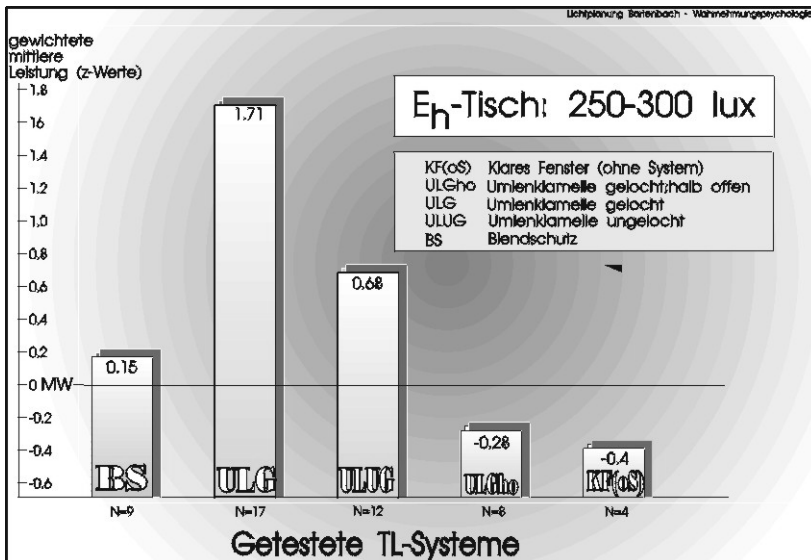


Abb. 8: Gewichtete Leistungsmenge (y-Achse) unter den getesteten Tageslichtsystemen bei jeweils gleicher horizontaler Beleuchtungsstärke (200–300 lux) auf der Tischoberfläche

Raumes. Die gelochte Umlenklamelle vermag diese Parameter am besten zu kombinieren, weshalb mit ihr die mittleren Leistungen signifikant besser ausfallen, als mit den anderen getesteten Systemen.

Daß die horizontale Beleuchtungsstärke nicht allein das Leistungsverhalten determiniert, zeigt sich, wenn diese bei allen Systemen relativ konstant (250–300 lux) gehalten wird. Auch dann schneidet das Umlenksystem ULG am besten ab, weil offenbar die Systemleuchtdichte und die Ausgewogenheit der Verteilung hier am günstigsten ineinanderwirken (Abb. 8).

Auch die Ermüdungsgradienten erbringen eine eindeutige Bevorzugung der Umlenksysteme (Lamellen). Während das klare Fenster und der Blendschutz aufgrund ihrer zu hohen bzw. zu niedrigen Helligkeiten (Adaptationsblendung!) das Auge über Gebühr belasten (Ermüdung positiv), bewirken die Umlenksysteme (gelocht oder ungelocht) Ermüdungswerte, die einem konstanten und entspannten Aktivitätsniveau entsprechen (Abb. 9).

Die Produktivität einer Arbeitsleistung, die hier durch die Testleistung abgebildet wird, erreicht ihren Bestwert, wenn auch bei relativ hohem Arbeitstempo wenig Fehler gemacht werden. Wird nun jeder Versuchsperson aus allen Raumvarianten in einem zweidimensionalen Raster ein Punkt zugeordnet, der auf der x-Achse ihr mittleres Arbeitstempo und auf der y-Achse ihren mittleren Fehlerwert (aus allen Tests) repräsentiert, ergibt sich für jedes System eine lokal konzentrierte Punkteschar (cluster), die die Güte des Tageslichtsystems hinsichtlich der Kombination von Arbeitstempo und Fehlern ausdrückt (Abb. 10).

Auch hier sieht man, daß das System ULG (Umlenklamelle gelocht) mit dem vergleichsweise schnellsten Arbeitstempo und den geringsten Fehlerscores am besten abschneidet, während beispielsweise der Blendschutz sich dadurch auszeichnet, daß dort die Personen langsam arbeiten und trotzdem noch die meisten Fehler bei der Bearbeitung der Tests machen.

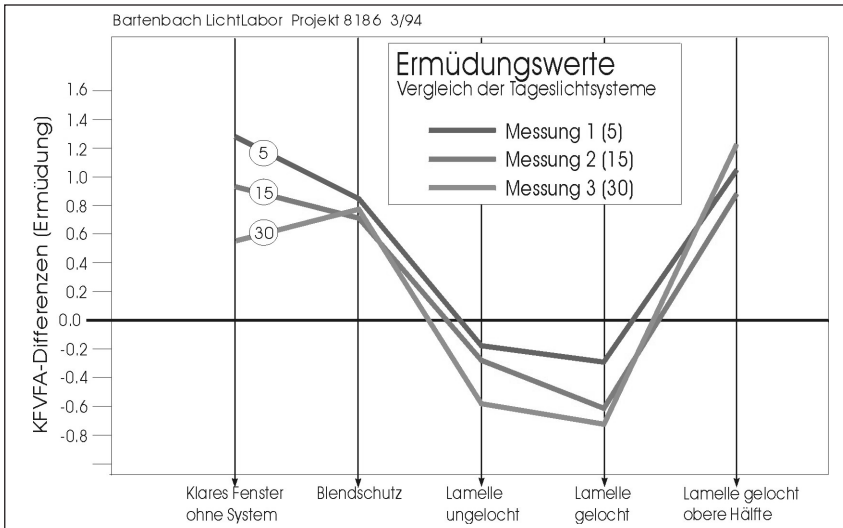


Abb. 9: Ermüdungsgradienten für fünf getestete Tageslichtsysteme

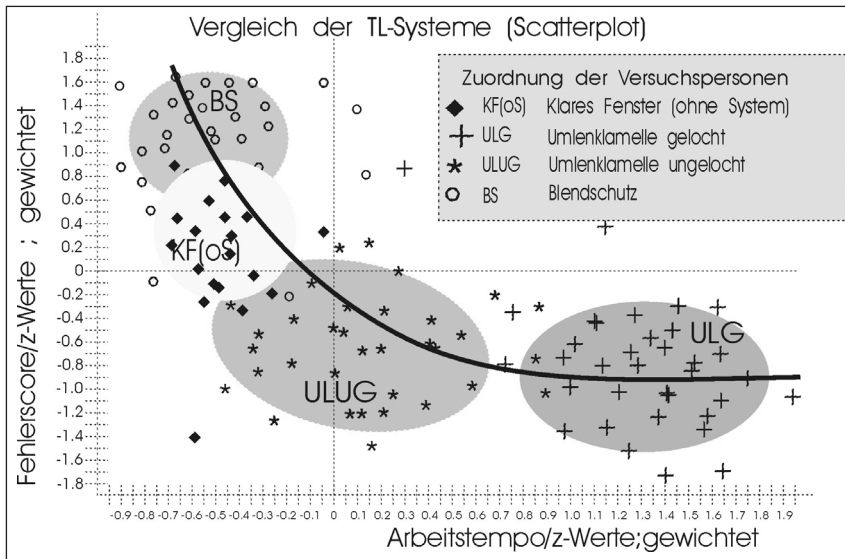


Abb. 10: Clustering der Versuchspersonen aus den getesteten Tageslichtsystemen nach Fehleranzahl und Arbeitstempo

Optometrische Untersuchungen für Sehbeeinträchtigungen und ihre Beziehung zu beleuchtungstechnischen Bedingungen

Dieter Methling

Als Ausgangspunkt für eine grundsätzliche Betrachtung diene ein in der Arbeitshygiene gebräuchliches hierarchisches Konzept, das zwischen Sehanforderung, Belastung und Beanspruchung unterscheidet (Abb. 1).

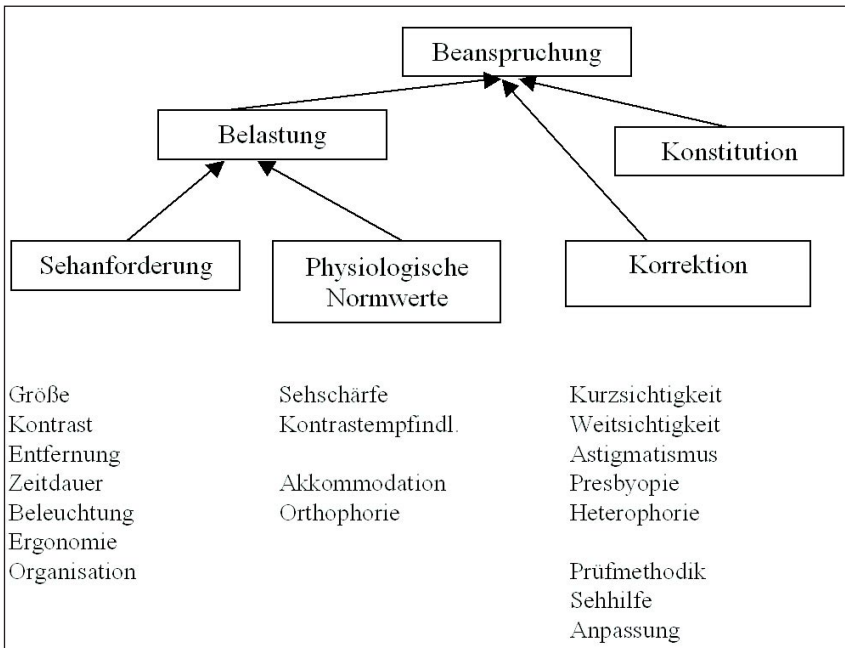


Abb. 1: Hierarchisches Konzept: Sehanforderung, Belastung, Beanspruchung

Sehanforderungen werden danach charakterisiert durch ihren Bezug zu physiologischen Normwerten von entsprechenden Sehleistungskomponenten (Sehschärfe, Kontrastsehvermögen usw.). Wenn eine Sehaufgabe so gestaltet ist, daß eine augengesunde Person mühelos z.B. alle Details erkennen kann und die dazu erforderlichen visuellen Einstellvorgänge ohne Anstrengung ausführen kann, so wird die Tätigkeit „unbelastet“ ausgeführt werden können. Andernfalls

wird eine mehr oder weniger hohe Belastung vorliegen. Da Beleuchtungsbedingungen Einfluß auf die Erkennbarkeit nehmen, haben sie also auch einen direkten Einfluß auf den Grad der Belastung. Personen, die die physiologischen Normwerte nicht erreichen, unterliegen einer hohen Beanspruchung bei der Erfüllung von Tätigkeiten, auch dann wenn die Sehaufgaben optimal gestaltet sind und wenn eine augengesunde Person keine hohe Belastung haben würde. Ursachen für das Nichterreichen der physiologischen Normwerte können z.B. unkorrigierte Fehlsichtigkeiten und pathologische Befunde sein.

Für Sehbeeinträchtigungen kommen im wesentlichen zwei Ursachenkomplexe in Betracht:

- Objektive Gegebenheiten im Bereich der Arbeitsaufgabe
- Individuelle Unzulänglichkeiten im Bereich des visuellen Systems

Sehbeeinträchtigungen können in zweierlei Wirkungen in Erscheinung treten:

- Direkt können sie als Verschlechterung der Erkennbarkeit von Sehobjekten in Erscheinung treten, z.B. bei zu geringer Beleuchtungsstärke, bei Direktblendung, bei Glanz und bei unkorrigierten monokularen Fehlsichtigkeiten.
- Indirekt können Sehbeeinträchtigungen asthenopische Beschwerden hervorrufen und sich dadurch negativ auf das Wohlbefinden auswirken, z.B. bei Umfeldblendung, geringer Körperwiedergabe und bei latenten Störungen des Binokularsehens.

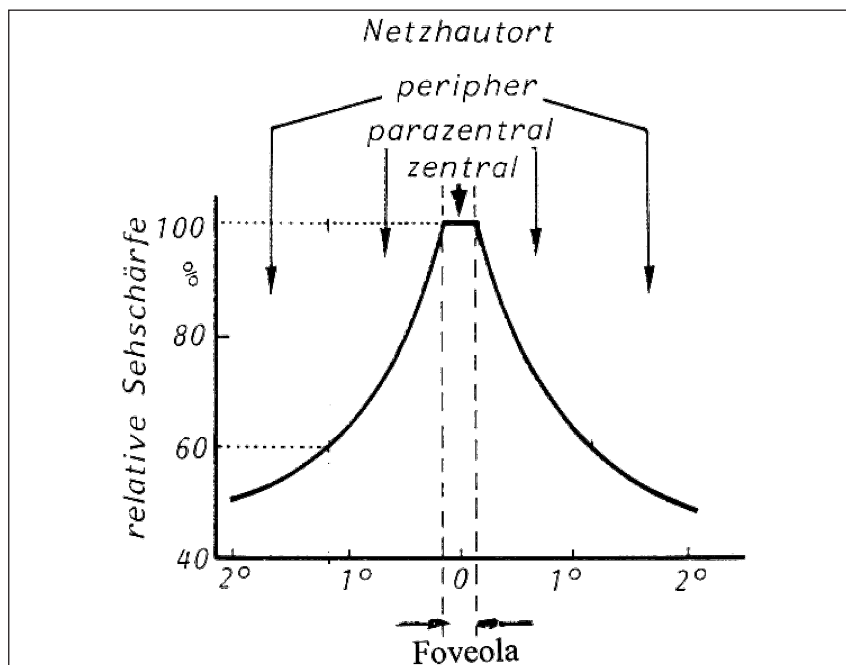


Abb. 2: Abhängigkeit der einfachen Trennschärfe vom Netzhautort

Unter physiologischen Gesichtspunkten sind bezüglich des Sehvorgangs folgende Vorgänge von Bedeutung:

- Zwei miteinander gekoppelte Einstellvorgänge (Akkommodation und Vergenz) sind dafür zuständig, daß ein angeblicktes Objekt in jedem Auge scharf auf der Netzhaut jeweils in der Foveola abgebildet wird.
- Die Foveola ist die Stelle des schärfsten Sehens. Sie hat einen Durchmesser von etwa 0,1 mm. Seitlich der Foveola fällt die Sehschärfe sehr schnell ab (Abb. 2).
- Die Empfänger-elemente der Netzhaut reagieren im wesentlichen nur auf wechselnde Lichtintensitäten (on-, off- Prinzip). Die Augen führen daher auch beim Fixieren eines Objektes Mikrobewegungen, nämlich die mit einem Tremor überlagerten Drifts und Saccaden aus (Abb. 3). Bemerkenswert ist dabei, daß das abgebildete Objekt immer innerhalb der Foveola verbleibt.

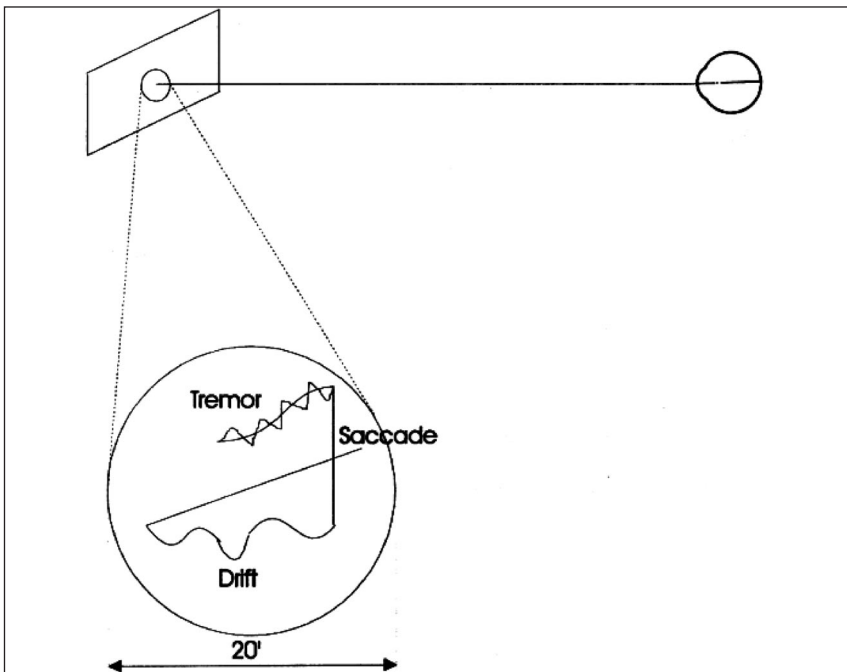


Abb. 3: Bewegungen der Sehachse überstreichen infolge der Mikrobewegungen des Auges einen Winkel von $< 20^\circ$

In optometrischer Hinsicht ist bemerkenswert, daß die Kopplung zwischen Akkommodation und Vergenz (Konvergenz oder Divergenz) häufig nicht ideal ist und daß demzufolge bei zahlreichen Personen das Binokularsehen beeinträchtigt sein kann, auch wenn evtl. vorhandene monokulare Fehlsichtigkeiten korrekt korrigiert worden sind. Diesen latenten binokularen Sehfehler nennt man Heterophorie oder Winkelfehlsichtigkeit. Die Folge davon sind dann häufig asthenopische Beschwerden, wie z.B.

- Erhöhte Lichtempfindlichkeit
- Häufiges Auftreten von Kopfschmerzen
- Notwendigkeit der Konzentration beim Lesen
- Schwierigkeiten beim nächtlichen Autofahren und bei diesigem Wetter
- Zeitweises Auftreten von Doppelkonturen
- Probleme bei Tätigkeit an Bildschirmarbeitsplätzen
- Schwierigkeiten beim Fernsehen
- Schnelle Ermüdbarkeit
- Gefühl der Augenbelastung

Eine Heterophorie bzw. Winkelfehlsichtigkeit ist dadurch gekennzeichnet, daß die Sehachsen im entspannten Zustand nicht exakt auf den Fixationspunkt gerichtet sind, sondern daß im allgemeinen eine der beiden Sehachsen geringfügig um etwa 0,5 bis 2 Grad abweichend orientiert ist. Bezüglich der Funktionsweise des visuellen Systems kann man im wesentlichen zwei Stadien unterscheiden:

Bei der Fixationsdisparation erster Art (Abb. 4) kann durch eine zusätzliche Augenbewegung erreicht werden, daß die Abbildung in beiden Augen jeweils zen-

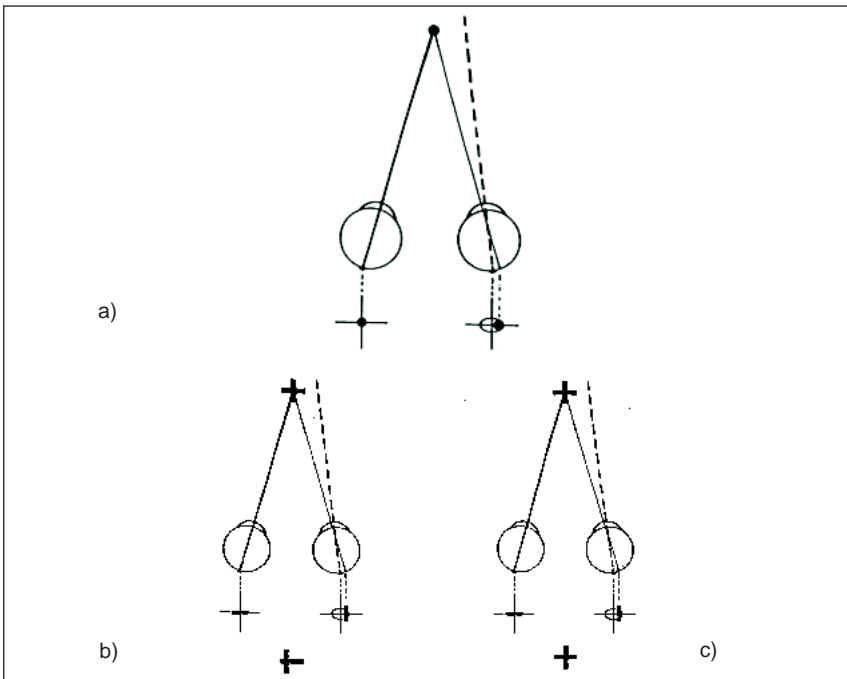


Abb. 4: Sehen und Prüfen bei Fixationsdisparation

- Binokulare Wahrnehmung bei Natürlichem Sehen
- Wahrnehmung dissoziiert dargebotener Zeichen bei Fixationsdisparation erster Art
- Wahrnehmung dissoziiert dargebotener Zeichen bei Fixationsdisparation zweiter Art

tral in der Foveola erfolgt (motorische Kompensation). Von dieser Möglichkeit wird insbesondere bei hohen Sehanforderungen mit kleinen Details Gebrauch gemacht. Nicht selten treten dabei asthenopische Beschwerden auf. Bei geringen Sehanforderungen kann das Augenpaar jedoch auf die zusätzlichen Augenbewegungen verzichten und statt dessen eine Richtungswertumstellung vornehmen, bei der die von der Foveola abweichende Stelle innerhalb des Panumbeereiches (Ellipse in Abb. 4a) den gleichen Richtungswert annimmt wie die Foveola des exakt fixierenden Auges (sensorische Anpassung).

Die Fixationsdisparation erster Art kann gemessen werden, indem man den Augen Testzeichen dissoziiert, d.h. getrennt wahrnehmbar darbietet, und die gegenseitige Verschiebung im zentralen Bereich mißt (Abb. 4b). Derartige Meßmöglichkeiten sind übrigens auch in Sehschnelltestern enthalten.

Bei der Fixationsdisparation zweiter Art ist die Richtungswertumstellung im „abweichenden“ Auge manifest geworden, so daß ständig mittels sensorischer Anpassung gesehen wird. Gegenseitige Verschiebungen dissoziiert zentral dargebotener Zeichen sind dann nicht mehr feststellbar (Abb. 4c). Dies gilt auch für Sehschnelltester. Zur Messung sind dann spezielle Tests notwendig, die die „Abweichung“ parazentral im Bereich der Skalenteile und der Zeigerenden anzeigen (Abb. 5a). Auch Stereotests kommen in diesen Fällen zur Anwendung (Abb. 5b).

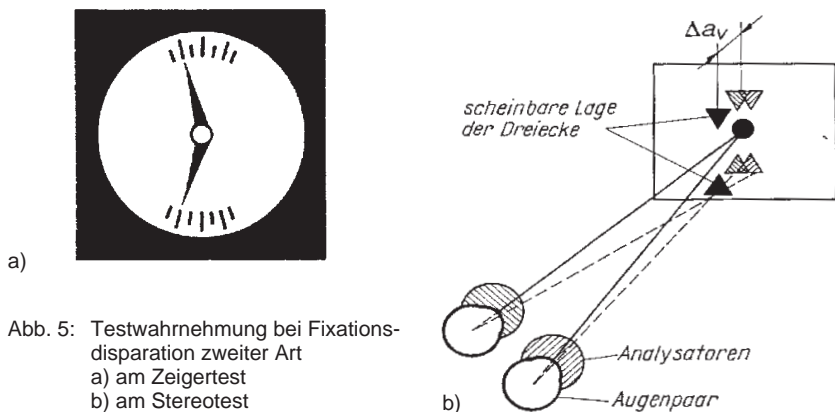


Abb. 5: Testwahrnehmung bei Fixationsdisparation zweiter Art
a) am Zeigertest
b) am Stereotest

Heterophorien bzw. Winkelfehlsichtigkeiten kommen zu etwa 60 Prozent bei Brillenträgern vor (Abb. 6). Bemerkenswert ist, daß etwa 3/4 aller Heterophorien geringen Grades sind und daß gerade diese geringgradigen Heterophorien unkorrigiert zu asthenopischen Beschwerden führen, die insbesondere bei hohen Sehanforderungen verstärkt auftreten. Exakte Korrekturen von Heterophorien wirken sich sehr positiv bezüglich Leistungssteigerung und/oder Reduzierung von Beschwerden aus. Dies konnte in einer Studie, die 300 an Bildschirmarbeitsplätzen tätige Personen umfaßte, nachgewiesen werden (Abb. 7).

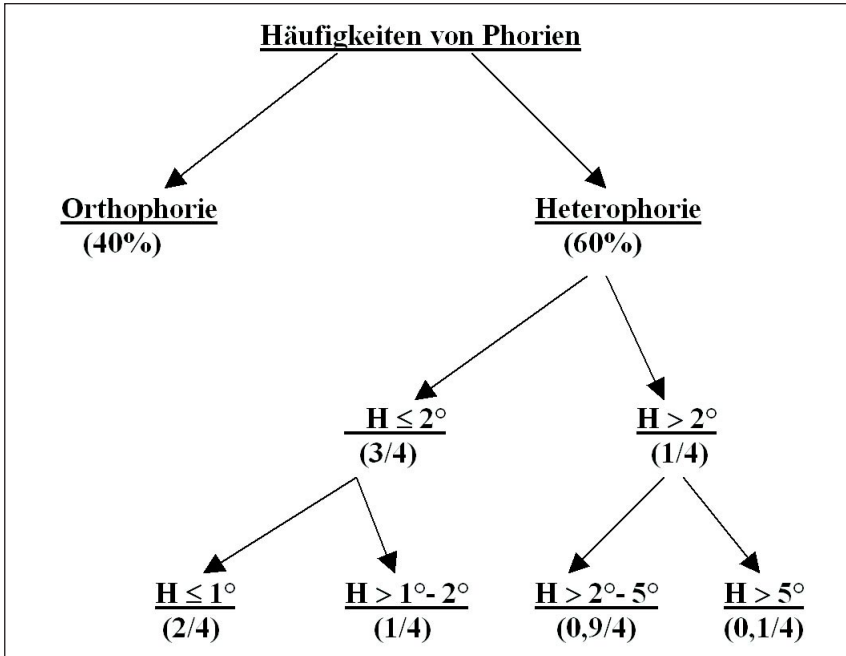


Abb. 6: Häufigkeit des Vorkommens von Heterophorien

Korrektion	Wirkung	
	positiv	negativ
ausgeführt	72%	-
nicht ausgeführt	-	89%

Abb. 7: Wirkung optometrischer Korrektur auf Leistung und Beschwerden (1 Jahr nach der Korrektur)

Zwei Gütemerkmale der Beleuchtung sind unter dem Aspekt Heterophorie bzw. Winkelfehlsichtigkeit von besonderer Relevanz, nämlich die Umfeldblendung und der Modelling-Effekt. Die Umfeldblendung ist für unkorrigierte Heterophoriker wegen der erhöhten Lichtempfindlichkeit besonders unangenehm. Umfeldblendung ist bekanntlich bei einer Situation vorhanden, bei der zwischen Infeldleuchtdichte und Umfeldleuchtdichte kein ausreichend großes „Gefälle“ besteht, d.h. wenn $L_i : L_u < 3 : 1$ ist. Zu gering ausgeprägter Modelling-Effekt beeinträchtigt die Regelvorgänge Akkommodation und Vergenz und ist für unkorrigierte Heterophoriker deshalb besonders erschwerend, weil sie ohnehin schon zusätzliche motorische Kompensation aufbringen müssen. Gering ausgeprägter Modelling-Effekt bzw. geringe Körperwiedergabe sind insbesondere dann vorhanden, wenn der gerichtete Lichtanteil besonders gering ist.

Besondere Beachtung sowohl unter optometrischen als auch unter beleuchtungstechnischen Aspekten ist presbyopen Personen, d.h. Personen etwa gleich

oder älter 45 Jahre zu widmen. Physiologisch-optisch betrachtet sind für diesen Personenkreis mehrere Aspekte kennzeichnend:

- Die Akkommodationsfähigkeit hat so geringe Werte erreicht, daß eine Nahkorrektur erforderlich wird (Abb. 8).

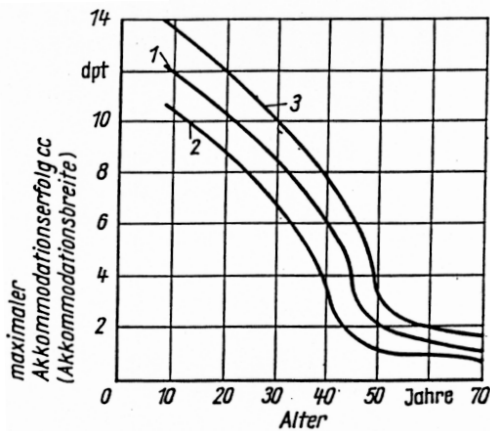


Abb. 8: Maximaler Akkommodationserfolg cc in Abhängigkeit vom Alter (nach Duane)
 1 Mittelwertskurve
 2 untere physiologische Grenzwertkurve
 3 obere physiologische Grenzwertkurve

- Die Einstellzeiten für die Akkommodation haben beträchtlich zugenommen und betragen > 0,5 sec (Abb. 9).

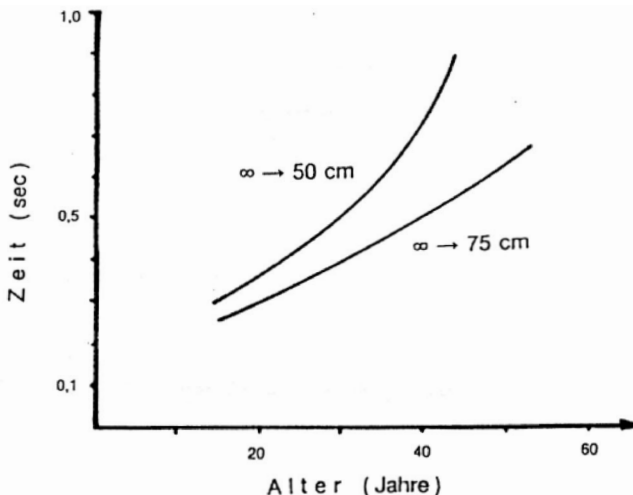


Abb. 9: Einstellzeiten für die Akkommodation in Abhängigkeit vom Alter

- Der Pupillendurchmesser ist kleiner (≤ 4 mm) als in der Jugend (≤ 8 mm).
- Die optischen Medien des Auges (insbesondere Augenlinse und Glaskörper) streuen das Licht stärker.
- Die Sehschärfe nimmt mit dem Alter weiter ab (Abb. 10).

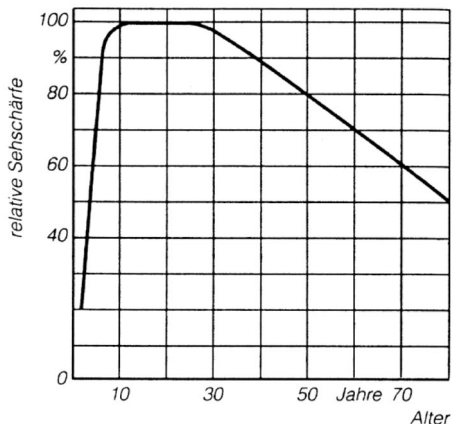


Abb. 10: Abhängigkeit der relativen Sehschärfe vom Alter

Die Beleuchtungsnormung hat diesen Fakten dahingehend Rechnung getragen, daß für ältere Personen höhere Beleuchtungsstärken vorzusehen sind. Aus optometrischer Sicht gibt es eine Reihe von Fakten, die hinsichtlich möglicher Sehbeeinträchtigungen eine Rolle spielen können. Die Notwendigkeit einer Nahkorrektur führt z.B. bei Anwendung einfacher Nahbrillen mit zunehmendem Alter zu extrem kleinen Schärfebereichen (Abb. 11) Deshalb werden meistens mit zu-

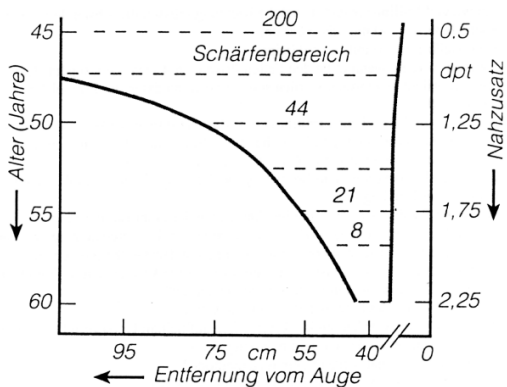


Abb. 11: Abnahme des Schärfenbereiches bei Kompensation der mit dem Alter abnehmenden Akkommodation durch einen Nahzusatz, der dem „Akkommodationsdefizit“ zahlenmäßig genau entspricht

nehmendem Alter Bifokal- oder Gleitsichtbrillen getragen. Während Bifokalbrillen noch eine s.g. „Tote Zone“ zwischen Fern- und Nahbereich haben, gewähren Gleitsichtbrillen eine durchgehend scharfe Abbildung von Fern bis Nah. Allerdings ist bei ihnen für mittlere Entfernungen von etwa 50 bis 80 cm nur eine relativ schmale Zone vorhanden, durch die abbildungsfehlerfreies Sehen möglich ist (Abb. 12). Generell ist festzustellen, daß Gleitsichtbrillen im allgemeinen nur dann beschwerdefrei und effektiv getragen werden, wenn ihre Werte auf einer

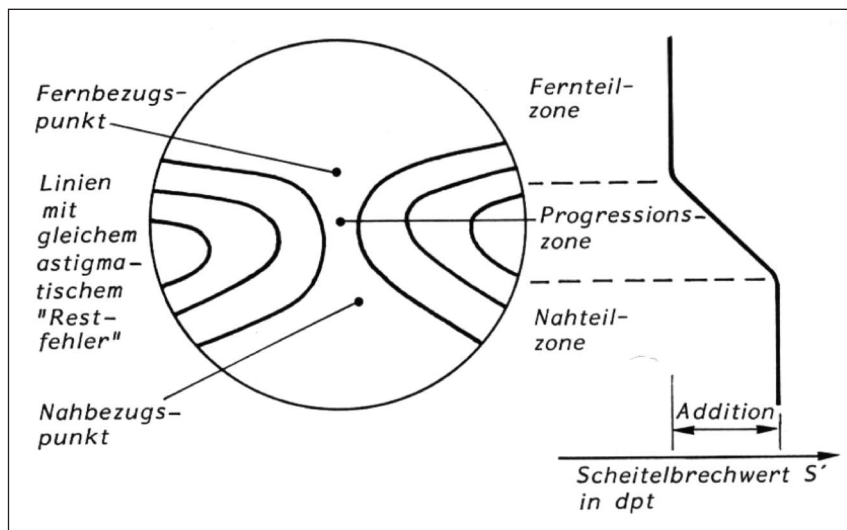


Abb.12: Gleitsichtlinse für rechtes Auge mit charakteristischen Bezeichnungen (schematisch)

exakten optometrischen einschließlich binokularer Messung ($\pm 0,25$ dpt) basieren und wenn sie sehr präzise gefertigt wurden (Toleranz ± 1 mm). Für Naharbeitsplätze und für die Tätigkeit an Bildschirmarbeitsplätzen sind übrigens spezielle Gleitsichtgläser entwickelt worden, deren Eigenschaften auf die Besonderheiten bei diesen Tätigkeiten abgestimmt sind.

Brillengläser werden heute im allgemeinen „entspiegelnd“ gefertigt. D.h. sie sind mit einer oder mehreren sehr dünnen Schichten versehen, so daß der Reflexionsgrad ρ aufgrund von Interferenz stark reduziert ist. Ohne Entspiegelung würde z.B. bei einer Brechzahl $n = 1,5$ des Glases der Reflexionsgrad pro Fläche etwa 4%, bei $n = 1,8$ etwa 8% betragen. Durch die Entspiegelung werden demnach die betrachteten Objekte kontrastreicher wahrgenommen, weil die „Schleierleuchtdichte“ beachtlich reduziert wird.

Hinsichtlich der Beleuchtungsplanung und der Gestaltung von Arbeitsräumen lassen sich aus den bisherigen Darlegungen folgende allgemeinen Schlußfolgerungen ableiten:

- Eine Beleuchtung mit ausreichend großem Anteil gerichteten Lichtes ist im allgemeinen unproblematisch. Eine Realisierung ist möglich durch arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung oder durch kombinierte Beleuchtung.

- Wenn Beleuchtung mit relativ hohem Anteil diffusen Lichtes zur Anwendung kommt, kann eine beleuchtungstechnische Unterteilung in Raumzonen mit unterschiedlichen Beleuchtungsniveaus, gegebenenfalls dimmbar, sehverbessernd wirken.
- Strukturlos wirkende monoton gestaltete Flächen sind zu vermeiden, weil sie sich negativ bezüglich der on-, off- Aktivität der Empfängerelemente des Auges auswirken.
- Hauptblickrichtungen sollen nicht in Richtung auf Fenster orientiert sein, weil ein Silhouetteneffekt und starke Blendwirkung entstehen können.
- Schwach absorbierende Gläser sind für Innenräume nicht geeignet und nicht empfehlenswert. Denn eine erhöhte Lichtempfindlichkeit kann nicht durch das ohnehin relativ zu außen niedrige Beleuchtungsniveau im Innenraum verursacht sein. Als wahrscheinliche Ursachen kommen statt dessen Umfeldblendung und/oder unkorrigierte Heterophorie in Betracht.

Für wissenschaftliche und experimentelle Untersuchungen auf dem Gebiet der Beleuchtungsanwendung sollte der optometrische Status der einbezogenen Probanden vorher exakt ermittelt werden und gegebenenfalls sind entsprechende Korrekturen vorzunehmen. Es reicht auf keinen Fall aus, die Probanden nach ihrer Sehschärfe auszuwählen. Einige nachfolgend aufgeführten Fakten mögen die Notwendigkeit der erhobenen Forderung verdeutlichen:

- Die Sehschärfe ist stark vom Korrektionszustand der Augen abhängig. Bereits eine sphärische Ametropie von 0,5 dpt bewirkt eine Reduzierung der Sehschärfe um 50%, was sich insbesondere bei Kurzsichtigkeit bemerkbar macht (Abb. 13).

Visus	Fernpunktrefraktion dpt
1,0	0
0,5	0,5
0,25	1,0
0,12	1,5
0,06	2,0

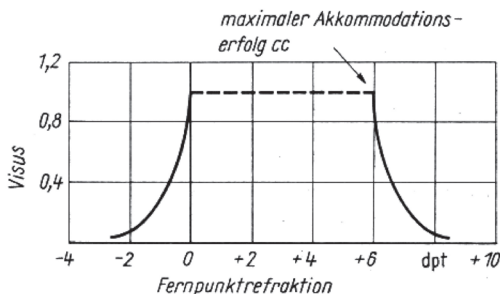


Abb.13: Abhängigkeit der Sehschärfe vom Korrektionszustand bei sphärischer Ametropie

- Bei Vorhandensein eines unkorrigierten Astigmatismus kann die Erkennbarkeit von verschiedenen orientierten Zeichen sehr unterschiedlich sein. Ein unkorrigierter Astigmatismus von 0,5 dpt reduziert die Sehschärfe um etwa 30% (Abb. 14). Etwa 75% aller Brillenträger haben einen Astigmatismus.

Visus	Hauptschnittdifferenz dpt
1,0	—
0,7	0,5
0,5	1,0
0,35	1,5
0,25	2,0
0,2	2,5
0,15	3,0

Abb. 14: Abhängigkeit der Sehschärfe vom Korrektionszustand bei Astigmatismus

- Unkorrigierte Heterophorien bzw. Winkelfehlsichtigkeiten führen zu asthenopischen Beschwerden, so daß die Sehleistung und das Sehempfinden daher Belastungs- und Tageszeitabhängig sein können.
- Bei unterschiedlichen Korrektionswerten für das rechte und das linke Auge, d.h. bei Anisometropie sind unterschiedliche Blickbewegungen bei seitlichen und vertikalen Augenbewegungen erforderlich, wodurch Sehbeschwerden entstehen können.

Modell der visuellen Wahrnehmung (Sehmodell)

Volkher Schultz

Kurzfassung: Das Gebiet der visuellen Wahrnehmung ist sehr komplex: Hier überschneiden sich Erkenntnisse der Physiologie, Psychologie, Augenmedizin, metrisch oder künstlerisch orientierten Farbtheorie mit denen der Lichttechniker, Architekten, Bühnenbildner u.a.

Für den Architekten ist die Erscheinung des architektonischen Raumes, des Resultates von Raumentwurf und Beleuchtungskonzept, besonders wichtig. Der vom Adaptationsniveau abhängige „lesbare Leuchtdichteumfang“ steckt den wahrnehmbaren Raumausschnitt ab. Wie hängen photometrische und empfindungsmäßige Größen von einander ab bzw. wie sind sie transformierbar? Hierzu wäre ein umfassendes Modell der visuellen Wahrnehmung (Sehmodell) sehr hilfreich. Ein solches beabsichtigt der Verfasser vorzustellen.

1.0 Erläuterung des Sehmodells. Unsere visuelle Wahrnehmung basiert auf einer Differenzierung des Leuchtdichteumfangs von 10^{-5} bis 10^5 cd/m². Diese große Spanne kann nur bewältigt werden, indem unser Auge sich adaptiert, – förmlich eine Meßbereichsumstellung vornimmt. Dabei wird das Adaptationsniveau gesucht, das eine bestmögliche Auswertung der im Gesichtsfeld (peripheres Sehen bis 2×45 Grad) erscheinenden Signale (foveales Sehen ab 2×1 Grad) zuläßt. (Abb. 1 Sehmodell/Übersicht).

1.1 Bei der Adaptierung vom Dunklen zum Hellen werden drei Adaptationsstufen durchlaufen: Skotopisches Sehen (Nachtsehen), mesopisches Sehen (Dämmerungssehen) und photopisches Sehen (Tagessehen). Hierbei erfolgt eine Funktionsverschiebung der Rezeptoren in der Netzhaut. Durch die Aktivierung des Zapfenapparates, die in der mesopischen Phase einsetzt, werden bei einem Adaptationsniveau von etwa 3 cd/m² außer Konturen und Helligkeitsunterschieden auch Farben wahrgenommen: $50 \text{ lx} \times 0,2 : \pi = 3 \text{ cd/m}^2$ (Museumsbeleuchtung empfindlicher Exponate).

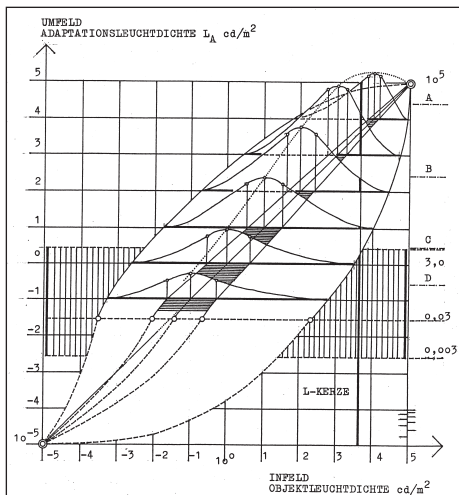


Abb. 1 Sehmodell/Übersicht

Prof. Dr.-Ing. Architekt Volkher Schultz
Licht und Architektur, vormals FH-Lippe
Ellernbruchweg 9, D-32760 Detmold

1.2 Der Anpassungsprozeß kann durch Alltagssituationen verdeutlicht werden, die hier bei einem konstanten Reflexionsgrad von 0,5 verglichen werden:

A) Tageslichtsituation	...	200.000 lx	...	32.000 cd/m ²
B) Innenraumsituation	...	2.000 lx	...	320 cd/m ²
C) Straßenbeleuchtung	...	20 lx	...	3 cd/m ²
D) Notbeleuchtung	...	2 lx	...	0,3 cd/m ²

1.3 Die bestmögliche Anpassung des Auges, die sich vom Dunklen zum Hellen sehr schnell und umgekehrt sehr langsam vollzieht, wird dann erreicht, wenn sich die vom Gesichtsfeld (Umfeld) bestimmte Adaptationsleuchtdichte und die Objektleuchtdichte (Infeld) entsprechen. Trägt man die Adaptationsleuchtdichten auf der Ordinate und die Objektleuchtdichten auf der Abszisse eines kartesischen Koordinatensystems auf, so stellt sich die oben genannte Beziehung, die auch jeweils bestmöglicher Sehleistung entspricht, als Diagonale dar. Damit ist der Rahmen des Sehmodells, für das logarithmische Einheiten verwendet werden, abgesteckt.

1.4 Jeder Punkt auf der Diagonalen markiert ein bestimmtes Adaptationsniveau. Verfährt man von hier nach links oder nach rechts, so erreicht man die Grenzen des Adaptationsintervalls: Noch nicht wahrnehmbar, weil zu dunkel, – oder nicht mehr wahrnehmbar, weil zu hell. Der so erhaltene Leuchtdichteumfang eines Leuchtdichteintervalls ist abhängig von der Adaptationshöhe und umfaßt beim photopischen Sehen 5 bis 3 Dekaden, gegen Null zustrebend. Die Diagonale ist von der Kernzone guter Anpassung umgeben, deren Breite eine Dekade und weniger beträgt.

1.5 Jedes Adaptationsintervall wird durch ein Sensibilitätsprofil charakterisiert, das sich durch Breite, Höhe und Flankenneigung unterscheidet. Der linke Flankenaufrschwung bedeutet zunehmende Sensibilität, das „Minimum“¹ Eintritt in die Kernzone, der „Wendepunkt“¹ höchste visuelle Bereitschaft, das „Maximum“¹ verlassen der Kernzone und der rechte Flankenabschwung abnehmende Sensibilität. So wie die Grenzen der Sensibilitätsprofile stetig verlaufen, so gilt dieses auch für den kontinuierlichen Höhenverlauf, der sein Maximum bei etwa $L_A = 1.000 \text{ cd/m}^2$ erreicht. Das beschriebene Kontinuum erfüllt sich mit Leben, sobald man die Wirkung einer Kerzenflamme mit 5.000 cd/m^2 durch das Sehmodell verfolgt: Im Bereich skotopischen und mesopischen Sehens liegt sie im Blendungsbereich und im photopischen Bereich reiht sie sich allmählich in das angepaßte Sehen ein, – was unserer Erfahrung entspricht, daß die Auffälligkeit des Kerzenlichtes bei Nacht am Tage verschwindet. (Abb. 1 Sehmodell/Übersicht).

1.6 Betrachtet man einen Raum und überträgt man die Adaptationsleuchtdichte, auf die sich das Auge bezogen auf den betrachteten Raumausschnitt einstellt, in das Sehmodell, so erhält man Informationen über das Lichtmilieu und den „lesbaren Leuchtdichteumfang“, der den gesehenen Raumeindruck bestimmt. Die

¹ Die Bezeichnungen sind abgeleitet von den korrespondierenden Punkten auf den Adaptationskurven (s. 1.7).

Übertragung der kleinsten und der größten Leuchtdichten des gesehenen Raumausschnittes in das zugehörige Sensibilitätsprofil zeigt, ob die Kernzone innerhalb des abgesteckten Leuchtdichteumfangs liegt. Abweichungen ergeben sich bei dunklen Räumen, bei denen die Lichtquellen innerhalb des Gesichtsfeldes liegen und Direktblendung erzeugen: – Lichtquellen relativ höherer Leuchtdichte verhindern ein Adaptieren auf Teile der Raumhülle relativ niedriger Leuchtdichten.

1.7 Die Abfolge der Sensibilitätsprofile stellt ein Kontinuum dar (s. 1.5). Die Sensibilitätsprofile lassen sich in das Kontinuum der Adaptationskurven umformen, welche die Beziehung zwischen Objektleuchtdichten und erscheinender Helligkeit auf einer Helligkeitsskala von z. B. 100 Stufen beschreiben. So wird die Transformation physikalischer Meßgrößen in visuelle Empfindungsgrößen möglich. (Abb. 2 Sehmodell / Details) – Übrigens, sind die Sensibilitätsprofile die Gradienten der Adaptationskurven, der „Grundfunktion des Sehens“, wie sie bereits von Weber und Fechner formuliert wurde. Die o. g. Umformung des Sensibilitätsprofile ist deren Integration mit anschließender Normierung. Die Kernzone, – Zone angepaßten Sehens zwischen „Minimum“ und „Maximum“ (s. 1.5), erfüllt das Weber/Fechner-Gesetz (Proportionalität zwischen dem Logarithmus der Objektleuchtdichte und dem Helligkeitsempfinden).

1.8 Fazit: Das Sehmodell besteht aus der Grundfunktion des Sehens (Adaptationskurven) und deren erster Ableitung (Sensibilitätsprofile). Es beschreibt die Helligkeitswahrnehmung, eine der drei Ebenen des Sehens. Konturwahrnehmung und Farbwahrnehmung müssen gesondert betrachtet werden.

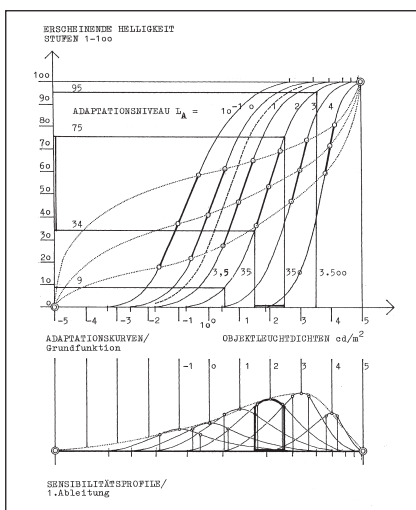


Abb. 2: Sehmodell / Details

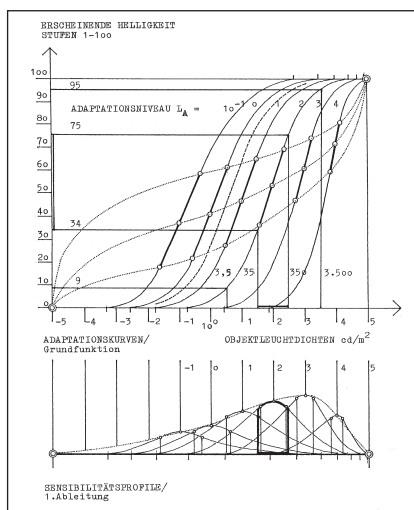


Abb. 3: Verzehnfachung der Objektleuchtdichte

2.0 Anwendung des Sehmodells. Das auf bekannten Eckdaten basierende, theoretisch konfigurierte Sehmodell wird im Folgenden überprüft.

2.1 Verzehnfacht man die Objektleuchtdichte von z. B. 35 auf 350 cd/m², so ergibt sich bei einem Adaptationsniveau von 100 cd/m² (Weber / Fechner-Bereich) die zu erwartende Verdopplung der erscheinenden Helligkeit (75 : 34 ~ 2). Sobald man den Weber/Fechner-Bereich verläßt, ändert sich das Ergebnis: Verzehnfacht man die Objektleuchtdichte von 3,5 auf 35 cd/m² (Bereich zunehmender Sensibilität), so vervierfacht sich die erscheinende Helligkeit (34 : 9 ~ 4). Verzehnfacht man dagegen die Objektleuchtdichte von 350 auf 3.500 cd/m² (Bereich abnehmender Sensibilität), so ist der Effekt gering (95 : 75 ~ 1,3). (Abb. 3 Verzehnfachung der Objektleuchtdichte).

2.2 Verdoppelt man das Adaptationsniveau von z. B. 10 auf 20 cd/m², von 100 auf 200 cd/m² bzw. von 1.000 auf 2.000 cd/m², so bleibt der zugehörige Weber/Fechner-Bereich nicht etwa konstant: – Er verengt sich auf ein Leuchtdichte-verhältnis von 1:5, 1:3 bzw. 1:2, d.h. je mehr man das Adaptationsniveau anhebt, desto kleiner wird der relative Leuchtdichteumfang „höchster visueller Bereitschaft“, s. 1.5 . (Abb. 4 Verdopplung des Adaptationsniveaus).

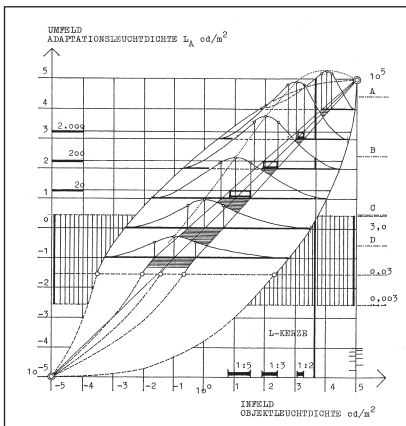


Abb. 4: Verdopplung des Adaptationsniveaus

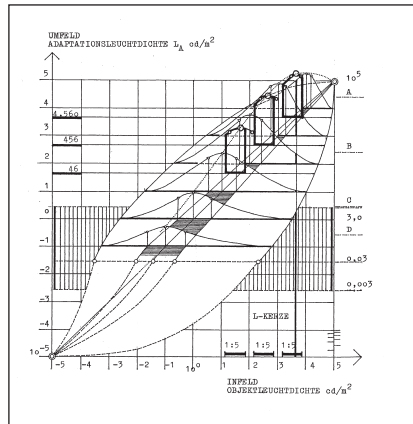


Abb. 5: „Heller Raum“ im Sehmodell

2.3 Verzehnfacht man das Adaptationsniveau in einem „Hellen Raum“ (s. 3.0) durch Anhebung der Beleuchtungsstufen von 46 über 456 auf 4.560 cd/m², so bleibt der photometrische Kontrast ($L_{\max} - L_{\min}$) : $L_{\max} =$ konstant 0,81, während der visuelle Kontrast auf der Hellstufenskala von 0,47 über 0,51 auf 0,56 anwächst. Ferner verlagert sich der Weber/Fechner-Bereich immer mehr in das gesehene Leuchtdichteintervall. Diese Fakten korrespondieren mit der Erfahrung, daß „Helle Räume“ bei hohen Lichtmilieus „weiß und lebendig“, jedoch bei niedrigen „vergraut und verfallen“ erscheinen. (Abb. 5 „Heller Raum“ im Sehmodell, Abb. 6 „Heller Raum“ in drei Lichtmilieus).

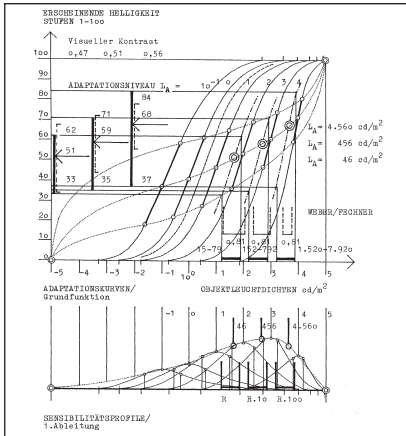


Abb. 6: „Heller Raum“ in drei Lichtmilieus

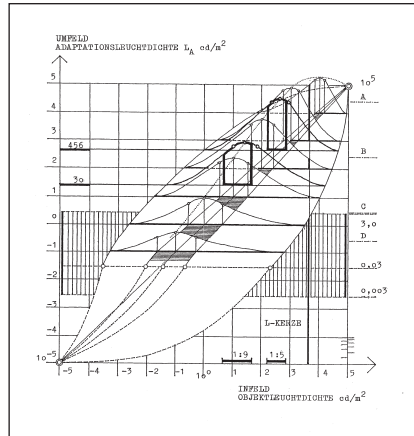


Abb. 7: „Heller Raum“ und „Dunkler Raum“ im Sehmodell

2.4 Vergleicht man den „Hellen Raum“ (H.R.) mit einem „Dunklen Raum“ (D.R.) (s. 3.0) im Sehmodell, so erkennt man, daß der H.R. in der Zone A/B und der D.R. wesentlich niedriger, in der Zone B/C, einzuordnen ist. Ferner erkennt man, daß beim H.R. der Weber/Fechner-Bereich voll ausgenutzt wird, während beim D.R. die im Gesichtsfeld liegenden Fenster das Adaptationsniveau mehr anheben, als es für die Differenzierung der dunkleren Raumpartien optimal wäre. Würde man den Blick abwenden, so könnte sich das Auge herunteradaptieren. Übrigens, bietet sich der „Wendepunkt“ (s. 1.5, Punkt „höchster visueller Bereitschaft“) auf den Adaptationskurven $LA = 456$ und $LA = 30 \text{ cd/m}^2$ als Kriterium des jeweils erlebten Helligkeitseindrucks der Räume an: – Hier zehn Stufen Unterschied, 59 gegenüber 49. Der Unterschied vergrößert sich, sobald man sich vom Fenster abwendet. (Abb. 7 „Heller Raum“ und „Dunkler Raum“ im Sehmodell, Abb. 8 „Heller Raum“ und „Dunkler Raum“ im Vergleich).

2.5 Fazit: Das Sehmodell wird durch die angeführten Beispiele in seiner Anwendbarkeit bestätigt: Es können Lichtmilieus und verschiedene Raumcharaktere verglichen werden, – jedenfalls im Hinblick auf deren Helligkeitseindruck und visuell wahrnehmbare Raumschnitte. (Abb. 9 Statisches Sehen im Raum).

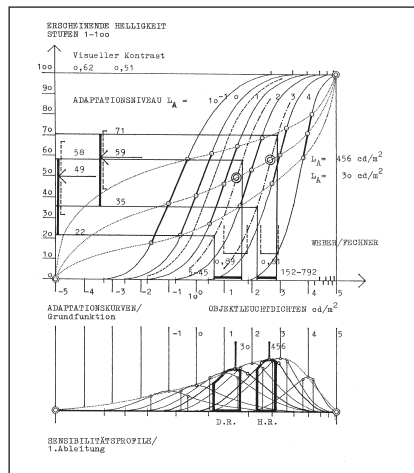


Abb. 8: „Heller Raum“ und „Dunkler Raum“ im Vergleich

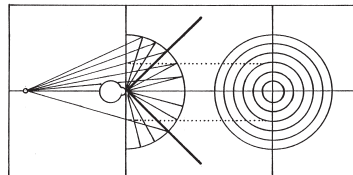
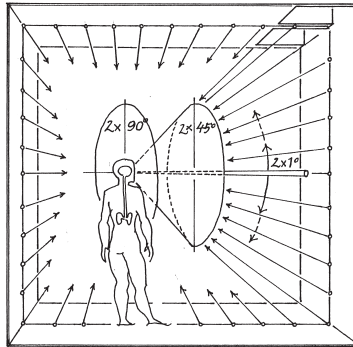


Abb. 9: Statisches Sehen im Raum

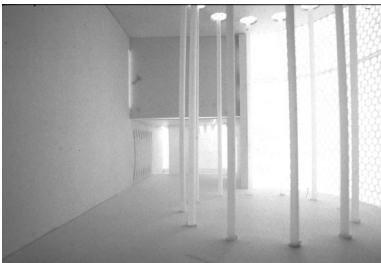


Abb. 10: „Heller Raum“

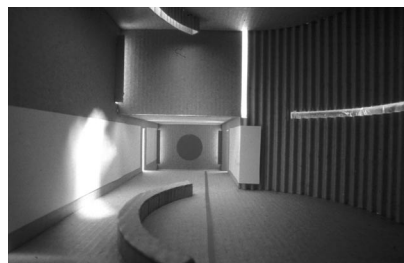


Abb. 10: „Dunkler Raum“

3.0 Anmerkung: Der „Helle Raum“ und der „Dunkle Raum“ sind Architektur-Modellräume, deren stereometrischen Abmessungen übereinstimmen. Es sind metrisch identische Räume, die sich durch die Gestaltung, die Befensterung und die Reflexionsgrade (ca. 0,8 bzw. 0,4) unterscheiden. Die Blickrichtung und der gesehene Raumausschnitt sind übereinstimmend. Die Studienarbeiten (H. Redeker, C. Heißenberg) wurden an der FH-Lippe 1991 vom Verfasser betreut und im Lichtlabor untersucht. (Abb. 10 „Heller Raum“, Abb. 11 „Dunkler Raum“).

4.0 Vorarbeiten des Verfassers zum Sehmodell: Dissertation '75, TU München. Licht '82, Lugano. Licht '86, Baden bei Wien. CIE '87, Venedig. Lux Europa '93, Edinburgh.

Die Beleuchtungssituation im Wohnbereich von Sehbehinderten

Heinrich Lindner, Torsten Rinnert, Wolfgang Behrens-Baumann

In der Universitätsaugenklinik Magdeburg werden seit 7 Jahren Sehbehinderte mit optischen und elektronischen Sehhilfen versorgt. Die Bestimmung der Sehhilfen erfolgt in der Klinik bei optimalen Beleuchtungsbedingungen.

Sehhilfe	
	Anteil
Fernrohrbrille	39,8 %
Lupe	30,0 %
Hyperokular	11,7 %
Bildschirmlesegerät	11,7 %
Prismenbrille	3,9 %
Monokular	2,9 %

Tabelle 1: Verordnete Sehhilfen

Im Rahmen einer Studie über die Nutzungshäufigkeit der verordneten Sehhilfen (Tabelle 1) wurden in 84 Haushalten bei 56 Frauen und 28 Männern mit einem Altersschwerpunkt von 80 bis 84 Jahren auch die Beleuchtungssituation beurteilt. Gemessen wurde die Nahsehschärfe, die Kontrastempfindlichkeit und die Beleuchtungsstärke am Leseplatz. Erfasst wurden die Lampenart, die Leuchtentfernung, die Lichteinfallrichtung und die Schattigkeit. Von den Sehbehinderten wurde ein subjektives Urteil zur Beleuchtung in der eigenen Wohnung abgegeben.

Die Studie zeigt, dass die für das Lesen wichtige Nahsehschärfe bei häuslicher Beleuchtung (Median = 383 lx) um ein bis zwei Stufen geringer ist als unter optimalen Beleuchtungsbedingungen (5000-10000 lx). In 80 % aller Haushalte war die Lesebeleuchtungsstärke ≤ 1000 lx (Tabelle 2).

Messung der Beleuchtungsstärke am Leseplatz	
	Probandenanteil
häusliche Beleuchtung < 5.000 lx	94,2 %
häusliche Beleuchtung < 1.000 lx	79,1 %

Tabelle 2: Häusliche Beleuchtung der Sehbehinderten-Beleuchtungsstärken

Prof. Dr.-Ing. habil. Heinrich Lindner
 Dr. med. Torsten Rinnert
 Prof. Dr. med. Wolfgang Behrens-Baumann
 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
 Klinik für Augenheilkunde
 Leipziger Straße 44
 D-39120 Magdeburg

Vorwiegend wurde bei Mischlicht (Tageslicht und Glühlampenlicht) gelesen. Bei 60 % wurden Decken installierte Leuchten benutzt, die eine Entfernung von mehr als einem Meter zum Lesegut hatten (Tabelle 3). Trotzdem meinten 88 % der Sehbehinderten immer über eine gute Beleuchtung zu verfügen (Tabelle 4).

Lichtquelle bei Sehbehinderten mit optisch vergrößernden Sehhilfen	
Probandenanteil	
ausschließlich Tageslicht	37,7 %
Tageslicht und Glühlampe	45,4 %
Tageslicht und Kaltlichtlampe	14,3 %
Tageslicht und Halogenlampe	2,6 %
Lichtquellenlokalisierung	
Deckenbeleuchtung	60,4 %
Schreibtischbeleuchtung	39,6 %
Entfernung der Lichtquelle	
≤ 50 cm	24,6 %
51 cm – 100 cm	19,5 %
101 cm – 150 cm	19,5 %
> 150 cm	36,4 %
Lichteinfall von	
vorn	11,7 %
hinten	16,9 %
oben	29,9 %
seitlich	41,5 %
Schattenbildung	
auffällig	29,9 %
nicht auffällig	70,1 %

Tabelle 3: Beleuchtungssituation an häuslichen Leseplätzen von Sehbehinderten

Subjektive Einschätzung der Sehbehinderten zur eigenen Beleuchtung	
Probandenanteil	
immer gute Beleuchtung	88,3 %
oft gute Beleuchtung	1,3 %
manchmal gute Beleuchtung	2,6 %
nie gute Beleuchtung	3,9 %
keine Angaben	3,9 %

Tabelle 4: Subjektives Urteil der Sehbehinderten zur eigenen häuslichen Beleuchtung

Die vorgestellte Studie ergibt einen seltenen Einblick in die Beleuchtungssituation in Wohnungen von Sehbehinderten. Sie zeigt, dass in der Regel keine ausreichenden Beleuchtungsstärken vorhanden sind. Lichttechnische Möglichkeiten

für eine Verbesserung der Leseleistung bleiben ungenutzt. Die Betroffenen sind offensichtlich nicht in der Lage, dieses Problem zu erkennen und richtig zu beurteilen.

Analyse von Bildfolgen am Beispiel der Gesichtserkennung

Stefan Milch

1. Einleitung

Zugangskontrollsysteme zu Geldautomaten, Mobiltelefonen oder Computernetzwerken identifizieren berechnete Personen in der Regel anhand eines Paßwortes oder einer Geheimnummer. Eine Schwachstelle hierbei ist, daß unberechtigte Personen leicht und oft auch unbemerkt in den Besitz eines Paßwortes gelangen können. Ein biometrischer Schlüssel bietet für diese Anwendungsbereiche größere Sicherheit. Im folgenden wird ein System zur Identifizierung des Fahrers eines Personenkraftfahrzeuges anhand seines Gesichtes vorgestellt /1/. Das Gesicht wird als biometrischer Schlüssel genutzt.

Eine Schwierigkeit bei der für die Realisierung der Gesichtserkennung notwendigen Bildanalyse in natürlichen Umgebungen sind variierende Beleuchtungssituationen und verschiedene Ansichten des Gesichtes. Hier werden Maßnahmen seitens der Bildanalyse betrachtet, um robust auf diese Variationen reagieren zu können.

Um variierende Beleuchtungsverhältnisse tolerieren zu können, ist es notwendig, daß die genutzten Merkmale zur Repräsentation eines Gesichtes weitgehend invariant gegenüber der absoluten Helligkeit im Bild sind. Liegt jedoch die Bildinformation gestört vor, etwa durch Übersteuerung des Bildaufnehmers, ist die sichere Erkennung nicht mehr möglich. Die Erkennungsleistung läßt sich steigern, wenn die Identifikationsaufgabe nicht auf Einzelbilder durchgeführt wird, sondern Informationen aus einer Bildsequenz extrahiert.

Basis ist das in /3/ vorgestellte Modul zur Fahrererkennung. Dieses System nutzt lediglich zur Detektion und zur Verfolgung des relevanten Objektes in der Bildsequenz Informationen aus vorangegangenen Analyseschritten. Der Ansatz wird hier dahingehend erweitert, daß auch der Merkmalsvektor, der die verfügbare Information zur Identifikation codiert, die Vergangenheit berücksichtigt. Dazu wird ein Beobachtermodell eingeführt, dessen Ziel die Estimation des Merkmalsvektors in einer störbehafteten Umgebung darstellt.

2. Objektmodell

Eine wesentliche Bedeutung fällt dem Objektmodell zu, dessen Funktion darin besteht, für die konkrete Aufgabe relevantes Wissen über das Objekt darzustellen.

Dipl.-Inform. Stefan Milch
Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Lichttechnik
Hochschulstr. 4a
D-64289 Darmstadt

len. Die Modellierung beinhaltet die Wahl geeigneter Merkmale des abzubilden- den Wissens und auch die Beziehungen, die zwischen den gegebenen Informa- tionen existieren. Die relevanten Objekte sind menschliche Gesichter, wobei eine zweidimensionale Frontalansicht des Gesichtes modelliert wird. Das Modell benötigt in jedem Fall Koeffizienten, die eine Anpassung an eine konkrete Ob- jektrealisierung ermöglichen. Zum Ablegen des Referenzwissens wird eine Ob- jektbeschreibung gewählt, die aus lokalen Objektmerkmalen und deren räumli- cher Beziehung zueinander besteht. Objektmerkmale sind signifikante Punkte im Gesicht, wobei die Signifikanz von den verwendeten Bildmerkmalen abhängig ist. Die topologische Struktur der signifikanten Punkte zueinander wird mit Hilfe eines ungerichteten etikettierten Graphen beschrieben. Graphen sind allgemein anwendbare Strukturen, sie können verschiedenste Objekte und Konzepte re- präsentieren. Ein Graph besteht aus zwei endlichen Mengen, einer Knoten- und einer Kantenmenge. Jeder Kante ist ein ungeordnetes Paar von Knoten zuge- ordnet. Zwei Knoten, die durch eine Kante verbunden sind, werden als adjazent bezeichnet. Die Knoten sind mit lokalen Bildmerkmalen und die Kanten mit Ab- ständen etikettiert. Diese Modellierungsform ermöglicht die Darstellung elastischer Verformungen, die bei der Modellierung von Gesichtern zu berücksichtigen sind. Bei der Zuordnung zwischen Referenzmerkmalen und gefundenen Merk- malen wird eine Ähnlichkeitsfunktion optimiert, die sich aus einer negativen Be- wertung für die Verzerrung des Modells und einer positiven Bewertung hoher Ähnlichkeit der Merkmale zusammensetzt (Abb. 1).

Da in der hier betrachteten Anwendung alle Individualobjekte aus einer Objekt- klasse stammen und die Objektmodelle für alle Individuen die gleiche Struktur aufweisen, wird ein generisches Objektmodell zur Modellierung der Objektklas- se Gesicht eingeführt. Das generische Modell hat die gleiche Struktur, wie die In- dividualmodelle, jedoch sind die Knoten mit einer Menge von Merkmalsvektoren anstelle eines einzelnen Merkmalsvektors etikettiert. Die Kanten des generi- schen Graphen sind mit einer mittleren Distanz etikettiert. Damit enthält das ge- nerische Modell Parameter zur Modellierung von nur quantitativ nicht jedoch qua- litativ verschiedenen Objekten. Es hat deklarativen Charakter und generalisiert die spezifischen Eigenschaften einzelner Modelle zu einer Klassenbeschrei- bung, während Individualmodelle eine Instanz beschreiben. Generische Modelle enthalten alle gemeinsamen Eigenschaften einer Objektklasse und können so- mit direkt für die Objektdetektion genutzt werden, ohne alle Elemente der Ob- jektklasse kennen zu müssen.

3. Merkmalszuordnung

Die Merkmalszuordnung (engl. Matching) stellt die Schnittstelle zwischen den vorverarbeiteten Daten, die vom Bildaufnehmer bereitgestellt werden, und dem internen Modell dar. Das interne Modell verfügt über eine Semantik, im Gegen- satz hierzu sind die vorverarbeiteten Rohdaten mit keiner Bedeutung belegt.

In der Zuordnungsphase wird das Modell so angepaßt, daß es möglichst gut mit den Bilddaten korreliert. Formal wird die Güte der Anpassung durch eine Ähn- lichkeitsfunktion beschrieben. Diese nutzt den aus den Bilddaten berechneten Merkmalsraum und das Modell in einem konkreten Zustand und berechnet dar-

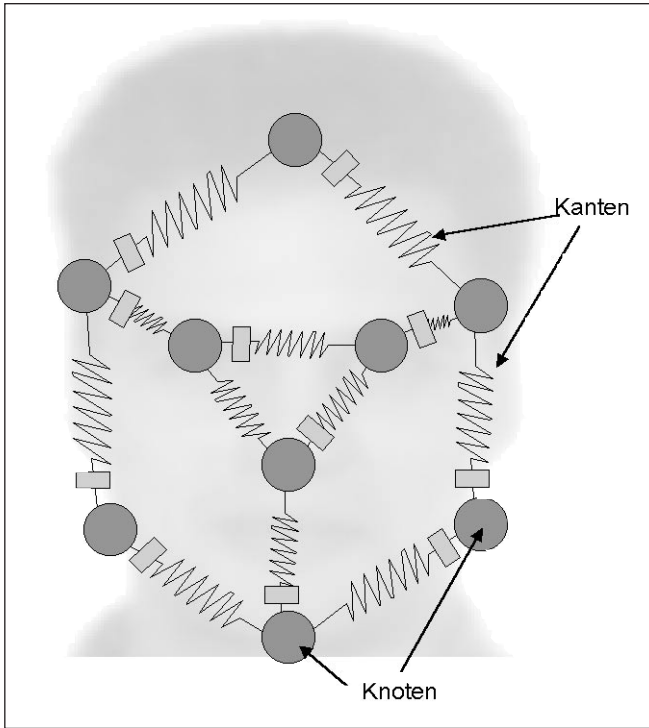


Abb. 1: Das Objektmodell.

aus einen skalaren Wert, der die Güte der Anpassung angibt. Ziel ist es, einen Zustand zu finden, der eine vorgegebene Ähnlichkeitsfunktion maximiert.

Der Zustandsraum beschreibt die Klasse aller möglichen Transformationen, die angewendet werden können, um eine Zuordnung zwischen dem Modell und der Abbildung der realen Szene herzustellen. Gleichzeitig werden mit der Festlegung auf einen bestimmten Zustandsraum Vorbedingungen formuliert, z.B. welche Transformationen auftreten können.

4. Gesichtserkennung in Bildsequenzen

In dem vorgestellten Ansatz wird ein Modell der beobachteten Szene durch Bildanalyse und Prädiktion dem in der realen Welt tatsächlich ablaufenden Vorgang nachgeführt. Zweck des Modells ist die Beobachtung des Gesichtes mit dem Ziel eine Person zu identifizieren. Die Modellierung umfaßt die zweidimensionale Form, die sich durch Projektion der realen dreidimensionalen Szene auf den zweidimensionalen Bildaufnehmer ergibt. Weiterhin werden ein dynamisches Objektmodell und ein Beobachtermodell eingesetzt. Das dynamische Objektmodell erfaßt die Lage und das Bewegungsverhalten des Objektes. In Abhängigkeit davon extrahiert das dynamische Beobachtermodell die zur Identifikation not-

wendigen Parameter aus dem Objektmodell über die Zeit. Wie in Abb. 2 dargestellt, wird das Objektmodell durch den Prozeß A und das Beobachtermodell durch den Prozeß B beeinflusst.

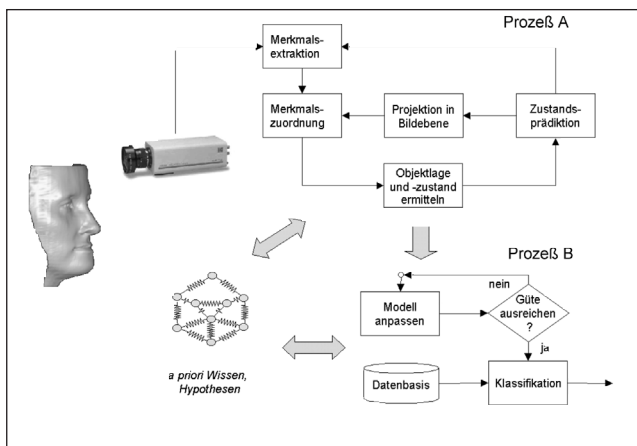


Abb. 2: Systemstruktur des Erkennungsprozesses.

Der Prozeß zur Beobachtung des Gesichtes läßt sich in die folgenden Verarbeitungsschritte gliedern:

1. Prognose der Lage für den Zeitpunkt der Aufnahme des nächsten Bildes durch zeitliche Extrapolation des Modells. Ist die Position des Gesichtes noch unbekannt, so ist eine initiale Lagebestimmung notwendig.
2. Voraussage der erwarteten Merkmale durch Projektion des Objektmodells in die Bildebene der Kamera.
3. Gezielte Suche der Merkmale in den Bilddaten, Zuordnung zwischen Modellmerkmalen und gefundenen Merkmalen.
4. Korrektur des Objektmodells anhand der ermittelten Abweichungen zwischen vorhergesagtem und erwartetem Zustand.

Der Prozeß zur Erkennung des Objektes kommuniziert über das Objektmodell mit dem Beobachterprozeß. Aufgabe dieses Prozesses ist die Erstellung eines Individualmodells für das betrachtete Individuum. Dies geschieht durch Abgleich des internen Modells mit den aktuellen Meßdaten. Ist die Güte der Modellierung oberhalb eines Schwellwertes, wird aus dem internen Individualmodell ein Merkmalsvektor extrahiert und in einem Klassifikator zur Identifikation des Objektes genutzt. Der Schwellwert wird empirisch bestimmt.

Für die modellbasierte Bildanalyse sind vorrangig diejenigen Objekteigenschaften relevant, aus denen die szenenabhängigen Eigenschaften von Merkmalen und Mustern vorhergesagt werden können, die von dem Objekt in den Bilddaten hervorgerufen werden /2/. Diese Objekteigenschaften werden als Objektmerkmale bezeichnet und bilden den Inhalt der Objektmodelle.

Prozeß A extrahiert in jedem Einzelbild der Bildfolge für jeden Knoten des generischen Graphen einen Merkmalsvektor für den Punkt des Objektes, der durch den Knoten repräsentiert wird (Abb. 3).

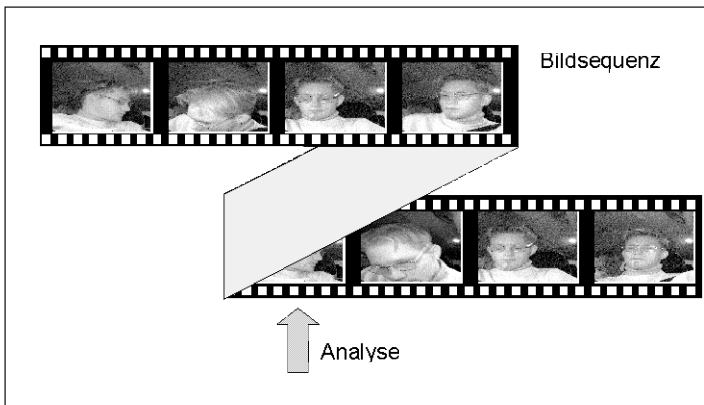


Abb. 3: Analyse von Bildsequenzen

Die Ähnlichkeit zwischen den in der Merkmalszuordnung gefundenen Merkmalen im Bild und der im generischen Modell abgelegten a priori Information, wird als Maßzahl genutzt, die kennzeichnet, wie gut das Merkmal im Bild gefunden werden konnte.

Das mit Prozeß B implementierte Beobachtermodell speichert lokale Merkmale, die in einem Bild der Sequenz schon einmal gut erkannt worden sind, so daß diese für die Identifikation genutzt werden können. Durch diese Erweiterung werden Informationen über die Zeit stabilisiert, was zu einem deutlich robusteren Verhalten bei schwierigen Umgebungsverhältnissen führt. Ob ein Merkmal gut erkannt worden ist, wird formal anhand eines Schwellwertes entschieden. Erst wenn die Ähnlichkeit zwischen einem von Prozeß A extrahierten Merkmal und der Merkmalsmenge im korrespondierenden Knoten einen vorgegebenen Schwellwert übersteigt, wird das Merkmal zwischengespeichert. Die Güte des gespeicherten Merkmals wird in Abhängigkeit vom Alter des Merkmals erniedrigt, dies ist notwendig, um die Erzeugung von „Geisterzielen“ zu verhindern (Abb. 4).

Der Schwellwert und der Parameter, der das Dekrement der Güte der Merkmale über die Zeit festlegt, sind in einer Untersuchung so bestimmt worden, daß die Erkennungsrate ein Maximum annimmt.

Ergebnisse

Zur Vorhersage des Leistungsverhaltens in der späteren Anwendung und zur Bestimmung von freien Parametern bei der Applikation des Systems sind Tests unter realitätsnahen Bedingungen notwendig. Die Untersuchung ist mit Bildsequenzen von 90 Personen durchgeführt worden, wobei jeweils 3 bis 4 Sequenzen pro Person verwendet worden sind. Die Bildsequenzen zeigen Personen

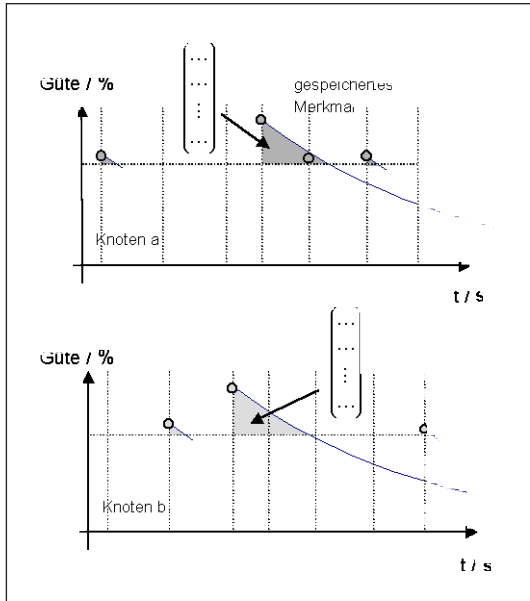


Abb. 4: Prinzip des Speicherns von Merkmalen.

beim Einsteigen in ein Kraftfahrzeug, sie haben jeweils eine Länge von 15 Sekunden und beginnen mit dem Öffnen der Fahrtür. Jeweils ein bis zwei Sequenzen sind in einer Lernstichprobe zum Anlernen der Person an das System verwendet worden, die verbleibenden Sequenzen sind in der Teststichprobe zur Ermittlung der Erkennungsrate verwendet worden. Die Erkennungsrate ohne die Nutzung des Beobachtermodells beträgt 77 %. Durch die Stabilisierung der Merkmale über die Zeit im Beobachterprozeß kann die Erkennungsrate auf 96 % gesteigert werden. Damit konnte gezeigt werden, daß sich auch bei nur schwer kontrollierbaren Umgebungsbedingungen, wie im Kraftfahrzeug, hohe Erkennungsraten erzielen lassen, wenn die zur Verfügung stehende Information wirkungsvoll analysiert wird.

Literatur

- /1/ BERGHOLZ, R., MILCH, S., MAI, R.: Verfahren zur Erkennung einer Benutzerberechtigung eines Fahrzeugs, Offenlegungsschrift, Deutsches Patentamt, Veröffentlichungsnummer: DE 197 48 406 A1, 1997
- /2/ DICKMANN, D.: Rahmensystem für visuelle Wahrnehmung veränderlicher Szenen durch Computer, Shaker Verlag, Aachen, 1998
- /3/ MILCH, S.: Video based driver and passenger monitoring, In: Schmidt-Clausen, H.-J.: Proceedings of Progress in Automobile Lighting, September 1999

Leben mit optischer Strahlung

Joachim Fisch, Karin Bieske

Die vorgestellte Literaturrecherche entstand im Auftrag der Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft/Fachausschuß Eisen und Metall III/Sachgebiet Lichttechnik und wurde von Fachgebiet Lichttechnik der TU Ilmenau durchgeführt. Die Recherche stellt eine kritische Auseinandersetzung mit der Literatur dar. Dabei wurden von den über zehntausend Veröffentlichungen, die im Zeitraum 1800-2000 weltweit existieren, 773 in Form von Forschungsberichten, Zeitschriftenveröffentlichungen, Büchern, Vorträgen und Patentschriften eingesehen und bewertet.

Eine Betrachtung der evolutionsgeschichtlichen Entwicklung auf unserer Erde und die dabei sich ständig neu entwickelnden Wechselbeziehungen „Optische Strahlung-Leben“ waren dabei unumgänglich. Eine kritische Bewertung des heutigen Standes der Technik und eine Verbesserung der interdisziplinären wissenschaftlich-technischen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zusammen mit Medizinern und Biologen sind für Gegenwart und Zukunft unumgänglich.

Die ausführliche Recherche kann beim Auftraggeber angefordert werden. Auf dem Poster werden nur auszugsweise die Ergebnisse dargestellt und die Angabe der Literaturstellen muß wegen des Umfangs entfallen.

1. Photobiologische Prozesse und deren Grundsätze

Die Spezies Mensch befindet sich in enger komplexer Wechselwirkung mit ihrer Umwelt. Zwischen Mensch und Umwelt finden Austauschvorgänge statt. Bekannt ist, daß der Mensch Sauerstoff verbraucht und Kohlendioxid als Verbrennungsprodukt abgibt und daß er Nahrungsmittel aufnimmt und abgebaute Nahrung ausscheidet. Außerdem weiß man, daß der Mensch optische Strahlung absorbiert und im infraroten Strahlungsbereich emittiert. Die Strahlungsemission im sichtbaren und sogar UV-Strahlungsbereich ist weniger bekannt und wird erst seit einigen Jahren mit hochempfindlicher Meßtechnik untersucht /233/, /343/, /387/, /507/, /520/, /576/, /625/ - /626/, /715/, /725/ - /730/, /740/, /745/, /748/, /750/.

Andere Umwelteinflüsse wie Umgebungstemperatur, Luftfeuchtigkeit und mögliche Streßbelastungen, z. B. Lärm und Blendung, wurden bei diesen Betrachtungen nur zweitrangig betrachtet, obwohl deren Einflüsse nicht vernachlässigt werden dürfen. Interdisziplinäre Forschungen sind dazu verstärkt erforderlich.

Dr.-Ing. Joachim Fisch
Dipl.-Ing. Karin Bieske
Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau
Fachgebiet Lichttechnik
Postfach 10 05 65
D-98684 Ilmenau

Photobiologische Prozesse, die auch beim Menschen ablaufen, gehorchen den Grundgesetzen der Photobiologie und Photochemie. Von besonderer Wichtigkeit sind die Vorgänge, die von der Strahlung über die Haut, die Augen und die Haare in Gang gesetzt werden. Mit Kenntnissen über Wirkungen der Strahlung auf diese Organe können Aussagen zu positiven und negativen Folgen gemacht werden.

Die Entstehung, Aufrechterhaltung und Weiterentwicklung des Lebens bzw. der lebenden Organismen sind auf das Engste auch mit dem Einfluß ultravioletter Strahlung verbunden /170/, /276/. Sowohl die Ausbildung der primären Sauerstoffatmosphäre wie auch die erste abiogene Synthese biologisch aktiver Bausteine sind auf die photobiologischen Wirkungen ultravioletter Strahlung zurückzuführen /141/, /170/.

Die optische Strahlung, insbesondere ihr ultravioletter Anteil, zählt zu den wichtigsten Umweltfaktoren, da sie als Energie- wie auch als Informationsquelle eine wesentliche Voraussetzung für die Existenz und Weiterentwicklung der Lebewesen darstellt. Intrazelluläre Schutzmechanismen in Form von Reparatursystemen und spezifischen Molekülen sorgen dafür, daß unter natürlichen Bedingungen Überdosierungen nicht wirksam und somit schädliche Effekte weitestgehend vermieden werden. Kommt es durch die Bestrahlung zu photochemischen und/oder photobiologischen Veränderungen, so findet eine aktive Absorption statt, d. h. die Strahlung wirkt aktinisch. Sehr häufig sind am Bestrahlungsobjekt passive und aktive Absorption gleichzeitig wirksam. Für die photochemischen Reaktionsabläufe gilt das von Grothus und Draper formulierte erste Grundgesetz der Photochemie, das besagt, daß nur die vom Reaktionsgemisch absorbierte Strahlung photochemisch wirksam ist. Außerdem gilt das zweite Grundgesetz. Dieses besagt: die photochemische Wirkung ist der eingestrahlten Energiemenge proportional (Bunsen-Roscoesches-Gesetz). Der Zusammenhang wird durch das Stark-Einsteinsche Gesetz bestimmt. Es beinhaltet, daß eine quantitative Beziehung zwischen der absorbierten Strahlung und der umgesetzten Stoffmenge vorhanden ist. Man spricht deshalb vom Stark-Einsteinschen-Äquivalentgesetz. Im einzelnen bedeutet das:

- Die primäre photochemische Reaktion ist streng monomolekular.
- Durch ein Energiequant wird ein Molekül umgesetzt.
- Die Primärreaktion ist nahezu temperaturunabhängig. Die nachfolgenden Dunkelreaktionen können von der Temperatur beeinflusst werden.
- Zwischen primär umgesetzter Stoffmenge und der absorbierten Strahlungsmenge besteht Proportionalität.

Der für die Erhaltung des menschlichen Lebens benötigte Strahlungsbereich liegt zwischen Wellenlängen von 0,3 nm und 10 nm. Wesentliche photobiologische Stoffwechselfvorgänge finden im Wellenlängenbereich zwischen 300 nm und 800 nm statt /170/. Ganz allgemein gilt, daß hohe Dosisbelastungen zu Schädigungen führen /352/, /527/. Bei ausreichender Dosis der energiereichen Strahlung (UV-Strahlung) können irreversible Änderungen (Schädigungen) eintreten /514/. UV-Strahlung ist in der Lage, in Abhängigkeit von der Wellenlänge in Mikroorganismen und Lebewesen einzudringen und dort in Abhängigkeit von der Dosis die

Stoffwechselfvorgänge zu beeinflussen. Dies ist schon viele Jahrzehnte bekannt und intensiv untersucht worden /19/, /30/, /61/, /141/, /735/, /748/. Das Spektrum der Beeinflussung geht von der Stimulierung der Stoffwechselfvorgänge bis hin zur Abtötung lebender Mikroorganismen und Zellen höherer Lebewesen.

Für längerwellige Strahlung (Wellenlängen > 800 nm) hat der menschliche Organismus keine direkten photobiologischen Empfänger entwickelt. Die Photonenergie ist zu klein. Es kommt nur zu einer Erwärmung, die aber bei hohen Bestrahlungsstärken und Dosen auch Stoffumwandlungen bewirken können /738/. Seit langem ist bekannt, daß 85% aller Sinneswahrnehmungen optischen Ursprungs sind. Licht ist der Mittler auf der Strecke Sehobjekt – Auge – Gehirn. Für diese Leistungen benötigt der Mensch 25% seines gesamten Energiehaushaltes.

Man weiß auch, daß optische Strahlung nicht nur dem Sehprozeß dient, sondern darüber hinaus viele Organfunktionen und Verhaltensweisen des menschlichen Körpers regelt. Diese Aussagen sind seit vielen Jahrzehnten immer wieder unter anderen Gesichtspunkten erforscht worden /1 - /7/, /134/, /162/, /485/, /514/, /766/. Dabei wurde sehr frühzeitig der Untersuchung der Sehschärfe, dem relevantesten Parameter des Sehvorganges, besonderes Augenmerk geschenkt. Bild 1 zeigt schematisch die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsstärke und vom Lebensalter.

Daß eine Beleuchtungsniveausteigerung eine erhöhte geistige und körperliche Leistungssteigerung mit sich bringt und daß Lichtmangel krankmachen kann, ist

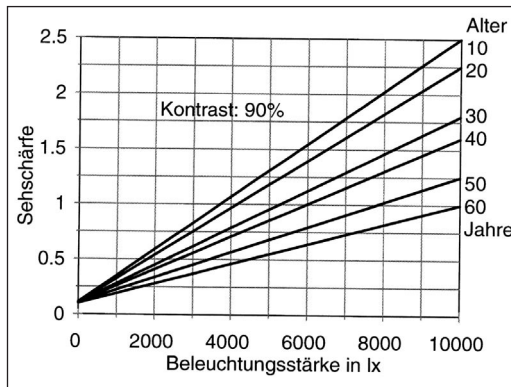


Bild 1 Abhängigkeit der Sehschärfe von Beleuchtungsstärke und Lebensalter /86/

gründlich bekannt gewesen /134/, /260/, /494/, /514/, /582/, /593/, /615/, /631/, /641/, /697/, /699/, /714/, /717/ - /718/, /722/ - /723/, /736/ - /738/, /753/, /756/, /763/ - /766/, /770/, /773/. Mit wissenschaftlichen Untersuchungen wurde mehrfach nachgewiesen, daß Leistungszuwachs, Ausschuß- und Unfallrückgang mit der Beleuchtungsstärke in Arbeitsstätten in Verbindung gebracht werden können /86/, /114/.

Bereits in den 70er Jahren gab es Arbeitsplätze in Deutschland mit Beleuchtungsstärken von 1000 bis 3000 lx /134/. Viele Untersuchungen in den 80er und 90er Jahren zeigten, daß niedrige Beleuchtungsniveaus, sogar mit Beleuchtungsstärken von $E \leq 500$ lx für spezielle Arbeitsaufgaben Wahrnehmbarkeit garantieren. Neuere Arbeiten tendieren wieder zu höheren Grundbeleuchtungsniveaus, z. B. /754/. Derzeit werden beleuchtungstechnische Größen in den DIN-Normen festgelegt /741/, /762/.

Wiederholt muß festgehalten werden, daß es ein großer Irrtum ist und bleibt, daß die Beleuchtung nur in Zusammenhang mit dem Sehprozeß in Verbindung gebracht werden muß. Seit langem ist bekannt, daß es außer Zapfen und Stäbchen in der Netzhaut noch weitere lichtempfindliche Empfänger gibt, die allerdings nicht der optischen Wahrnehmung sondern der Signalaufnahme zur Weiterleitung des optischen Reizes zur Zirbeldrüse und zur Hypophyse dienen /28/, /36/, /43/, /58/, /62/, /67/ - /69/, /74/ - /76/, /79/ - /82/, /85/, /87/, /107/, /111/, /114/, /124/, /126/ - /127/, /133/, /139/. Die optische Strahlung, auch ein Teil der nicht sichtbaren Strahlung (UV- und IR-Strahlung), beeinflußt den Hormonhaushalt und triggert die innere Uhr aller Lebewesen in tages-, wochen- und jahreszeitlichen Rhythmen /582/, /723/. Man spricht von circadianen Rhythmen.

Die Beleuchtung ist ein wichtiger Teil der physikalisch-biologischen Umgebung sowohl am Arbeitsplatz als auch im privaten Bereich. Eine ausgewogene Beleuchtung im Gesichtsfeld insbesondere am Arbeitsplatz und dessen Umgebung sowie wohlbefindliche Lichtfarben sorgen nicht nur für momentanes Wohlbefinden, sondern dienen langfristig dem gesunden Leben mit optischer Strahlung /485/, /545/, /615/, /631/, /709/, /723/, /763/, /765/, /771/.

Von Cakir wurden in /733/ sechs Hypothesen aufgestellt und Erläuterungen dazu gegeben, die sich nur auf die Beleuchtung von Arbeitsplätzen mit Leuchtstofflampen beziehen. Im Ergebnis der Auswertung vieler Literaturstellen kommen die Verfasser dieser Literaturrecherche zu dem Schluß, daß diese sechs Hypothesen auch auf andere Beleuchtungssysteme übertragbar sind. Entwurf und Bau fensterloser Projektierungs- und Fertigungseinrichtungen mit der zwangsweise nur künstlichen Beleuchtung waren eine architektonische und technische Entgleisung, deren biologische, medizinische und wirtschaftliche Folgen bis heute nicht gründlich untersucht wurden /103/, /111/, /113/, /131/, /499/, /722/. Die Rückbesinnung zur Benutzung des natürlichen Lichtes in der Raumausleuchtung zeigt den gegenwärtigen Trend. Dies fördert Wohlbefinden und Gesundheit /169/, /399/, /514/, /559/, /733/, /766/ - /767/.

Die Entwicklung und Technisierung von Bildschirmarbeitsplätzen schränkt jedoch abermals die Tageslichtnutzung ein, obwohl die visuellen und energetischen Belastungen enorm steigen. Man spricht von „Lichtschutzvorrichtungen zur Ablenkung des Tageslichtes an Bildschirmarbeitsplätzen“. Festlegungen gibt es dazu in der Bildschirmarbeitsplatzverordnung /772/.

Nicht nur im Arbeitsprozeß, sondern auch im Freizeitverhalten der Menschen gab es besonders in den letzten 100 Jahren gewaltige Veränderungen. Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts waren viele Menschen in der Landwirtschaft tätig und somit stärker der natürlichen Sonnenstrahlung ausgesetzt. Dies hatte nicht nur positive Auswirkungen auf die Gesundheit sondern auch negative. Recht häufig gab es an den der Sonnenstrahlung zu lange und zu oft ausgesetzten Körperoberflächen Hautveränderungen bis hin zu Hautkrebs. Laufend besser werdende Produktionstechniken in der Landwirtschaft und Industrie bewirkten höhere Produktivität und eine enorme Umverteilung der Arbeitskräfte. Ein Großteil der Menschen entzog sich damit der häufigen und intensiven Sonnenbestrahlung.

Da die in den Arbeitsräumen notwendige künstliche Beleuchtung weder bezüglich Wellenlängen, Lichtfarben und Beleuchtungsstärken der natürlichen Sonnenstrahlung entsprach, entstanden bei nicht wenigen Menschen Lichtmangelerscheinungen.

2. Zusammenfassung bisheriger Untersuchungen aus der Literatur

Seit den 70er Jahren wird intensiv an der Entwicklung und Gestaltung optimaler und dem Menschen wohlbefindliche Eindrücke vermittelnder Arbeitsplatzbeleuchtung geforscht und gearbeitet. Viele Literaturstellen sind dazu beispielsweise in /733/, /751/, /754/ und /762/ enthalten. Sehr frühzeitig war bekannt, daß Beleuchtungsstärken über 1000 lx einen positiven Einfluß auf die Gesundheit haben. Einige wenige Arbeiten sollten dazu erwähnt werden: /1/ - /7/, /134/, /162/, /485/, /514/, /766/. Dennoch wurden Festlegungen getroffen und Normen festgelegt, die ihren Ursprung in wissenschaftlichen Untersuchungen zur Erkennbarkeit der Arbeitsaufgaben und zum Wohlbefinden bei entsprechender Beleuchtung am Arbeitsort haben. In /733/, /751/, /754/ und /762/ werden sie ausführlich zitiert. Die Lichttechnik, sowohl Licht- und Strahlungsquellen, als auch Beleuchtungsanlagen mit Betriebsgeräten haben eine enorme Weiterentwicklung erfahren. Heute ist es an vielen Arbeitsplätzen möglich, durch mechanische und/oder elektronische Regelungen die Beleuchtungsstärken sowohl für Tageslicht aber auch Kunstlicht individuell zu regeln. Berücksichtigt man den wesentlichen Faktor „Gesundheit“, also Gesunderhaltung trotz künstlicher Beleuchtung, langfristig, so sollte man die über mehrere Jahrzehnte gesammelten Erfahrungen im medizinischen und biologischen Bereich nutzen und höhere Beleuchtungsniveaus mit individueller Einstellbarkeit sowohl hinsichtlich der Lichtfarben als auch der Helligkeit realisieren. In /733/ und /766/ werden beispielsweise Vorschläge dazu unterbreitet.

Bei künftig zu projektierenden Beleuchtungsanlagen muß im Vordergrund die Gesunderhaltung der Menschen stehen. Dies schließt die Sehleistung und Erkennbarkeit von Sehobjekten ein. Die Beleuchtung muß eine Aktivierung körperlicher und/oder geistiger Arbeit bewirken. Damit führt die Tätigkeit auch nicht zur Ermüdung und zu ermüdungsbedingten Fehlern. Es ist weiterhin noch zu klären, ob eine gewisse Blendung nicht positive Effekte im Arbeitsprozeß und für die Gesundheit bewirken kann. Die Unzufriedenheit über Beleuchtungskonzepte zeigt sich in der zunehmenden Tendenz, „Licht und Gesundheit“ als ein Ganzes zu betrachten. Forschungsprojekte und Tagungsthemen versuchen die Beleuchtungsprobleme der Gegenwart und Zukunft ganzheitlich anzugehen. Dies ist auch im Sinn der vorliegenden Literaturstudie. Die ins Leben gerufene Tagung „Licht und Gesundheit“ im Jahre 2000 war ein sinnvoller Anfang.

3. Wechselwirkungen optische Strahlung und lebende Materie

Das Bild 2 demonstriert in allereinfachster Form die Wechselwirkungen lebender Materie und optischer Strahlung. Diese Darstellung soll nur die Zustände allgemein beschreiben und sagt nichts über Wellenlängen- und Dosisabhängigkeiten aus. Die eigentliche Zellstrahlung ist in dieser Darstellung nicht enthalten, da diese um Größenordnungen kleiner ist. Um konkreter zu Wechselwirkungen und deren Ergebnissen zu kommen, wurden beispielhaft die menschliche Haut, das menschliche Blut, das menschliche Auge und das menschliche Haar ausgesucht.

3.1 Wirkungen auf Blut, Haut, Augen und Haare

Für den Menschen war von jeher der sichtbare Bereich wegen der visuellen Wahrnehmung von besonderer Bedeutung. Die Auswirkungen der unsichtbaren Strahlung wurden z. T. für therapeutische Zwecke in der Medizin genutzt. Seit der Entdeckung der UV-Strahlung durch Ritter /1/ im Jahre 1803 beschäftigten sich viele Generationen von Physikern, Chemikern, Medizinern und Technikern

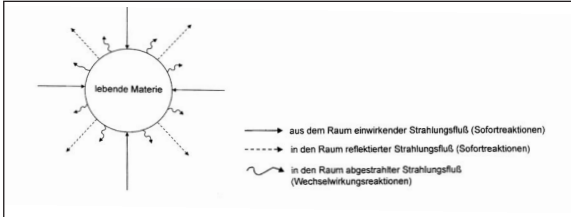


Bild 2 Stark vereinfachte Darstellung der Wechselwirkung optischer Strahlung mit lebender Materie

mit der Erzeugung, Untersuchung und Anwendung der energiereichen optischen Strahlung. In der Literatur sind in zahllosen Beiträgen die schädigenden und/oder biopositiven Wirkungen optischer Strahlung beschrieben. Darüber

wird in dieser Recherche noch ausführlich berichtet. Wichtige Parameter und Festlegungen sind in den Normvorschriften enthalten.

1983 untersuchten Riemann u. a. /221/ erneut die Absorptions- und Transmissions-eigenschaften von Blut und seiner Bestandteile mit moderner Meßtechnik. Bild 17 demonstriert den Sachverhalt. Die Ergebnisse von Schubert /10/ und Kolath/Suhrmann /12/ wurden damit erhärtet.

Dies hatte Auswirkungen auf die Entwicklung und die Produktion neuer Blutbestrahlungsgeräte für medizinische Therapien. Für die medizinische Behandlung der Neugeborenen gelbsucht (Hyperbilirubinemie) wurden spezielle Geräte und Verfahren entwickelt /39/, /48/, /260/, /695/ - /697/. Die Photonenenergie von $E = 2,7 \text{ eV}$ im Blaulichtbereich reicht aus, das Bilirubin zu zersetzen. Blut, speziell das Hämoglobinmolekül, ist, wie seit langem bekannt, nicht nur Target für die kurzwellige optische Strahlung im UVB - bis Blaulichtbereich /10/, /12/, /212/, /221/, /269/ - /270/, /274/ - /275/, /291/, /359/, sondern soll auch „Transporteur“ der Strahlungsenergie zu den Zielorganen sein, wie neuere Veröffentlichungen darlegen /707/ - /708/.

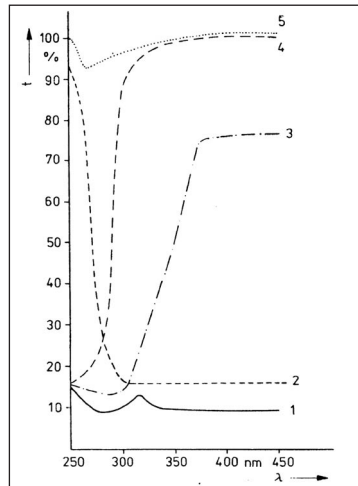


Bild 3 Transmissionskurven der einzelnen Medien:
 1 Vollblut/Aqua dest.,
 2 Erythrozytenkonzentrat / Konservierungsstabilisator,
 3 Serum/Aqua dest.,
 4 Konservierungsstabilisator / Aqua dest.,
 5 Natrium citricum/ Aqua dest

Die Kenntnis der optischen Eigenschaften der Haut ist unentbehrlich für das Verständnis der Auswirkungen der Strahlung. Aus optischer Sicht ist die Haut ein inhomogenes Medium, das aus vier Schichten besteht:

Hornschicht (Cuticie), Stachelzellenschicht (Germinative Zone), Lederhaut (Dermis) und Unterhaut (Subkutis). Die einzelnen Hautschichten haben einen unterschiedlichen Brechungsindex und eine unterschiedliche Verteilung der Chromophore, was zu unterschiedlichen Reflexions-, Übertragungs- und Streuungseigenschaften je nach Wellenlänge führt. Die Eindringtiefe der Strahlung in die Dermis wird wegen des Gefäßsystems mit der Absorption der Strahlung durch das Blut (Hämoglobin, Oxyhämoglobin) im Wellenlängenbereich zwischen 300 nm und 600 nm und durch die Streuung in der Kollagenfaserschicht beeinflusst. Die Farbstoffe in der Hornschicht sind vorrangig Melanin, Urocaninsäure und Proteine. Die Hornhautunterschicht besteht aus lebensfähigen Zellen und besitzt die gleichen Farbstoffe wie die Hornschicht. Hier spielen die Nukleinsäuren der DNA bezüglich der kurzwelligeren UV-Strahlung eine lebenswichtige Rolle.

Strahlung mit Wellenlängen zwischen 800 nm und 1400 nm (kurzwelliges Infrarot) kann am tiefsten bis in die subkutane Schicht eindringen, die daher als das optische Fenster der Haut bezeichnet wird.

Die Augen sind im Zusammenhang mit dem Gehirn wohl die kompliziertesten Organe. Auf der einen Seite wird ein Sinneseindruck unserer Umwelt optisch vermittelt und parallel wird über die von Hollwich /28/, /36/, /43/, /62/, /67/, /69/, /75/, /79/, /80/, /87/, /93/, /107/, /111/, /120/, /126/, /139/, /366/ bezeichnete energetische Sehbahn, Verhalten, Entwicklung oder Stagnation sowie tages- und jahreszeitliche Anpassung des menschlichen Organismus gesteuert. Viele dieser Mechanismen befinden sich erst am Beginn der Klärung. Hollwich /69/, /75/ hat bereits im Jahre 1964 die Reaktionen der Eosinophilenzahl auf okuläre Lichtreize untersucht. Dabei wurden bei einer normalsichtigen Probandin der Abfall der Eosinophilen Zellen nach 20 min Bestrahlung mit Kunstlicht unterschiedlicher Lichtintensität betrachtet. Es konnte nachgewiesen werden, daß mit zunehmender Beleuchtungsstärke der eosinopenische Effekt als Folge einer vermehrten Cortisol-Ausschüttung der Nebennierenrinde ausgeprägter und frühzeitiger eintritt. Dieser Effekt wurde von anderen Autoren bestätigt. Bild 4 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse. Die Konzentration der Eosinophilen Granulozyten ist demnach abhängig von der Beleuchtungsstärke.

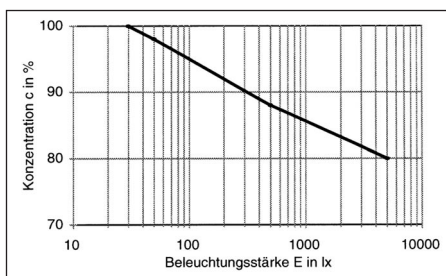


Bild 4 Konzentration c der Eosinophilen Granulozyten (2-4% der Bluteukozyten, 100-300 Zellen/μl) in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke E /69/, /75/

Nach Wirz-Justice in Jung/ Hollick /615/ kann die Grenze der biologischen Wirksamkeit des Lichtes bei Beleuchtungsstärken von $E = 2000 \text{ lx}$ gezogen werden, wenn man die Melatoninproduktion untersucht. Diese wird ab 2000 lx unterdrückt.

Auch ein Teil der biologisch-medizinischen Steuerungsmechanismen über die energetische Bahn ist bekannt. Eine zusammenfassende Darstellung wurde von Stark und Methling /162/ gegeben. In den letz-

ten Jahren sind neue Erkenntnisse dazugekommen. Die vorliegenden wissenschaftlichen Ergebnisse aus dem medizinischen Bereich, von Saller /514/ herausgearbeitet, zwingen zum erneuten Nachdenken über gesunde Beleuchtungstechniken, siehe auch Bild 5.

Haare sind Lichtleiter. Tierische Haare wurden sehr gut auf ihre Strahlungsflußeigenschaften untersucht /435/. Das Verhalten menschlichen Haares bezüglich der Speicherung und Weiterleitung optischer Strahlung ist bisher kaum erforscht worden. Eine Ausnahme bilden die Cochlear Haarzellen, bei denen viele Untersuchungsergebnisse vorliegen, z. B. /142/. Alle Literaturstellen weisen auf

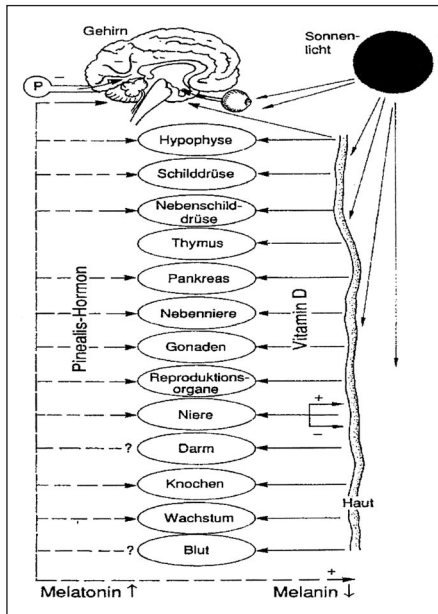


Bild 5 Schematische Zusammenfassung der endokrinen Systeme Haut, Vitamin D und Auge-Pinealis nach Stumpf /350/

Lichtleit- und Speichereigenschaften hin /142/, /435/, /737/. Aus diesen Ergebnissen ist abzuleiten, daß es unbedingt erforderlich ist, die Lichtleit- und Lichtspeichereigenschaften menschlichen Kopfhaares zu untersuchen. Ergebnisse dieser Forschungen werden möglicherweise Denkanstöße für weiterführende biologische und medizinische Untersuchungen geben, in dessen Folge grundlegende Überlegungen für neue Beleuchtungskonzepte entstehen werden.

3.2 Lichtmangelschädigungen

Depressionen gehören heute zu den häufigsten psychiatrischen Erkrankungen. Vermutlich hat es sie schon immer gegeben. Menzel /64/ machte bereits 1962 auf den menschlichen Tag-Nacht-Rhythmus und Schichtarbeit aufmerksam. Zu

Beginn der 80er Jahre erscheinen in zunehmendem Maße Veröffentlichungen, die sich mit circadianen Rhythmen befassen /105/, /110/, /112/, /116/ - /117/, /127/, /136/, /138/, /140/, /144/ - /145/, /149/, /153/ - /157/, /160/, /164/, /166/. 1980 berichteten Lewy u. a. /171/-/172/, daß ein Zusammenhang zwischen dem Wechsel der Jahreszeiten einerseits und der Häufigkeit und Intensität des Auftretens von Depressionen andererseits besteht. Lewy entdeckte, daß helles Licht die allnächtliche Melatoninausschüttung unterdrückt und den Körper auf Tagbetrieb umstellt. Die Folgejahre bestätigten, daß dieses Nachtsignal „Melatoninausschüttung“ manipuliert werden kann. Die Patienten zeigen als Besonderheiten neben der Bindung der Depression an die sonnenarmen Wintermonate noch den Drang zum vermehrten Essen, z. B. Appetit auf Süßigkeiten, eine Gewichtszunahme, erhöhtes Schlafbedürfnis und Zunahme der depressiven Beschwerden zum Nachmittag und Abend.

Die Wirksamkeit der Lichttherapie ist in vielen Studien belegt worden. So konnte ein Nachlassen depressiver Symptome bei SAD in über 50% erreicht werden. Als erforderliche Beleuchtungsstärken am Auge werden vorerst 2500 bis 10000 lx empfohlen. Bei Beleuchtungsstärken von 2500 lx am Auge soll die Bestrahlungsdauer 2 Stunden betragen, bei 10000 lx 30 bis 40 Minuten /234/, /245/, /248/, /258/, /263/, /292/, /302/, /308/, /321/, /337/, /345/ - /347/, /369/, /375/, /377/, /385/ - /386/, /398/ - /402/, /426/ - /434/, /454/, /469/ - /480/, /510/ - /513/, /577/ - /584/, /590/ - /595/, /616/ - /624/, /628/ - /633/, /642/ - /661/, /666/ - /682/, /685/ - /689/, /700/ - /708/, /711/ - /712/, /718/ - /723/, /746/ - /747/, /756/ - /758/.

Literatur

Die zitierten Literaturstellen sind im Recherchebericht „Licht und Gesundheit – Das Leben mit optischer Strahlung“ enthalten.

Erkennbarkeitsweiten von bekannten Personen bei verschiedenen Straßenbeleuchtungen

Martin Eckert, Ulrich Carraro, Shiwka Jordanowa, Holger Kschischenk

1. Aufgabenstellung

Für Straßen, die nicht vorrangig dem Autoverkehr dienen, fehlen bisher in der deutschen Normung begründete Gütekennziffern für deren Beleuchtung. Die im Entwurf der europäischen Norm „Straßenbeleuchtung“ (DIN EN 13201) enthaltenen spezifischen Parameter und zugehörigen lichttechnischen Kennziffern erfordern einerseits eine Spezifizierung und Präzisierung und andererseits Hinweise oder Richtlinien für die Umsetzung in die Praxis aus nationaler Sicht.

Speziell die spezifischen Parameter der Euro-Norm „Notwendigkeit der Gesichtserkennung“ und „Höhe der Kriminalitätsrate“ erfordern entsprechende lichttechnische Kenntnisse über wahrnehmungsphysiologische Zusammenhänge und detaillierte beleuchtungstechnische Gütekennziffern, die bisher nicht in ausreichendem Maße vorhanden sind.

Die wenigen bisher hierzu vorliegenden speziellen Untersuchungen (eigene Laboruntersuchungen /1/ und Untersuchungen von Caminada/van Bommel in den Niederlanden /2/) haben bisher in der Praxis wenig Anwendung gefunden und sollten im Rahmen dieser F/E-Arbeit durch praxisnahe Untersuchungen im Straßenverkehr, insbesondere hinsichtlich der lichttechnischen Gütekriterien zur Gesichtserkennung bei unterschiedlichen Straßenbeleuchtungsbedingungen, eine Verifizierung erfahren. Im Ergebnis der Untersuchungen sind Hinweise für künftige Planungen von Straßenbeleuchtungsanlagen unter Berücksichtigung der Forderungen nach guter Gesichtserkennbarkeit im Straßenraum zu geben. Das bezieht sich auf die Quantifizierung der beleuchtungstechnischen Kennziffern, auf die Voraussetzungen zur Vorausberechnung der Kennziffern, ausgehend von einem festzulegenden Berechnungs- und Meßraster, sowie auch auf die zweckmäßige Auswahl der Lichtstärkeverteilung der anzuwendenden Straßenleuchten.

2. Untersuchungsmethode

Die Untersuchungen wurden auf nächtlichen Straßen verschiedener Kategorie und unter unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen in 5 Städten (Dresden, Hannover, Ilmenau, Leipzig, Freiberg) durchgeführt. Die Untersuchungen stützten sich dabei auf zwei Teilaufgaben:

Dr.-Ing. habil. Martin Eckert, TU Dresden, D-01062 Dresden
Dr.-Ing. Ulrich Carraro, TU Dresden, D-01062 Dresden
Dipl.-Ing. Holger Kschischenk, Hermannstädter Str. 47, D-01279 Dresden
Dipl.-Ing. Shiwka Jordanowa, TU Ilmenau, D-98693 Ilmenau

- Meßtechnische Erfassung der lichttechnischen Parameter der Anlagen im umfassenden Sinne
- Visuelle Bewertung der Erkennbarkeit von Gesichtern

Die meßtechnische Untersuchung umfaßte die Messung folgender Parameter, wobei nicht alle aufgezählten Parameter in jedem Meßort erfaßt wurden:

- Horizontale Beleuchtungsstärke E_h der Fahr-/Gehbahn
- Halbsphärische Beleuchtungsstärke E_{HS} der Fahr-/Gehbahn
- Vertikale Beleuchtungsstärke E_v in Gesichtshöhe
- Halbzylindrische Beleuchtungsstärke E_{zh} in Gesichtshöhe
- Umfeldleuchtdichte L_u
- Leuchtdichteunterschied ΔL zwischen Objekt (Person) und unmittelbarer Umgebung
- Mittlerer Leuchtdichtekoeffizient q_m^0 der Straßendeckschicht

Für die Messung der Leuchtdichte wurden bildauflösende Verfahren (fotografische und videotekhnische) angewendet.

Aus den lichttechnischen Parametern wurden Niveau- und Kontrastkennziffern abgeleitet und Zusammenhänge der gemessenen Kennziffern zu „inneren“ und „äußeren“ Kontrasten und im weiteren Vergleich zur Erkennbarkeit von Gesichtern eruiert.

Die visuelle Einschätzung der Gesichtserkennbarkeit erfolgte auf unterschiedliche Weise:

- Ermittlung der Erkennbarkeitsweite von bekannten Gesichtern für ausgewählte Beobachtungs- und Objektpositionen
- Einschätzung der Erkennbarkeit nach einer 4stufigen Skala (gut erkennbar, leidlich gut erkennbar, schlecht erkennbar, nicht erkennbar) aus festgelegten Beobachtungsentfernungen
- Ermittlung des Anteils der Erkennbarkeit von 5 künstlichen Modellgesichtern (Eckert, M., Jordanova, S. – S. 656).

3. Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse lassen sich folgendermaßen kurz beschreiben: Die horizontale und die halbsphärische Beleuchtungsstärke haben keinen Einfluß auf die Erkennbarkeit von Gesichtern unter Praxisbedingungen. Als günstigste Niveauekennziffern für die Gesichtserkennung erwiesen sich hierbei die vertikale und die halbzylindrische Beleuchtungsstärke.

Diese Zusammenhänge gehen aus den Abbildungen 1 und 2 (Anlagen in Dresden, Leipzig und Freiberg) sowie Abb. 3 (Anlagen in Hannover) hervor.

Aus den Meßdaten wurde folgender Vorschlag für die Mittelwerte dieser Größen abgeleitet:

$$E_{vm} = 2,1 \text{ lx} \dots 5,5 \text{ lx}$$

$$E_{zhm} = 2,5 \dots 6,0 \text{ lx}$$

$$\text{Gleichmäßigkeit } E_{\text{min}}/E_m = 0,5$$

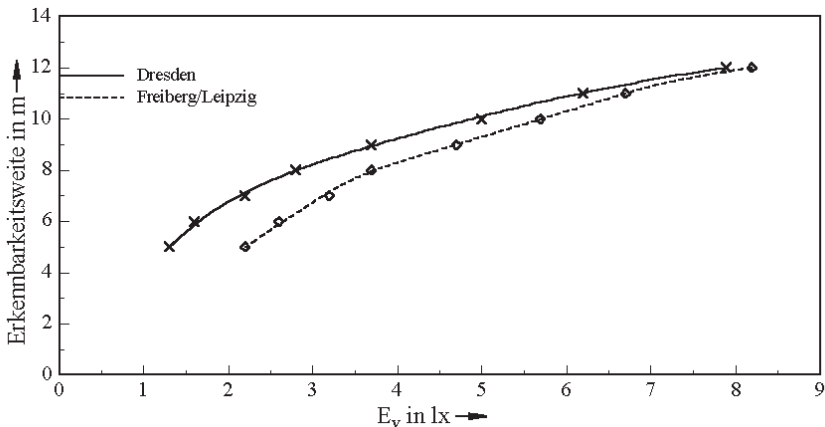


Abb. 1: Abhängigkeit der Erkennbarkeitsweite von der vertikalen Beleuchtungsstärke nach den Dresdner und Leipzig/Freiburger Untersuchungen

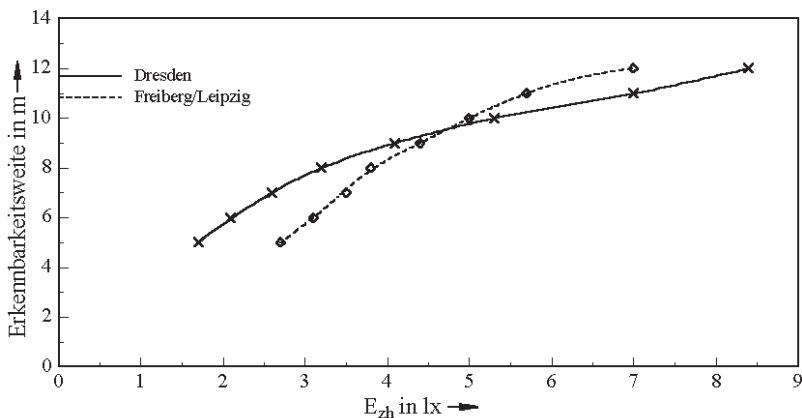


Abb. 2: Abhängigkeit der Erkennbarkeitsweite von der halbzyklindrischen Beleuchtungsstärke nach den Dresdner und Leipzig/Freiburger Untersuchungen

Die genannten Werte gelten für die direkte Beobachtung und für die in Betracht kommenden Beobachtungsentfernungen.

Für die genannten mittleren Beleuchtungsstärken und die Gleichmäßigkeit wird ein Berechnungs- und Meßraster nach Abb. 4 vorgeschlagen, und zwar in Abhängigkeit vom Lichtpunktabstand a in folgender Weise:

Rastermaß in Längsrichtung: $m_a = a / 6$

Rastermaß in Querrichtung: $m_b = b / 4$

Die jeweiligen Beleuchtungsstärken sind für die Schnittpunkte der Rasterlinien zu berechnen, wobei nur die Innenpunkte (ausgenommen sind die Punkte auf den

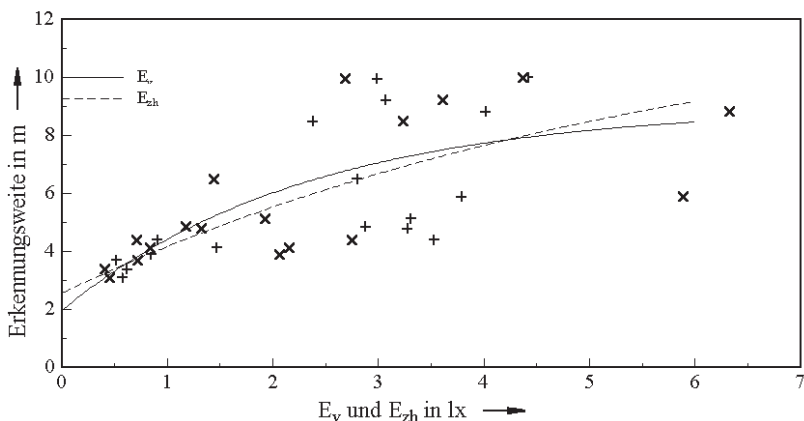


Abb. 3: Zusammenhang zwischen vertikaler bzw. halbzylindrischer Beleuchtungsstärke und der Erkennbarkeitsweite nach den Untersuchungen in Hannover

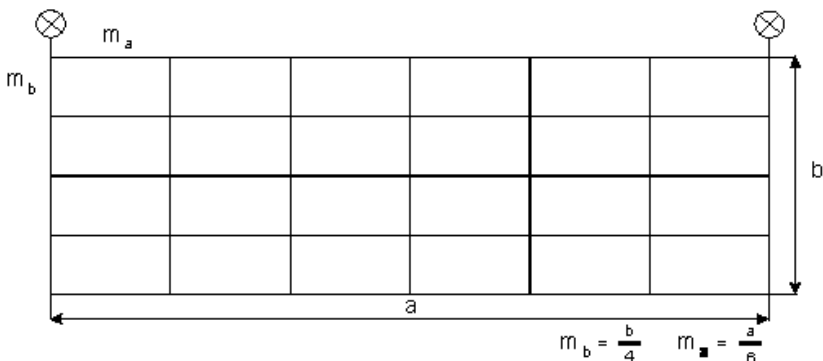


Abb. 4: Berechnungs- und Meßraster für die vertikale und halbzylindrische Beleuchtungsstärke

Linien quer zur Straße am Leuchtenstandort) zu berücksichtigen sind. Somit ergeben sich einheitlich 25 Berechnungspunkte.

Gegenüber den Laboruntersuchungen ergaben sich bei den Praxisuntersuchungen Werte, die um den Faktor 1,5 bis 2,0 höher lagen.

Der Einfluß einer sogenannten Kontrastkennziffer (E_v/E_{zh}) auf die Gesichtserkennung konnte durch die Praxisuntersuchungen nicht nachgewiesen werden, was auch im nachhinein theoretisch erklärbar ist. In Abb. 5 ist für eine typische Anlage eine Berechnung der Längswerte von E_v und E_{zh} vorgenommen worden, woraus zu ersehen ist, daß schon ab ca. 5 m eine gleichartige Tendenz beider Größen zu verzeichnen ist. Gleiches läßt sich aus den Meßdaten ablesen.

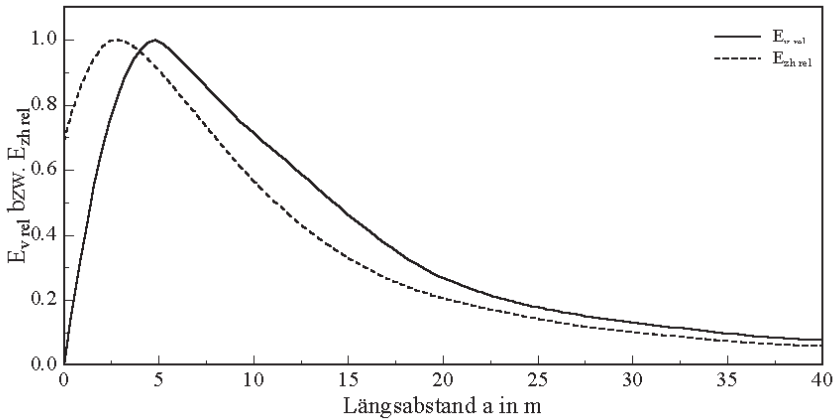


Abb. 5: Abhängigkeit der relativen vertikalen und halbzyklindrischen Beleuchtungsstärke vom Längsabstand für eine typische Beleuchtungsanlage

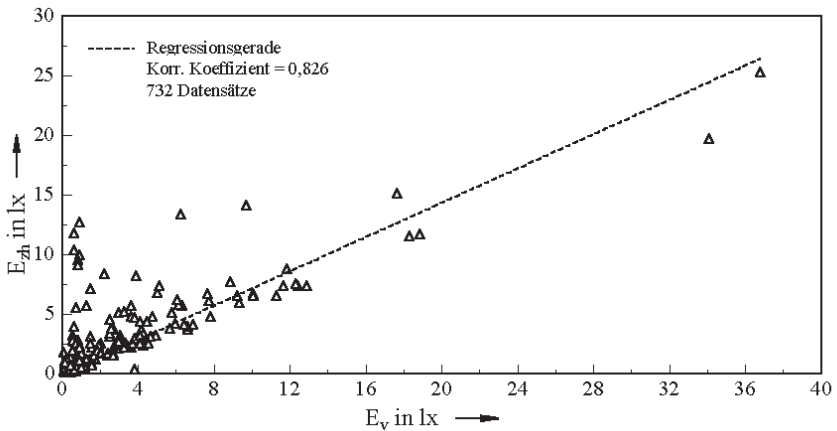


Abb. 6: Zusammenhang zwischen vertikaler und halbzyklindrischer Beleuchtungsstärke

Einen Einfluß auf die Höhe von E_v und E_{zh} hat in eng bebauten Gebieten auch die Wandreflexion der Häuser. Ein exakter quantitativer Nachweis sowie die Einbeziehung dieses Einflusses in ein Computerprogramm für eine Vorausberechnung der genannten Beleuchtungsstärken erfordert noch weitere eigenständige Untersuchungen bezüglich der Leuchtdichtekoeffizienten der in Betracht kommenden Wandmaterialien, die auch anderweitig genutzt werden könnten (z. B. bei Anstrahlungen).

Der „äußere Kontrast“ (Leuchtdichteunterschied ΔL des Gesichts zur unmittelbaren Umgebung) zeigt keinen Zusammenhang zur Erkennbarkeitsweite für Gesichter. Der äußere Kontrast ist, wie bisher bei der Begutachtung von Dunkel-

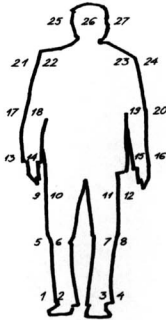


Abb. 7 a)

b)

Nr	Typ	Umschließendes Rechteck				Meßwerte in cd/m ²			
		von x	von y	bis x	bis y	Mittelwert	Minimum	Maximum	Streuung
1	Recht	367	489	375	506	0,233	0,141	0,371	0,061
2	Recht	387	488	395	505	0,081	0,064	0,095	0,006
3	Recht	403	487	411	504	0,083	0,069	0,101	0,007
4	Recht	420	487	428	504	0,325	0,212	0,397	0,035
5	Recht	366	455	374	472	0,286	0,251	0,322	0,016
6	Recht	385	454	393	471	0,076	0,065	0,089	0,006
7	Recht	405	454	413	471	0,078	0,064	0,090	0,005
8	Recht	422	454	430	471	0,288	0,261	0,328	0,017
9	Recht	367	427	375	444	0,179	0,111	0,267	0,053
10	Recht	384	427	392	444	0,081	0,073	0,097	0,007
11	Recht	406	427	414	444	0,094	0,077	0,109	0,006
12	Recht	423	426	431	443	0,235	0,195	0,259	0,014
13	Recht	346	405	354	422	0,134	0,115	0,179	0,012
14	Recht	374	398	382	415	1,189	1,004	1,374	0,072
15	Recht	428	394	436	411	1,073	0,857	1,168	0,058
16	Recht	444	397	452	414	0,133	0,106	0,173	0,021
17	Recht	342	375	350	392	0,133	0,112	0,152	0,008
18	Recht	362	373	370	390	1,046	0,429	1,371	0,271
19	Recht	427	369	435	386	1,057	0,840	1,150	0,054
20	Recht	445	368	453	385	0,124	0,104	0,150	0,013
21	Recht	348	352	356	369	0,363	0,119	1,225	0,278
22	Recht	375	346	383	363	1,174	0,747	1,284	0,091
23	Recht	423	342	431	359	0,754	0,500	1,037	0,157
24	Recht	443	341	451	358	0,418	0,218	0,898	0,195
25	Recht	370	285	378	302	0,231	0,177	0,612	0,046
26	Recht	392	284	400	301	0,512	0,311	0,763	0,082
27	Recht	419	278	427	295	0,256	0,161	0,645	0,092

Tab. 1: Meßprotokoll zu Abb. 7
(Leuchtdichtemessung mit LMK96 Fa. Techno Team, Ilmenau)

heitsunfällen üblich, zwar geeignet, um eine Person als solche wahrzunehmen, nicht jedoch, um sie identifizieren zu können. Ein Meßergebnis hierzu ist in Abb. 7 und Tabelle 1 dargestellt.

Die Umfeldleuchtdichte L_u ist erwartungsgemäß in starkem Maße von der Beobachtungsgeometrie abhängig, und zwar ist eine starke Abhängigkeit sowohl vom horizontalen als auch vom vertikalen Beobachtungswinkel zu verzeichnen. Sie weicht somit merklich von der für die Beobachtungsgeometrie aus dem Kraftfahrzeug (Leuchtdichtetechnik; $\alpha = 1^\circ$) ab. Um Vorausberechnungen der Leuchtdichte für den vorliegenden Fall vornehmen zu können, reicht somit das Instrumentarium der „klassischen“ Leuchtdichtetechnik nicht aus. Hierzu sind Tabellen für Leuchtdichtekoeffizienten von Standarddeckschichten für vertikale Beobachtungswinkel $\alpha > 1^\circ$ sowie ein spezieller Berechnungsalgorithmus erforderlich. Ein Beispiel für die Erfassung der Umfeldleuchtdichten zeigt Abb. 8 und Tabelle 2.



Abb. 8

Nr	Typ	Umschließendes Rechteck				Meßwerte in cd/m ²			
		von x	von y	bis x	bis y	Mittelwert	Minimum	Maximum	Streuung
1	Polyg	197	416	612	589	0,550	0,245	1,155	0,113
2	Polyg	441	399	583	435	0,283	0,205	0,394	0,038
3	Polyg	447	357	597	411	0,304	0,203	0,581	0,054
4	Polyg	213	336	352	400	0,264	0,214	0,478	0,032
5	Polyg	318	321	357	329	0,364	0,304	0,497	0,044
6	Polyg	441	317	509	352	0,671	0,351	1,097	0,141
7	Polyg	418	267	503	309	0,565	0,227	5,851	0,296
8	Polyg	324	267	371	313	3,465	0,186	119,665	11,027
9	Polyg	409	240	477	264	0,518	0,319	0,792	0,105
10	Polyg	351	235	407	262	0,352	0,218	0,659	0,064

Tabelle 2: Meßprotokoll zu Abb. 8
(Leuchtdichtemessung mit LMK96 Fa. TechnoTeam, Ilmenau)

Die während der vorliegenden F/E-Arbeit angewendete bildauflösende Leuchtdichtemeßtechnik ist für diesen Anwendungsfall neu. Sie läßt sich künftig auch für andere Anwendungsfälle in der Außenbeleuchtung zweckmäßig nutzen, wofür hier praxisreife Erfahrungen vorliegen.

Für die Realisierung der festgelegten Niveauekennziffern (E_v und E_{zh}) sind zweckmäßigerweise Optimierungen der Lichtstärkeverteilungskurven der Leuchten vorzunehmen. Die bisherigen Untersuchungen in der Praxis erwiesen sich hierfür als alleinig noch nicht ausreichend. Einerseits lagen die Lichtstärkeverteilungskurven der in die Untersuchungen einbezogenen Leuchten nicht in jedem Fall exakt vor und andererseits reicht die Anzahl und die vorhandene Variation der Leuchten bei so aufwendigen praktischen Untersuchungen dafür nicht aus. Es konnte zwar mit den genannten Einschränkungen die zweckmäßigste der untersuchten Leuchten ermittelt werden, die aber kein Optimum darstellen muß.

Aufgrund der in den Praxisuntersuchungen ermittelten beleuchtungstechnischen Kennziffern sollte eine rechnerische Optimierung der Lichtstärkeverteilung der betreffenden Straßenleuchten vorgenommen werden. Dafür kommt sicher nur eine iterative Lösung in Betracht, bei der systematisch die Einflußfaktoren gezielt zu variieren sind. Neben den Optimalitätskriterien (E_v ; E_{zh}) ist hierbei der Faktor „Blendungsbegrenzung“ einzubeziehen, wofür jedoch noch eine spezielle Voruntersuchung über die geeignetste Blendungskennziffer unter Einbeziehung der Euro-Norm „Straßenbeleuchtung“ vorangestellt werden muß.

4. Folgerungen für die Praxis

Die Einführung neuer Gütekriterien in die Beleuchtungspraxis der hier betrachteten Straßenkategorien bedeutet einen erheblichen Umbruch der Planungsarbeit für die Beleuchtung in diesen Straßenarten. Ohne auf den jetzt für diese Fälle häufig dominierenden Gesichtspunkt des guten Designs der Leuchten zu verzichten, kommt es künftig darauf an, die lichttechnische Qualität in der hier aufgezeigten Richtung stärker zu berücksichtigen. Das bezieht sich vor allem auf die optimale Realisierung der geforderten vertikalen bzw. halbzyklindrischen Beleuchtungsstärken unter Beachtung von Blendungsbegrenzungskriterien.

Hierzu sollten umgehend folgende ergänzende Materialien in Form von Hinweisen oder Richtlinien erarbeitet und in den zuständigen Fachgremien erörtert werden:

- Ergänzung und Detaillierung der im Entwurf der Euro-Norm EN DIN 13201 enthaltenen Kennziffern und praxisgerechte Anwendungsorientierung aus nationaler Sicht.
- Weiterführung der Untersuchungen mit dem Ziel der Optimierung der Lichtstärkeverteilungskurven für Straßenleuchten für die betrachteten Straßenkategorien.
- Messung von Leuchtdichtekoeffizienten für $\alpha > 1^\circ$ und Bereitstellung entsprechender Berechnungsunterlagen.
- Messung der Reflexion von Wänden

Literatur

- /1/ Weiterentwicklung der Leuchtdichtetechnik und des Kontrastsehens für Straßen, Wege und Plätze verschiedener Verkehrsbedingungen, TU Dresden 1996 (unveröffentlichte FE-Arbeit)
- /2/ Caminada, J. F. und van Bommel, W. J. M. – Neue Gesichtspunkte für die Beleuchtung von Wohngebieten – Internationale Lichtrundschau (1980) H. 3 S. 69–75

Leuchtdichte oder Beleuchtungsstärke?

Jörg Böger

Bei der Behandlung von depressiven Patienten mit Licht wird häufig die Beleuchtungsstärke am Auge als Meßparameter angegeben /2/. Eine Beleuchtungsstärke von ca. 2.500 lux am Auge wird als Schwellenwert angesehen, der für eine erfolgreiche Therapie unbedingt eingehalten werden sollte. In vielen medizinischen Studien werden höhere Beleuchtungsstärken von bis zu 10.000 lux erwähnt /5, 6, 7, 8/. Die Zeitdauer der Lichttherapiebehandlung mit höheren Beleuchtungsstärken nimmt dann erheblich ab. Medizinische Studien, die mit Beleuchtungsstärken oberhalb von 10.000 lux am Auge gearbeitet haben, sind nicht bekannt.

Ausgehend vom adaptationsbestimmenden Feld auf der Netzhaut soll herausgefunden werden, unter welchen Bedingungen die Beleuchtungsstärke am Auge aussagekräftig ist. Vorausgesetzt wird hierbei, daß die Lichttherapie über die Photorezeptoren der Netzhaut wirkt, die auch das Licht im Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm in Bilder umwandelt. Trifft diese Annahme zu, so muß man für die weitere Betrachtungsweise zwei Fälle unterscheiden:

1. Fall: die Empfängerfläche ist voll ausgeleuchtet
2. Fall: die Empfängerfläche ist nur zum Teil ausgeleuchtet.

Die Photorezeptoren sind auf der Netzhaut ungleichmäßig verteilt. Eine für das adaptationsbestimmende Feld voll ausgeleuchtete Empfängerfläche kann man bei einem Sehwinkel von 10° bis 20° annehmen. Darüber hinaus sind kaum noch Empfänger vorhanden, die zur Adaptation beitragen.

Die eigentliche physikalische Größe, die eine Hellempfindung hervorruft oder auch den Hormonhaushalt bei der Lichttherapie beeinflusst, ist die absorbierte Strahlungsleistung auf der Netzhautoberfläche. Diese Strahlungsleistung entspricht der lichttechnischen Größe, dem Lichtstrom. Der Lichtstrom im Auge errechnet sich nach /1/:

$$\Phi_A = \frac{\tau \cdot L \cdot A_p \cdot A_E}{a^2} \quad (1)$$

- mit
- Φ_A = Lichtstrom im Auge
 - τ = Transmissionsgrad des Auges
 - A_p = projizierte Fläche der Pupille
 - A_E = Empfängerfläche
 - L = mittlere Leuchtdichte des Lichttherapiegerätes
 - a = Abstand der Pupille von der Netzhaut

Dipl.-Ing. Jörg Böger
Reiher GmbH
Saarbrückener Straße 254
D-38116 Braunschweig

Bei konstanter Empfängerfläche A_E , also voll ausgeleuchtetem adaptivem Netzhautfeld, ist die absorbierte Strahlungsleistung oder der absorbierte Lichtstrom auf der Netzhaut nur abhängig von der Leuchtdichte des Lichttherapiegerätes. Die Größen a und τ sind konstante Größen. Für den Pupillendurchmesser kennt man eine Abhängigkeit von der gesehenen Leuchtdichte L /1/:

$$d = 5 - 3 \tanh(0,4 \log L) \quad (2)$$

Die numerischen Werte für Leuchtdichten von 1 cd/m^2 bis 100000 cd/m^2 sind in der Tabelle 1 dargestellt. Der Einfluß des Pupillendurchmessers von der Leuchtdichte ist für unsere Betrachtung zunächst vernachlässigbar.

Für das Produkt aus Leuchtdichte und Pupillenfläche setzt man häufig die Pupillenlichtstärke /1, 3/:

$$I_P = L \cdot A_P \quad (3)$$

Für genauere Berechnungen der Pupillenlichtstärke muß der Stiles-Crawford-Effekt berücksichtigt werden. Der Stiles-Crawford-Effekt berücksichtigt die Tatsache, daß die Empfänger auf der Netzhaut nicht gleichmäßig verteilt sind (Tabelle 1). Die Helligkeitsempfindung der Lichtstärke ist abhängig vom Lichtdurchtrittspunkt auf der Pupille. Davon ausgehend kann man eine reduzierte Pupillenlichtstärke /3/ wie folgt ansetzen:

$$I_{P'} = s \cdot I_P \quad (4)$$

mit $s = 1,0136 (1 - 0,0106 d^2 + 0,0000417d^4)$
 $d =$ Pupillendurchmesser.

Im zweiten zu betrachtenden Fall ist die Empfängerfläche auf der Netzhaut nicht voll ausgeleuchtet, d. h. daß die ausgeleuchtete Fläche sich mit dem Abstand des Lichttherapiegerätes vom Auge ändert (Bild 1). Die Empfängerfläche errechnet sich wie folgt:

$$A_E = \beta^2 \cdot A_1 \quad (5)$$

mit $A_E =$ variable Empfängerfläche
 $A_1 =$ Fläche der Lichtquelle

Nach Bild 1 und dem ersten Strahlensatz verhalten sich die Flächen A_E und A_1 wie folgt zueinander:

$$\frac{A_E}{A_1} = \frac{a}{a'} \quad (5)$$

Der Lichtstrom im Auge errechnet sich nun

$$\Phi = \frac{\tau \cdot I \cdot A_P \cdot \beta^2 \cdot A_1}{a^2} \quad (6)$$

mit $\beta^2 = \frac{a^2}{r^2} \quad (7)$

$a =$ Brennweite im Auge (konstant = 17 mm)

$r =$ Abstand der Lichtquelle vom Auge.

Bei diesen Annahmen befindet man sich außerhalb der photometrischen Grenz-entfernung und kann die Lichtquelle als Punktlichtquelle betrachten:

$$I = L \cdot A_1 \quad (8)$$

$$\text{und } E_A = \frac{I}{r^2} \cdot \rho_0 = \frac{L \cdot A_1}{r^2} \cdot \rho_0 \quad (9)$$

mit E_A = Beleuchtungsstärke am Auge

Dies eingesetzt in Gleichung (6) ergibt:

$$\phi_A = \tau \cdot E_A \cdot A_p \quad (10)$$

Es wird vorausgesetzt, daß der Transmissionsgrad τ und die Pupillenfläche A_p konstant sind, so daß in diesem Fall der absorbierte Lichtstrom auf der Netzhaut direkt abhängig ist von der Beleuchtungsstärke am Auge.

Als Ergebnis der hergeleiteten Beziehungen bleibt folgendes festzuhalten.

1. In einem definierten Entfernungsbereich, der abhängig von der Größe der leuchtenden Fläche ist, ist die Bestrahlungsstärke auf der Netzhaut nur abhängig von der Leuchtdichte der leuchtenden Fläche. Der Einfluß der Pupillenveränderung kann bei dieser Betrachtungsweise vernachlässigt werden.
2. Für größere Entfernungen als die unter Punkt 1 betrachteten Entfernungen ist die Bestrahlungsstärke auf der Netzhaut direkt abhängig von der Bestrahlungsstärke am Auge. Dieser Zusammenhang gilt nur, wenn die Netzhautempfängerfläche nicht voll ausgeleuchtet ist. Die oben gemachte Annahme unter Punkt 2 ist theoretischer Art, da solche Entfernungen in einem Therapiefall nicht vorkommen. Um die theoretischen Überlegungen zu unterstützen, wurde folgender Versuch an Probanden durchgeführt.

Das Rhodopsin (Sehpurpur) ist ein Protein in den Fotorezeptoren der Netzhaut, was sich bei Lichteinwirkung aufhellt (Farbstoff wird gelb) und regeneriert sich im Dunkeln. Eine Änderung im Farbstoffanteil trägt zur Umwandlung der Lichtimpulse in elektrische Impulse, die zum Gehirn weitergeleitet werden, bei /9/. Den Probanden, die auf diese selbstleuchtende rote bzw. blaue Fläche sahen, erschien diese nach einer längeren Zeit als hell weiß leuchtende Fläche. Die hier auftretende Erscheinung kann zur Zeit nicht genauer erklärt werden. Es liegt die Vermutung nahe, daß die Regenerierung des Farbstoffes in den entsprechenden Fotorezeptoren behindert wird und deswegen die Farbempfindung verschwindet. Im weiteren wird diese Erscheinung als „Retinale Sättigung“ bezeichnet.

Ein Lichttherapiegerät wurde mit Lampen des Typs LT 18 W/015 red 1 (Bild 2) /4/ bzw. mit Lampen des Typs LT 18W/018 blue 1 (Bild 3) /4/ bestückt.

Die Probanden betrachteten die leuchtende Fläche aus verschiedenen Entfernungen. Diese wurde im Bereich von 80 cm bis 450 cm variiert. Die Probanden maßen dabei selbst die Zeit bis zur Sättigung der Photorezeptoren bzw. die Zeit, bis ihnen die leuchtende Fläche als hell weiß erschien. Ein Vortraining der Probanden fand nicht statt. Die Pausen zwischen den einzelnen Messungen waren so groß, daß sich die Netzhaut erholen konnte und ein einwandfreies Sehen wieder möglich war. Der Zeitabstand zwischen zwei Messungen betrug ca. 10 min.

Als weiterer lichttechnischer Parameter wurde die Leuchtdichte der jeweiligen Farbe dem Betrachter in zwei Stufen angeboten:

Rot: 4790 cd/m² und 2495 cd/m² und

Blau: 2150 cd/m² und 1135 cd/m².

Die Umfeldleuchtdichte mit ca. 40 cd/m² wurde bewußt sehr gering gehalten, um Nebeneffekte der Allgemeinbeleuchtung nahezu auszuschließen.

Die Meßwerte sind in den Bildern 4 und 5 für die Lampen des Typs LT 18W/015 red 1 und in den Bildern 6 und 7 für die Lampen des Typs LT 18W/018 blue 1 dargestellt.

Den Meßergebnissen kann eindeutig entnommen werden, daß kein Zusammenhang zwischen der Entfernung, das heißt der Beleuchtungsstärke am Auge und der verstrichenen Zeit bis zur „Retinalen Sättigung“ besteht. Die Beleuchtungsstärke am Auge ist den Tabellen 2 bis 5 zu entnehmen.

Die Höhe der Absolutwerte und die jeweiligen Streuungen sind stark vom Betrachter abhängig (Bilder 8, 9).

Auffällig ist jedoch, daß die Leuchtdichte einen erheblichen Einfluß auf die gemessenen Zeiten hat. Mit größerer Leuchtdichte werden die gemessenen Zeiten bei allen Probanden kleiner.

Dieses Ergebnis stützt die theoretische Überlegung, daß die Beleuchtungsstärke auf der Netzhaut nur von der Leuchtdichte und nicht von der Beleuchtungsstärke am Auge abhängig ist. Eine voll ausgeleuchtete Empfängerfläche wurde immer gewährleistet.

Dem Ergebnis ist jedoch kritisch anzumerken, daß bei den Versuchen nur vier Probanden im Alter von 28 bis 37 Jahren zur Verfügung standen. Es waren zwei männliche und zwei weibliche Probanden. Für ein gesichertes Ergebnis sind jedoch weit mehr Messungen notwendig, deren Aufwand jedoch den Rahmen dieser Arbeit bei weitem übersteigt.

Für eine statistische Sicherheit der Meßwerte sind auch wesentlich mehr Versuche und Versuchswiederholungen notwendig. Weitere Messungen mit verändertem Adaptationsniveau durch Veränderung der Umfeldleuchtdichte sind empfehlenswert.

Hinweis: Bilder und Tabellen werden am Poster präsentiert und können beim Verfasser angefordert werden.

Literatur

/1/ R. Baer, M. Eckart, D. Gall, R. Schnor: Beleuchtungstechnik – Grundlagen, Verlag Technik Berlin, Zweite Auflage 1996, ISBN 3-341-01115-3

/2/ J. Zulle, A. Wirz-Justice: Lichttherapie. Roderer Regensburg, 3. Auflage, 1999, ISBN 3-89783-020-5

- /3/ N. N.: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik, Pupillen-Lichtstärke als Maß für die Netzhautbeleuchtung, DIN 5031 Teil 6, Beuth Verlag Berlin, 1982
- /4/ N. N.: Produktinformation, Fa. Narva, Brand-Erbisdorf, 02/99
- /5/ C. Thompson, T. Silverstone: Seasonal Affective Disorder, CNS Publishers, London, 1989
- /6/ N. E. Rosenthal Phototherapy: The NIMH Experience in /5/
- /7/ D.G.M. Murphy: Seasonal Affective Disorder: A, Neurophysiological Approach in /5/
- /8/ M. Terman et al.: Dosing Dimensions of Light Therapy: Duration and Time of Day in /5/
- /9/ N. N.: Klinisches Wörterbuch, 258. Auflage, de Gruyter, 1998

Erkennung bzw. Wiedererkennung von flüchtig bekannten stilisierten Gesichtern

Martin Eckert, Shiwka Jordanowa

1. Aufgabenstellung

Im Rahmen eines Kooperationsforschungsprojektes zwischen TU Dresden und TU Ilmenau sind eine Reihe systematischer Untersuchungen zum Thema Gesichtserkennung auf Straßen mit dominierendem Fußgängerverkehr entstanden. Die konkreten Aufgaben und Ziele des Gesamtprojektes sind ausführlich im Beitrag „Erkennbarkeitsweiten von bekannten Personen bei verschiedenen Straßenbeleuchtungen“ dargestellt.

Das Hauptanliegen der Untersuchungen in Ilmenau war, durch Messung, Bewertung und Personenbefragung die Praxisrelevanz der Laboruntersuchungen zu diesem Thema an der TU Dresden /1/ unter realen Straßenbedingungen zu evaluieren. Gleichzeitig sollten die Anforderungen an die lichttechnischen Kennziffern bezüglich einer guten Gesichtserkennung in Verkehrszonen mit dominierendem Fußgängerverkehr im Entwurf der Europäischen Norm „Straßenbeleuchtung“ (DIN EN 13201) überprüft werden.

2. Untersuchungsmethode

Die Untersuchungen erfolgten in zwei Teilschritten. Im ersten Teil wurden die lichttechnischen Parameter (Tab. 1 – Tab. 3) und die Geometrie der ausgesuchten Beleuchtungsanlagen gemessen. Im zweiten Teil wurden Versuche zur Erkennung von stilisierten Gesichtern (Abb.1) durch Befragung von mehreren Probanden vor Ort durchgeführt.

Die meßtechnische Untersuchung umfaßte folgende Parameter:

- horizontale Beleuchtungsstärke auf der Straße – E_h in lx
- halbzylindrische Beleuchtungsstärke in Höhe von 1,7 m – E_{zh} in lx
- vertikale Beleuchtungsstärke in Höhe von 1,7 m – E_v in lx
- Leuchtdichte auf ein Sehobjekt mit vordefiniertem Reflexionsgrad – L in cd/m^2

Für alle Messungen wurde ein einheitliches Meßraster und die Richtungsorientierung festgelegt. Zusätzlich wurden die Reflexionseigenschaften und die Geometrie der Anlagen vermessen. Die Anlagen wurden zur Dokumentation videotecnisch aufgenommen.

Mit Hilfe des Leuchtdichteanalysators /6/ wurde in jedem Meßpunkt orts aufgelöst die Leuchtdichteverteilung auf dem zu erkennenden Gesicht, sowie auf einer Tafel mit bekanntem Reflexionsgrad in 1,7 m Höhe gemessen (Abb.2).

Dr.-Ing. habil. M. Eckert
TU Dresden, D-01062 Dresden
Dipl.-Ing. S. Jordanowa
TU Ilmenau, FG Lichttechnik
D-98684 Ilmenau



Abb. 1: Musterbeispiele der stilisierten Gesichter

Abb. 2: Meßaufbau zur Messung mit dem Leuchtdichteanalysator

Abstand von der Leuchte quer der Straße in m	Beleuchtungsstärke	Abstand von der Leuchte längs der Straße in m							
		0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
1,9	E_h	4,2	4	5,2	5,4	4	3,5	3,5	
	E_v	1,5	7,7	10,3	9,5	5,2	4,3	2,5	
	E_{zh}	4,3	7,4	8,8	7,1	3,5	3,5	2,4	
2,4	E_h	5	4,8	5,6	5,5	5	3,3	3	
	E_v	0,7	7	9	8,2	6,4	4,7	1,1	
	E_{zh}	5,5	7	7,7	6,1	4,4	3,3	1,9	
2,9	E_h	5,2	5,4	6	5,7	4,2	2,2	2,8	
	E_v	1,2	4,5	7,5	7	5,3	4,3	0,5	
	E_{zh}	5,2	6	6,5	5,4	4	3,1	2,4	

Tab. 1: Meßwerte der horizontalen – E_h , vertikalen – E_v und halbzyllindrischen Beleuchtungsstärke – E_{zh} in lx für Anlage 1

Abstand von der Leuchte quer der Straße in m	Beleuchtungsstärke	Abstand von der Leuchte längs der Straße in m							
		0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
1,7	E_h	2,5	4,5	7,8	7,1	7,5	6,4	4,9	
	E_v	1,2	2,8	3,8	4,5	4,7	5,2	6	
	E_{zh}	2,3	2,5	4,1	5,3	5,3	5,6	4,9	
2,2	E_h	2,2	3,9	7,9	7,5	6,6	6,6	5	
	E_v	1,5	3,5	3,2	4,1	4,5	4,6	4,9	
	E_{zh}	2,5	3,1	5,2	6,1	5,8	5,3	5,1	
2,7	E_h	3	4,1	7,5	7,6	7,1	6,4	5,3	
	E_v	1	2,2	3,4	3,5	4	4,1	4	
	E_{zh}	3	4,1	5,3	5,3	5,5	5,3	4,8	

Tab. 2: Meßwerte der horizontalen – E_h , vertikalen – E_v und halbzyllindrischen Beleuchtungsstärke – E_{zh} in lx für Anlage 2

Abstand von der Leuchte quer der Straße in m	Beleuchtungsstärke	Abstand von der Leuchte längs der Straße in m						
		0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
0,5	E_h	7,8	5,9	4	2,2	1,3	–	–
	E_v	1,1	7,9	6,4	4,1	2,6	1,6	1
	E_{zh}	1,4	5,2	4,8	3,9	3	2,1	1,2
1,5	E_h	6,1	5,8	3,9	2,1	1,2	1,1	–
	E_v	1,5	5,3	5	3,5	2,3	1,5	0,8
	E_{zh}	3,5	5,4	4,4	3	3,5	1,1	1

Tab. 3: Meßwerte der horizontalen – E_h , vertikalen – E_v und halbzyklindrischen Beleuchtungsstärke – E_{zh} in lx für Anlage 3

Aus den Meßwerten ergaben sich folgende mittlere Beleuchtungsstärken:

$$E_{vm} = 3,7 \text{ lx} - 6,0 \text{ lx}$$

$$E_{zhm} = 3,6 \text{ lx} - 5,9 \text{ lx}$$

Diese Werte liegen ca. zweimal höher als die Laborwerte. Die ermittelten Werte gelten für die konkreten Meßraster.

3. Versuchsaufbau

Beim Festlegen der Versuchsmethodik sollten eine Reihe von Parametern berücksichtigt werden. Die Testgesichter, die Beobachtungsgeometrie und die lichttechnischen Parameter sollten variiert werden.

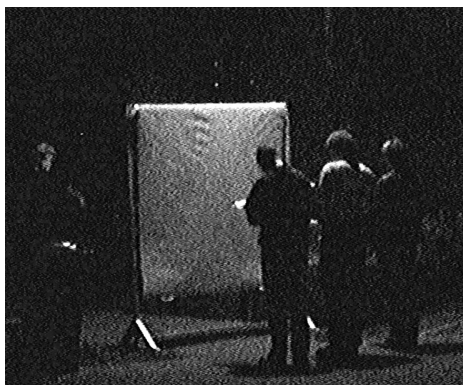
Aus Sicherheitsgründen soll nach /2/ das Erkennen von Personen aus einem Abstand von 4 m immer möglich sein. Aus dieser Entfernung kann eine wachsame Person, wie in /4/ beschrieben, noch ausweichen, oder, wenn sie bedroht wird, sich auf eine Verteidigung vorbereiten. Das Sicherheitsgefühl wird wesentlich erhöht, wenn Personen auf der Straße in einer größeren Entfernung erkannt werden können. In der vorliegenden Arbeit wurden drei Beobachtungsentfernungen – 4 m, 10 m und 15 m untersucht. Die Probanden hatten die Möglichkeit, das jeweils dargebotene Gesicht „richtig“ zu erkennen und ihre Ergebnisse in einen Fragebogen einzutragen. Bei einer falschen oder fehlenden Aussage wurde das Ergebnis als „falsch erkannt“ bzw. „nicht erkannt“ gewertet. In einem Versuchsdurchlauf wurden 27 Gesichter dargeboten. Das Testobjekt und der Beobachter befanden sich auf einer Linie längs des Gehweges. Alle Versuche erfolgten in Längsrichtung, da nur Anlagen mit einseitiger Leuchtenanordnung vorlagen und die Bedingungen für eine Gesichtserkennung quer zur Straße ungünstig waren. Bei der Blickrichtung des Beobachters von der unbeleuchteten zur beleuchteten Seite wird das zu erkennende Gesicht schräg von hinten beleuchtet, was zu Schatten auf dem Gesicht führt. Die Beobachtungszeit wurde auf 1 s (entspricht einem kurzen Blickkontakt) festgelegt. Vor Ort wurde sie mit Hilfe eines Rollos (s. Abb. 3) realisiert, das sich zwischen Beobachter und Objekt befand und rauf und runterbewegt werden konnte.

Das Variieren der Testgesichter wurde wie folgt realisiert: als stilisierte Gesichter dienten 5 Torsos – 2 männliche und 3 weibliche, jeweils mit unterschiedlichen Kopfformen und Gesichtszügen. Auf einer drehbaren Platte wurden jeweils 4

Torsos befestigt. Beim Beobachten wurde jeweils ein Gesicht dargeboten, wobei die anderen mit schwarzem Stoff verdeckt waren (Abb. 3a). Die Probanden hatten ständig die Fotos der Modelle zur Verfügung. Da es bei den Untersuchungen vor allem um das Erkennen innerer Strukturen des Gesichtes ging, hat man versucht, die leicht erkennbare Form des Kopfes bzw. der Haare auszuschließen, indem man die Gesichter durch zusätzliche Merkmale oder Bekleidungsstücke bei jedem Versuch nach Zufallsprinzip veränderte. In einer weiteren Studie /5/ wurde auch bestätigt, daß der Kopfumriß und die Haare ganz vorn in der Prioritätenliste der Erkennungsmerkmale im Gesicht stehen.



a) hochgezogenem Rollo



b) runtergezogenem Rollo

Abb. 3: Versuchsaufbau – Blick zu den stilisierten Gesichtern bei:

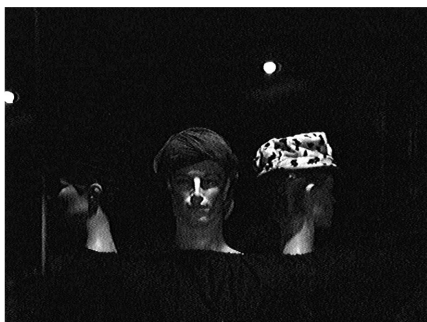


Abb. 4 Variieren der Gesichter

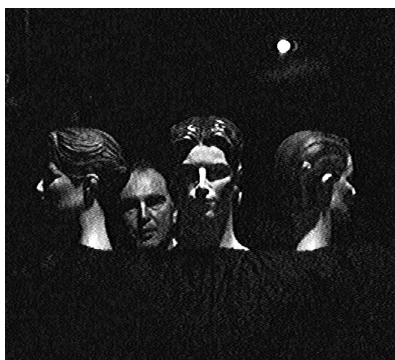


Abb. 5: Vergleich zwischen künstlichen Gesichtern und natürlichen Personen bei gleichen Beleuchtungsbedingungen

Im Gegensatz zu den Laboruntersuchungen, wo man die Beleuchtungsparameter beliebig variieren kann, war dies bei realen Anlagen nicht möglich. Man hat sich auf Auswahl von Meßrasterpositionen, bei denen die geforderten Gütekennziffern erfüllt waren, eingeschränkt. Es wurden für jede Anlage drei solcher Rasterpunkte ausgewählt, wo der Quotient E_v/E_{zh} im Bereich 0,4 ... 1,3 lag. Auf diese Weise wurden die Positionen für die Gesichter festgelegt.

Im Laufe der Untersuchungen wurden einige Fehlerquellen festgestellt, wie z. B.:

- Anwendung von stilisierten Gesichtern, die zum Teil sehr ähnlich aussehen
- störende Reflexionen auf den künstlichen Gesichter (Abb. 5)
- Wettereinflüsse (Kälte, Wind)
- keine konstante Umfeldhelligkeit
- Störung durch vorbeilaufende Personen oder Autos, die die Probanden ablenken oder kurzzeitig blenden

4. Auswertung der Ergebnisse

Es wurden 29 Versuche mit je 27 Testgesichtern durchgeführt. Insgesamt wurden 17 Probanden im Alter von 25 bis 38 Jahre befragt. 5 Probanden hatten Sehhilfen. In der Auswertung wurden die Ergebnisse von 14 Probanden erfaßt. Eine Versuchsreihe dauerte ca. 30 Minuten.

Die mittleren Anteile erkannter Gesichter bei den einzelnen Anlagen liegen nicht weit auseinander (Abb. 6). Die Werte unterscheiden sich lediglich in deren Ver-

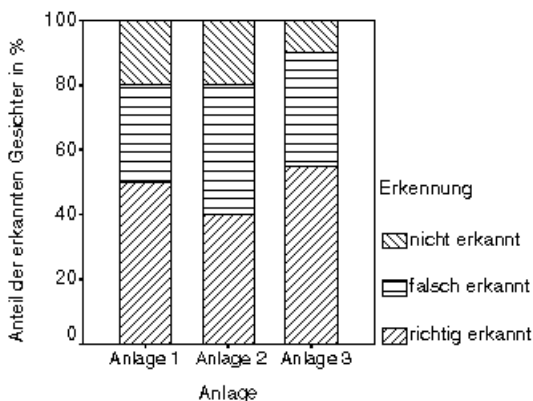


Abb. 6: Vergleich der Anteile der erkannten Gesichter für alle Anlagen

teilung, abhängig von der Beobachtungsentfernung und vom Quotienten E_v/E_{zh} (Abb. 7–9). Es zeigt sich eine allgemeine Tendenz in der Abhängigkeit der Erkennung von der Beobachtungsentfernung – mit Erhöhung des Abstandes sinkt die Erkennungsrate. Diese Tendenz zeigt sich deutlicher zwischen 4 m und den anderen Entfernungen. Zwischen 10 m und 15 m sind kleinere oder kaum Unterschiede zu sehen. Ausnahmen sind bei Anlage 3, Position 3 ($E_v/E_{zh} = 1,34$) zu beobachten. Eine mögliche Ursache dafür ist die Lichtstärkeverteilung der

Leuchte. In Abb. 7–9 ist die Abhängigkeit der Erkennung von der Beobachtungsentfernung für drei Positionen und die einzelnen Anlagen dargestellt. Eine Abhängigkeit des Anteils der erkannten Gesichter von der Kontrastkennziffer E_v/E_{zh} , wie bei den Laboruntersuchungen vermutet, konnte nicht nachgewiesen werden.

Abb. 7 zeigt fast gleiche Ergebnisse für alle 3 Entfernungen bei Position 2, was vermutlich auf die hohe Umfeldhelligkeit zurückzuführen ist. In Abb. 8 ist wegen

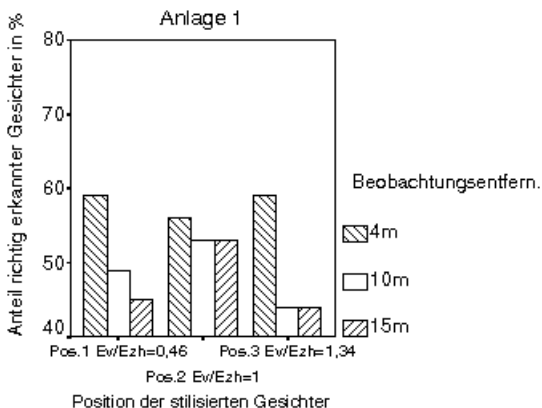


Abb. 7: Befragungsergebnisse Anlage 1

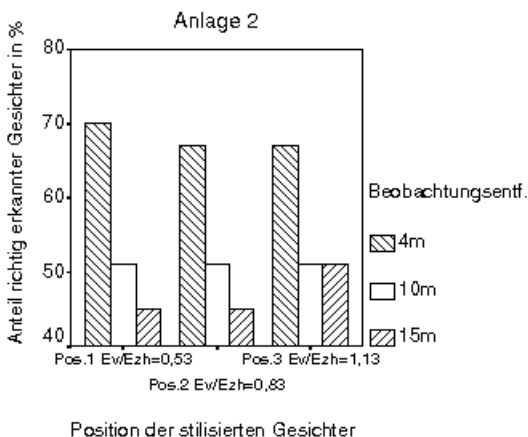


Abb. 8: Befragungsergebnisse Anlage 2

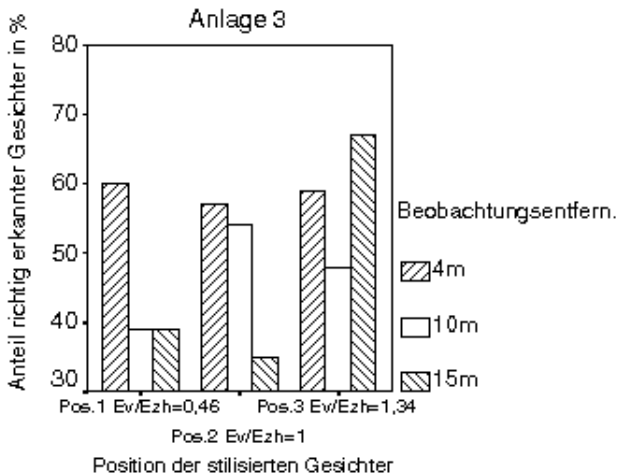


Abb. 9: Befragungsergebnisse Anlage 3

der hohen Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke kein großer Unterschied zwischen den Ergebnissen der Positionen 1–3 für die einzelnen Beobachtungsentfernungen zu beobachten.

5. Schlußfolgerungen

Die Beleuchtung von Straßen mit dominierendem Fußgängerverkehr soll bereits ab einer Entfernung von 4 m das Erkennen von Personen ermöglichen und genügend visuelle Informationen über die sich auf der Straße befindlichen Personen liefern. Sie soll den Passanten ein Sicherheitsgefühl geben, sich ohne Angst zu bewegen. Entgegenkommende Passanten und deren Verhalten (eventuell kriminelle Absichten) müssen rechtzeitig erkannt werden.

Einen entscheidenden Einfluß auf die Erkennung von Gesichtern hat die Lichtstärkeverteilung der Leuchten. In der Praxis steht bei Straßen mit Fußgängerverkehr überwiegend die gestalterische Funktion der Beleuchtungsanlagen im Vordergrund. In Zukunft sollen bei der Entwicklung neuer Leuchtensysteme für Fußgängeranlagen neben der gestalterischen Komponente auch die lichttechnische Parameter bez. der guten Gesichtserkennung mit berücksichtigt werden. Die Lichtstärkeverteilung der Leuchten ist nach der geforderten vertikalen und halbzyklischen Beleuchtungsstärke zu optimieren. In dieser Hinsicht sind noch weitere Untersuchungen notwendig.

Die im Entwurf der Europäischen Norm „Straßenbeleuchtung“ (DIN EN 13201) angegebenen Kennziffern E_v und E_{zh} müssen weiter präzisiert und aus nationaler Sicht ergänzt werden.

Literatur

- /1/ Weiterentwicklung der Leuchtdichtetechnik und des Kontrastsehens für Straßen, Wege und Plätze verschiedener Verkehrsbedingungen, TU Dresden 1996 (unveröffentlichte FE-Arbeit)
- /2/ Euro-Norm-Entwurf für Straßenbeleuchtung DIN EN 13201
- /3/ Richtlinien für die Beleuchtung in Anlagen mit Fußgängerverkehr
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 1984; 50679 Köln
- /4/ Caminada, J.F. und van Bommel, W.J.M.
Neue Gesichtspunkte für die Beleuchtung von Wohngebieten. Internationale Lichtrundschau 3/1980, S.69–75
- /5/ Eppler, Thomas
Bestimmung von Gesichtsmerkmalen zur automatischen Gesichtserkennung in der Zugangskontrolle, Diss. Univ. Tübingen, Shaker Verlag, Aachen 1997
- /6/ Wolf, S.; Gall, D.:
Praktische Messung von Blendungsparametern am Beispiel des UGR, 3. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuchs, Dörnfeld/Ilm 1997

Tageslicht als Grundbeleuchtung im Büro und in Betriebsstätten ... verwendbar, umweltfreundlich, bezahlbar?

Vorurteile, Erwartungen und Empfindungen der Bürobutzer

Meutzner, Jan

Einleitung

In meinem Postervortrag bei Licht 1998 in Bregenz präsentierte ich den Entwurf, die Planungsgrundlagen und die visuellen Kriterien eines kombinierten Tageslicht- und Kunstlicht Beleuchtungssystems für ein Niederländisches und Europäisches Vorbildprojekt Hoogheemraadschap in Leiden.

Vor und nach der Fertigstellung des Bürogebäudes, sowie nach dem Umzug des Personals vom alten Gebäude ins Neue, wurden mit dem Personal und Bauherrn Interviews und technische Analysen in Bezug auf Erwartungen, Erfahrungen und Empfindungen beim Arbeiten unter den neuen Bedingungen ausgeführt.

Um ein repräsentatives und realistisches Resultat zu erreichen, wurde mit dem Bauherrn vereinbart, die Analysen sicher 3 Jahre nach den Umzug fortzusetzen. In vielen Seminaren über Tageslichtnutzung wurde durch die Sprecher auf die Erhöhung der Arbeitsproduktivität, Verbesserung des Arbeitsklimas und Verbesserung der Ambiente gewiesen, aber niemand hat bis heute diesen Aussprachen einen wissenschaftlich brauchbaren Charakter liefern können.

Die Basisbeleuchtung des Gebäudes beruht auf Tageslichtnutzung mit einer daran gekoppelten tageslichtabhängig gesteuerten Sekundärkunstbeleuchtung.

Ich möchte mit diesem Vortrag die ersten Resultate diverser Untersuchungen bekannt geben.

1. Energieverbrauchsnorm in den Niederlanden

In den Niederlanden wird für Neubauprojekte eine privatrechtliche Energieverbrauchsnorm (NEN 2018) hantiert. Seit dem Jahre 1997 müssen alle Gebäudeentwürfe auf diese Norm abgestimmt werden.

In dieser Norm werden innerhalb der Gebäude alle Energieverbraucher analysiert. Die Kunstbeleuchtung und die Kunstbeleuchtungssteuerung durch Tageslicht und Anwesenheit formen unter anderem innerhalb dieser Norm wichtige Berechnungsfaktoren.

Ing. H. J. J. Meutzner
MEMA Groep
Postfach 8
NL-3440 AA Woerden

Für das Bürogebäude von Hoogheemraadschap galt als Grundlage ein Normfaktor von 1,9.

Durch Wärme- und Kälteaufschlag im Boden, Regenwasserbenutzung für Toilettenspülung, Klimafenster, Klimadecken und tageslichtabhängige Steuerung der Kunstbeleuchtung konnte der Normfaktor bis 1,3 reduziert werden.

Ein Tageslichtsteuerungssystem kennt jedoch diese Norm nicht. Durch Benutzung einer Gleichwertigkeitsberechnung aus der Norm konnte jedoch der Eintrittsbereich des Tageslichtes in der Tiefe der Räume von normal 1,5 Meter auf 6 Meter erweitert werden, so dass durch dieses Tageslichtsteuerungssystem der Normfaktor auf 0,97 herabgesetzt werden konnte.

Dies war für Gebäude in 1997 in Bezug auf den Normfaktor von 1,9 ein phänomenales Ergebnis.

2. Untersuchungen visuelle Akzeptanz

Der Auswahl dieses Tageslichtsystems gingen zwei Jahre Vorbereitungszeit voraus, wobei Grundlagenformulierung, geometrischer Entwurf der Fensterkonstruktion und Untersuchung der möglichen Akzeptanz durch die Bürobewohner die wichtigsten Themen waren.

Erst wurde in August 1997 bei TNO in Eindhoven ein Proberaum eingerichtet, worin die ersten Systeme angebracht und Lichtmessungen aufgeführt wurden. Bei diesen Messungen wurden die nachfolgenden Probleme festgestellt:

1. Aussicht Diese war problematisch, weil die angebrachten und elektrisch manuell bedienbaren 50 mm breiten Lamellen zu wenig Perforation hatten. Daneben war allein in sitzender Position eine gute visuelle Akzeptanz erreichbar.
2. Deckenspiegel Dieser Spiegel war deutlich reflektierend (Alanod Miro nr.7) und hatte eine zu geringe Perforation (16%). Man sah in diesem Spiegel alle Bewegungen im Außenbereich.
3. Kunstbeleuchtung Eine installierte Beleuchtungsstärke der Kunstbeleuchtung von durchschnittlich 350 Lux wurde als unzureichend beschrieben.

2.1 Testaufbau

Um auch in der direkten Umgebung des neuen Gebäudes einen realistischen Test ausführen zu können, wurde in Juni 1998 in Leiden ein Testraum gebaut, welcher in Geometrie, Farbgebung und Einrichtung identisch war mit der Ausführung der zukünftigen Büroräume im Neubau.

Außer den wiederum auszuführenden Messungen der Beleuchtungsstärke und sichtbaren Helligkeit wurde Van Wagenberg Associates, ein Facility Management Consultant, eingeschaltet um eine Untersuchung mit Mitarbeitern von Hoogheemraadschap auszuführen in Bezug auf mögliche Akzeptanz dieses innovativen Beleuchtungssystems für alle 320 Mitarbeiter.

Es wurden aus dem Mitarbeiterbestand 30%, das heißt 105 mögliche Testpersonen selektiert. Diese Testpersonen arbeiteten in den Hauptabteilungen WEB und WAB und wurden nach den folgenden Kriterien ausgesucht:

2.2 Mitarbeiter im Innendienst;

Minimal 24 Stunden pro Woche angestellt;

Täglich minimal 2 à 2,5 Stunden arbeiten mit einem Stand-alone PC.

Aus dieser Population wurden für die Untersuchung 30 Probanden angewiesen. Die ausgewählten Probanden mussten gleichmäßig aus allen Abteilungen selektiert sein.

2.3 Untersuchungen im Testraum

Die Probanden arbeiteten in zwei Gruppen von 14 Personen zweimal 2,5 Stunden in Paaren im Testraum. Die Gruppen wurden wenn möglich in gleichaltrige Personen, Funktionsstufung und Geschlecht eingeteilt.

Gruppe 1 wurde in der ersten Testperiode mit Lamellenbehängen in perforierter Ausführung und in der zweiten Testperiode mit Behängen ohne Perforation konfrontiert.

Gruppe 2 unterging die Tests in entgegengesetzter Reihenfolge.

Es wurden pro Tag drei Testserien mit einer Dauer von 2,5 Stunden (9.00 Uhr, 12.00 Uhr und 15.00 Uhr) ausgeführt.

Nach ausführlicher Instruktion mussten die Probanden drei Fragebogen ausfüllen. Diese Fragebogen beinhalteten die folgenden Stellungen:

1. Wie zufrieden bin ich mit meinem heutigen Arbeitsplatz im altem Gebäude? Dies in Bezug auf Einrichtung, Klima, Hygiene, Tageslicht, Kunstbeleuchtung, Aussicht, Erreichbarkeit u.s.w.
Um keinen Vergleich mit der neuen Umgebung zu haben, wurde diese Fragenliste vor dem Betreten des Testraumes durch die Probanden ausgefüllt.
2. Was ist mein erster Eindruck von der Lichtsituation (Tageslicht und später Kunstlicht) im Testraum und wie zufrieden bin ich mit dem Ausblick nach draußen?
Kann ich gut die Buchstaben und Zahlen auf den Bildschirmen sehen und den Anweisungen folgen, auch wenn, wie in dieser Situation die Bildschirme in einem Winkel von 45 Grad in Richtung des Fensters stehen?
Ist die neue Möblierung nach Wunsch und wie ist der Sitzkomfort der neuen Bürostühle?
3. Nach 2,5 Stunden arbeiten in der neuen Umgebung wurden dieselben Fragen nochmals gestellt, aber es mussten ausführlichere Antworten beschrieben werden.

Die Tests wurden in zwei einander folgenden Arbeitswochen gehalten (30.Juni bis 14.Juli 1998).

Die Zufriedenheit wurde gemessen in einer 5-Punktescala:

sehr zufrieden – zufrieden – neutral – unzufrieden – sehr unzufrieden.

Während der Testperiode war 80% von der Zeit der Himmel stark bewölkt und 20% halb bewölkt. In sehr wenigen Tagen waren einzelne sonnige Momente.

Die durchschnittliche Außenbeleuchtungsstärke war in dieser Periode 34.000 Lux, variierend zwischen 13.000 und 84.000 Lux.

Im Vergleich zu unseren Vorentwurf war die Grundlage ein Durchschnittshimmel (Krochmann) mit einer Beleuchtungsstärke von Anfang Juli von zirka 55.000 Lux.

2.4 Resultate

In Bezug auf Aussicht hatte man im Sichtbereich am liebsten keine Lamellen. Vom Standpunkt der Notwendigkeit der Lamellenbehänge für Blendschutz, Sonnenschutz und Energiebilanz des Gebäudes akzeptierte man jedoch diese geringe Sichtbeeinträchtigung.

50% der Probanden bevorzugten perforierte Lamellen gegenüber Lamellen ohne Lochung.

Um im neuen Gebäude eine akzeptable Aussicht zu haben, sollten im Sichtbereich die definitiven Lamellen wenn möglich sehr schmal und perforiert ausgeführt werden.

Die Mehrheit der Probanden urteilte deutlich positiv ihre Zufriedenheit mit der im Testraum installierten Tageslicht- und Kunstlichtsituation sowie der ausgewählten Büromöbel.

Im ersten Testaufbau waren in den Sekundärleuchten Leuchtstofflampen (16 mm Querschnitt) in Lichtfarbe 830 integriert. Diese Lichtfarbe wurde jedoch in der Kombination mit Tageslicht als unnatürlich erfahren und wurde während der Untersuchung durch Lampen in Lichtfarbe 840 ausgetauscht.

In der neuen Beleuchtungssituation konnte man gut arbeiten und man fühlte sich wohl in dieser Umgebung.

Einige Probanden (3) hatten mit den Deckenspiegeln im Fensterbereich Probleme. Während dieser Testperiode war sehr wenig direkte Sonnenstrahlung so dass dieses Problem ungenügend beurteilt werden konnte.

Die angebotene Beleuchtungsstärke von zirka 600 Lux (Kunstlicht) beziehungsweise 325 bis 2100 Lux (Tageslicht) in Abhängigkeit von der Außenbeleuchtungsstärke wurde durch die Mehrheit als sehr zufriedenstellend beschrieben.

Beim Arbeiten unter Tageslichtumständen wurde die Kunstbeleuchtung am Fenster und in der Tiefe des Raumes bei einem Tageslichtniveau von zirka 200 Lux zusätzlich eingeschaltet.

3. Neubau

In der Periode von April 1998 bis November 1999 wurde das neue Bürogebäude in Leiden errichtet.

Im Dezember 1999 zog die Belegschaft vom alten Gebäude im Zentrum von Leiden in das neue Gebäude auf das Industriegelände Sciencepark zirka 2 Kilometer außerhalb des Zentrums der Stadt um.

Nach dem Umzug und Einrichtung der Büroräume durch die Mitarbeiter von Hoogheemraadschap wurde in den Monaten Januar und Februar gespannt abgewartet, was die ersten Reaktionen waren in Bezug auf erfüllte Erwartungen und in Bezug auf Realität.

Empfindungen und Erfahrungen

Um ein Projektresultat zu analysieren, ist es wichtig, die Empfindungen und Erfahrungen aller am Bau beteiligten Parteien einzuholen und zu registrieren:

Büromitarbeiter Hoogheemraadschap Leiden

Wie schon beschrieben, wurde in der Projektvorbereitung durch eine selektive Gruppe der durchschnittlichen Belegschaft ein Akzeptanztest in einem Testraum ausgeführt. Die Resultate dieser Analyse waren die Basis für den Ausführungsentwurf dieses Projektes. 10% der Mitarbeiter wurden einbezogen, um eine Akzeptanz zu erarbeiten, worin sich praktisch 320 Kollegen spiegeln konnten.

Die regulären Analysen und Befragungen durch Büro Van Wagenberg sind im August dieses Jahres geplant. Die hieraus entstandenen Resultate berichten wir in Licht 2002 in den Niederlanden.

Vorläufig kann in dieser Hinsicht berichtet werden, dass bis zum Schreiben dieses Seminartextes nur 17 Klagen gemeldet wurden.

Diese Klagen richten sich auf die folgenden Probleme:

- An den Ost/Süd/Westfassaden ist bei direkter Sonnenstrahlung im Frühjahr durch eine Maßdifferenz in der Höhe der Fenster ein zirka 1.5 mm breiter Spalt zwischen Unterseite einzelner Behänge und der Fensterbank, wodurch eine große Blendung auftritt.
- Einzelne Behänge vertonen nebeneinander verschiedene kleinere Unterschiede in Lamellenstandswinkeln und müssen durch den Lieferanten nochmals eingestellt werden.
- Bedienung von diversen Szenen (BAP, Kunstlicht regeln etc.) noch nicht für die Mitarbeiter deutlich.

4. Investor

Der Investor ist in diesem Fall zugleich Bauherr, Eigentümer und Benutzer. Die Zielstellung war ein Gebäude zu erschaffen, worin alle Grundlagen der heutigen Zeit ans Wort kommen und welches ein Beispiel formt für Energiebewusstsein, Umwelt, Natürliche Baustoffe, Regenwasserbenutzung für Spülung der Toiletten und wo sich das Personal am Arbeitsplatz zufrieden fühlt.

Die Wahl fiel unter anderem auf Benutzung eines Tageslichtsystems, wodurch das ganze Jahr auf den Arbeitsplätzen unter ergonomisch günstigen Tageslichtumständen gearbeitet werden kann.

Durch die verschiedenen Subventionen wurde der Baupreis günstig beeinflusst. Nach vier Monaten Benutzung ist man mit dem Ambiente zufrieden. Durch Van Wagenberg Consult werden beim Personal in den nächsten Jahren Befragungen und Messungen ausgeführt, um auch sicher zu sein, daß diese Investition die richtige Wahl war. Auch hofft man, daß die Krankheitsrate des Personals durch unter anderem den Einfluss des Tageslichtsystems im positiven Sinn von heute 7 % einige Prozente niedriger ausfällt.

5. Subventionsgeber

Die Investition der gesamten Baukosten umfassten einen Betrag von zirka 45 Millionen Gulden.

Durch Thermie (EWG), NOVEM (Niederländisches Institut für Energieeinsparung und Umweltschutz), Senter (Organ des niederländischen Finanzministeriums) und ENECO (Energie unternehmen) wurde dieses Projekt mit einer Totalsumme von zirka 3,6 Millionen Gulden (8 % der Baukosten) subventioniert. Daneben wurde durch die ABN AMRO Bank für zirka 25 % der Baukosten eine sogenannte „grüne Finanzierung“ gewährt, wobei der Zinssatz 1,5 % niedriger lag als der aktuelle Zinssatz.

6. Architekt

Architekt ir.Joost Heuvelink vom Architektenbüro Jan Brouwer Associates in Den Haag war schon in der Entwurphase des Bürogebäudes mit Lösungen beschäftigt, um ein gesundes Tageslichtklima zu inszenieren. Von TIM (Translucent Insulation Material) streifen im Oberlichtbereich bis zu diversen Fensterentwürfen wurden diverse Möglichkeiten untersucht. Nach Besuchen bei einigen Referenzprojekten und im Lichtlabor in Innsbruck mit der Geschäftsführung, des Betriebsrates und des Technischen Dienstes von Hoogheemraadschap entstand die Geometrie des definitiven Klimafensters in der Fassade.

Nach der Fertigstellung des Gebäudes bestätigte der Architekt seine Hoffnung in der geschaffenen Realität mit den Worten, ... dies war mein Ziel eine freundliche Atmosphäre in die Büroräume hinein zu bringen, das Ergebnis ist besser als erwartet ... Ende Zitat.

7. Energiebilanz

Nach Fertigstellung der Ausführungsplanung haben wir berechnet, dass durch die ausgewählte Geometrie der Fenster in Kombination mit dem Tageslichtsteuerungssystem die Kunstbeleuchtung zirka 22% der jährlichen Arbeitszeit eingeschaltet und zirka 78% ausgeschaltet ist.

Durch die geringen Betriebsstunden der Kunstbeleuchtung pro Nutzungsjahr (zirka 550 Stunden Brandzeit pro Jahr) werden große Einsparungen erzielt in den Wartungskosten. Die Lampenhersteller bieten eine Garantie von 15.000 Brandstunden für die Leuchtmittel 49 und 54 W/840. Das bedeutet, dass die Lampen in der nächsten Periode von 25 Jahren nicht mehr ausgewechselt werden müssen.

Außerdem wird während des Sommers die Kunstbeleuchtung nicht aktiviert, so dass auch die mögliche Wärmeentwicklung dieser Beleuchtung von 3,84 W/m² (durchschnittlicher Jahrverbrauch) nicht kältetechnisch entsorgt werden muss.

Berechnungsgrundlage

Standardraum	L = 6.500 mm		
	B = 3.600 mm		
	H = 2.700 mm		
Standardfenster	Oben 2 Stück	B = 1.380 mm	
		H = 1.050 mm	
	Unten 2 Stück	B = 1.150 mm	
		H = 900 mm	

Beleuchtungsstärke in der Arbeitszone 500 Lux (4.000 mm tief von der Fassade aus gesehen mit Minderung von 600 mm Randzone an den Wänden).

Basisentwurf

5 Einbauleuchten 1 T5 49W + EVG 6 VA 275 VA 11,75 W/m² 100%

Entwurf mit automatischer Steuerung Kunstbeleuchtung durch einfallendes Tageslicht

2 Einbauleuchten 1 T5 49W + EVG 6 VA= 110 VA x 0,6 = 66 VA

2 Einbauleuchten 1 T5 49W + EVG 6 VA= 110 VA x 0,8 = 88 VA

1 Einbauleuchte 1 T5 49W + EVG 6 VA= 55 VA x 1 = 55 VA

209 VA 8,93 W/m² 76%

Definitiver Entwurf mit Tageslichtsystem und automatischer Steuerung Kunstbeleuchtung

2 Sekundärleuchten 1 T5 54W am Fenster und 3 Sekundärleuchten 1 T5 49W in der Decke

2 Leuchten 1 T5 54W + EVG 6 VA= 120 VA x 0,2 = 24 VA

2 Leuchten 1 T5 49W + EVG 6 VA= 110 VA x 0,2 = 22 VA

1 Leuchte 1 T5 49W + EVG 6 VA= 55 VA x 0,8 = 44 VA

90 VA 3,84 W/m² 33%

Durch Benutzung von primären Tageslicht für die Allgemeinbeleuchtung in Kombination mit einem automatischen Sonnenschutz- und Tageslichtsteuersystem kann auch während direkter Sonnenstrahlung die Kunstbeleuchtung ausgeschaltet bleiben. Allein in den Morgen- und späten Nachmittagsstunden im Herbst und Winter oder während atmosphärischen Störungen im Frühling und Sommer wird die Kunstbeleuchtung bei Unterschreitung des Minimumlichtniveaus eingeschaltet. Die Kunstbeleuchtung regelt sich automatisch ein auf die Beleuchtungsstärke von 500 Lux.

8. Zukunfterwartungen

Im Rahmen der notwendigen Energieeinsparungsprogramme (National und International) liefert die Benutzung des Tageslichtes als Basisbeleuchtung in Bürogebäuden und Betriebsstätten sehr gute Resultate.

Durch staatliche Subventionen, Steuervergünstigungen und günstigere Zinssätze konnten die Mehrkosten amortisiert werden.

Seit der Projektierung des Entwurfes und der Fertigstellung des Gebäudes sind 3 Jahre vergangen. In dieser Periode sind die Ausführungskosten halbiert. Hierdurch können in der Zukunft die kostspieligen Sonderanfertigungen der kombinierten Sonnenschutz- und Tageslichtsysteme übergehen in gängige Herstellungsverfahren.

Literatur

- 1 Bartenbach Lichtlabor Innsbruck/ Vorentwurf/Ausschreibung 1997/98
- 2 Van Wagenberg Association/ Proefkameronderzoek Leiden 1998
- 3 CBO-TNO Eindhoven „Vergelijking van twee daglichtgeregelde verlichtingssytemen“ Juni 1998

Ein einfaches System für Tageslichtlenkung

Vorstellung der Untersuchungsergebnisse hinsichtlich dem physikalischen Nutzen und der Akzeptanz der Anwender

Holger Fild, Ivan De Laet, Frans Taeymans, Paul Van Tichelen, Greet Vanuytsel, Laurens Zonneveldt

Zusammenfassung:

Ein von ETAP entwickeltes neuartiges, einfaches System für Tageslichtbehandlung und Sonnenschutz wird von VITO, dem flämischen Institut für technologische Untersuchungen, bezüglich seiner Eigenschaften getestet. Ein Schwerpunkt des Tests ist die Analyse der lichttechnischen Vorteile eines solchen Systems gegenüber einem Referenzlamellensystem. Weiter wird die Akzeptanz der potentiellen Anwender geprüft, um ein solches System sinnvoll einsetzen zu können. Das Forschungsprojekt wird von der flämischen Regierung finanziell unterstützt.

Ziele:

- Hohe Nutzerakzeptanz durch große Anwendungsfreiheit und der Möglichkeit zu gutem visuellem Kontakt zur Außenwelt
- Angenehme und lebendige Umgebung im Gebäudeinneren durch die Nutzung von dosiertem gerichtetem Sonnenlicht
- Gleichmäßige Lichtverteilung und ausgeglichene Leuchtdichteverhältnisse sowohl in Fensternähe als auch in der Raumtiefe
- Preiswert und einfach in bestehenden Gebäuden nachzurüsten
- Energieeinsparung durch geringeren Kunstlichtbedarf
- Reduzierung des Wärmeeintrags

Dipl.-Ing. Holger Fild
ETAP Beleuchtung
Maybachstraße 31, D-51381 Leverkusen

Ing. Ivan De Laet
VITO
Boeretang 200, B-2400 Mol

Frans Taeymans
ETAP Verlichting
Antwerpsesteenweg 130, B-2390 Malle

Ir. Paul Van Tichelen, lic. economie Greet Vanuytsel
VITO
Boeretang 200, B-2400 Mol

Drs. Laurens Zonneveldt
TNO-TUE Centre for Building Research
PO Box 513, NL-5600 MB Eindhoven

1. Die Funktionsweise des Systems

Das System besteht aus einer Jalousie mit retroreflektierenden Lamellen für die Fensterinnenseite und einer lichtlenkenden Deckenoptik (Abb. 1a).

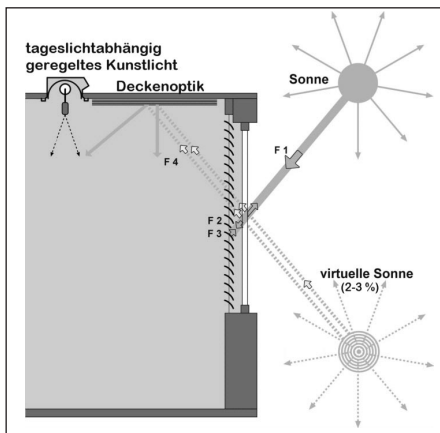


Abb. 1a: Seitenansicht Testsystem

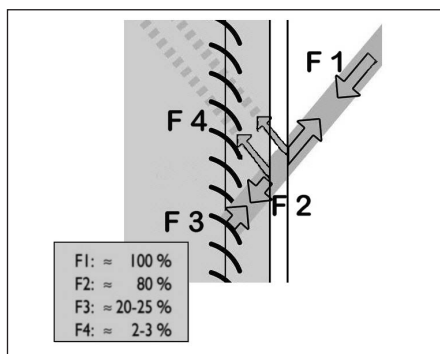


Abb. 1b: Detail: Reflexion an Fensterglas

Von 100 % Lichtstrom (F1) im Außenbereich strahlen ca. 80 % (F2) durch die klare Doppelverglasung, 20 – 25 % (F3) werden von der retroreflektierenden Lamelle nach ihrer Herkunftsrichtung zurück reflektiert und treffen auf die Innenseite des Fensterglases. Der größte Anteil wird transmittiert oder absorbiert, 2–3 % (F4) werden jedoch in Richtung Decke reflektiert, von wo aus ca. 2 % mittels einer Deckenoptik in die Raumtiefe weitergeleitet werden (Abb. 1b). Das sind bei strahlendem Sonnenschein ($\sim 100 \text{ klm/m}^2$ maximal) ca. 2–3 klm/m^2 direktes, gerichtetes Tageslicht im Raum. Durch eine tageslichtabhängige Kunstlichtregelung kann dieses Licht in Energieeinsparung umgewandelt werden.

2. Die Untersuchung

Vito hat das System hinsichtlich seiner Eigenschaften für ETAP untersucht. Dabei ist es ETAP wichtig, nicht nur die licht- und wärmetechnischen Werte ermitteln zu lassen, sondern auch schon im frühen Stadium herauszufinden, wie ein solches System von dem Nutzer beurteilt wird. Vor allem eventuell auftretende Nachteile in der Anwendung sind für

die weiteren Entwicklungsschritte von entscheidender Bedeutung, denn mit Mängeln behaftete und nicht akzeptierte Tageslichtsysteme sind zum Scheitern verurteilt. Die Vorgehensweise in der Meßtechnik und ihre Interpretation ist mit TNO (niederländische Organisation für angewandte naturwissenschaftliche Forschung, Drs. Laurens Zonneveldt, Eindhoven) abgestimmt worden.

Zum Vergleich stehen zwei gleich große Räume in Südlage zur Verfügung. In einem Raum (Raum A) ist das zu untersuchende Testsystem installiert (Abb. 2). Der Referenzraum (Raum B) ist mit einem handelsüblichen Qualitätssonnenschutz, bestehend aus hochwertigen, weiß lackierten, horizontalen Lamellen, ausgestattet (Abb. 3). Ansonsten sind die Räume in der Raumgestaltung, z.B. Anstrich der Decken und Wände oder Art und Positionierung der Möblierung absolut identisch. Die beiden Räume liegen unmittelbar nebeneinander.



Abb. 2: Raum A mit Testsystem

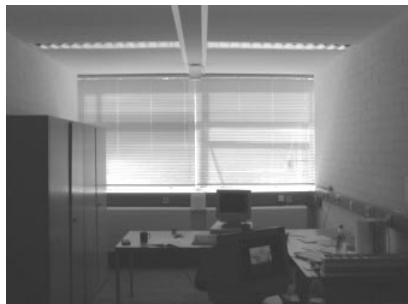


Abb. 3: Raum B mit Qualitätsjalousie

3. Lichttechnische Messungen

Langzeitregistrierungen der Beleuchtungsstärke sind bei allen vorkommenden Wetterlagen und bei unterschiedlichen Lamellenstellungen durchgeführt worden. Die drei wichtigsten horizontalen Messstellen sind in der Achse des Raumes in 1,10 m-, 2,30 m- und 3,50 m-Distanz vom Fenster, jeweils in Arbeitstischhöhe. Diese Stellen umfassen die normale Arbeitszone in den meisten Büroräumen /1/. Beispielhaft werden hier die Ergebnisse für 45°-Lamellenstellung an einem Tag mit klarem Himmel und einem Tag mit bedecktem Himmel vorgestellt. Bei dieser Lamellenstellung des Testsystems ist der häufig gewünschte große visuelle Außenkontakt möglich (siehe auch Abb. 6).

Vor allem in einer Fensterentfernung von 2,30 m läßt sich ein Gewinn an mehr Beleuchtungsstärke von ca. 30–40 % feststellen und dies bei klarem wie auch bei bedecktem Himmel (Abb. 4b u. 5b). In der Raumtiefe bei 3,50 m ist immer noch ein Anstieg von ca. 10–15 % mehr Beleuchtungsstärke zu verzeichnen. Im fensternahen Bereich (1,10 m) sind die natürlich hohen Tageslichtwerte um ca. 10 % abgeschwächt gegenüber dem Referenzraum B.

Bei dem Testsystem ist für Winkel kleiner $\sim 52^\circ$ horizontale Durchsicht gegeben (Abb. 6). Werden die Lamellen so eingestellt, dass ein visueller Außenkontakt nach unten bis zur Horizontalen möglich ist (also ca. 52°), liegen die erzielten Ergebnisse für 2,30 m-Entfernung unter allen Himmelsbedingungen bei über 40 % mehr Beleuchtungsstärke.

Die horizontale Stellung der Lamellen (bei heruntergelassener Jalousie die beste Aussicht nach draußen) gewährleistet ebenfalls einen Gewinn an Beleuchtungsstärke, dieser ist bei diffusem Himmel (ca. 30 % in 2,30 m u. 3,50 m Abstand) sogar noch ausgeprägter als bei sonnigem Wetter (ca. 10 % bei den gleichen Abständen). Die horizontale Lamellenstellung ist vorzugsweise geeignet für diffusen Himmel, da bei sonnigem Wetter mit Blendung zu rechnen ist. /1/

Von TNO-Building and Construction Research ist zusätzlich zu den obigen Messungen eine labortechnische Untersuchung /2/ durchgeführt worden, in der das

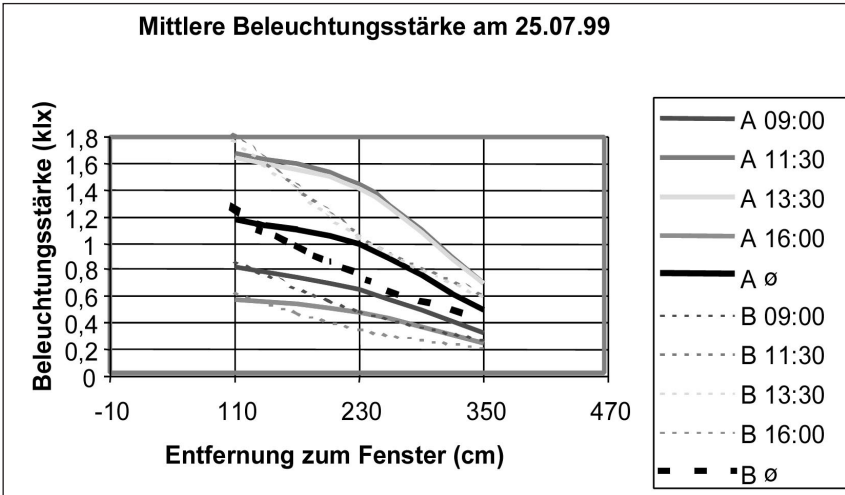


Abb. 4a: Beleuchtungsstärke Raum A u. B (klarer Himmel)

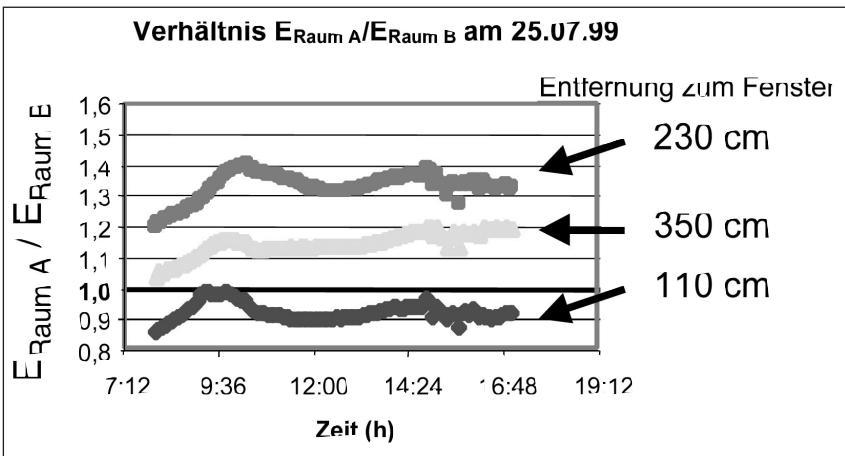


Abb. 4b: Verhältnis der Beleuchtungsstärken Raum A / Raum B (klarer Himmel)

lichttechnische Verhalten der Testlamelle im Vergleich mit der Referenzlamelle mittels Fotogoniometer gemessen wurde:

	Testlamelle	Referenzlamelle	Test/Ref
gesamt	0,071	0,054	1,31
diffus	0,040	0,049	0,82
direkt gerichtet	0,031	0,005	6,20

Tab. 1: Lichttransmissionswerte (Einfallrichtung Lichtquelle: Azimut 90° u. Höhe 45°)

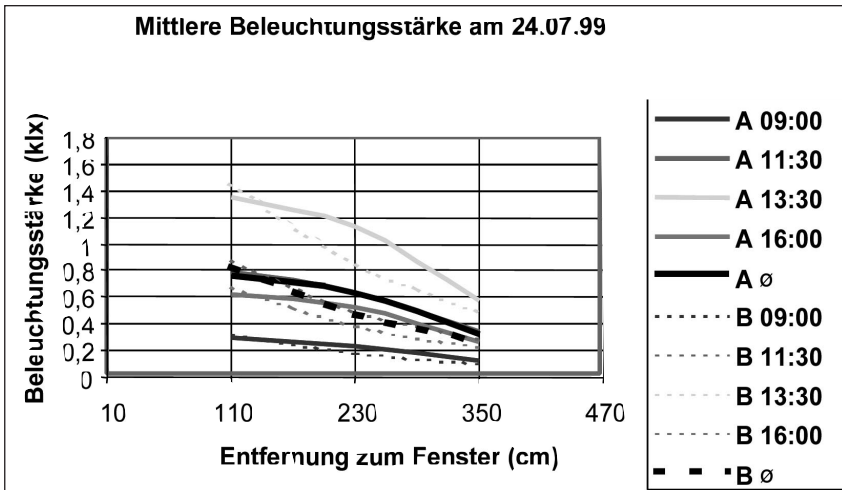


Abb. 5a: Beleuchtungsstärke Raum A u. B (bedeckter Himmel)

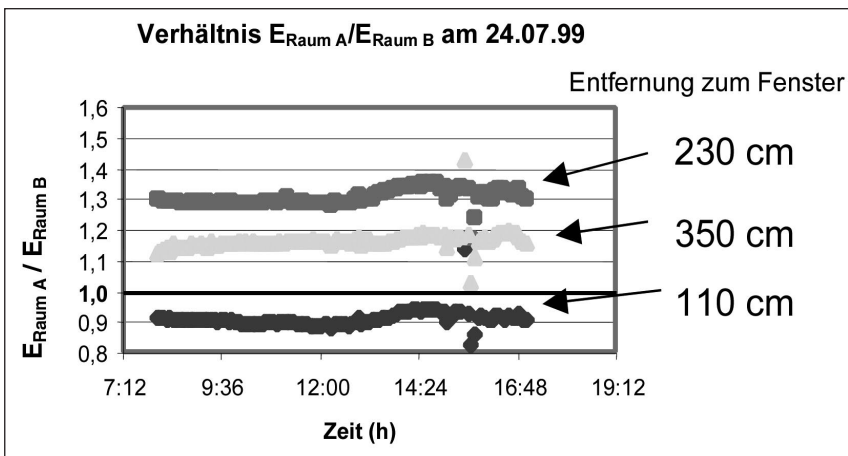


Abb. 5b: Verhältnis der Beleuchtungsstärken Raum A / Raum B (bedeckter Himmel)

31 % mehr Licht wird durch die Testlamelle in den Raum gebracht. Der Anteil an direkt gerichtetem Licht ist um den Faktor 6,2 größer. Nur direktes gerichtetes Licht läßt sich zur gezielten Beleuchtung in den Raum lenken und ist daher erwünscht.

4. Wärmetechnische Messungen

Die Untersuchung der wärmetechnischen Eigenschaften werden von Vito in zwei Schritten durchgeführt. Als erstes ist die Energiemenge für die beiden Räume er-

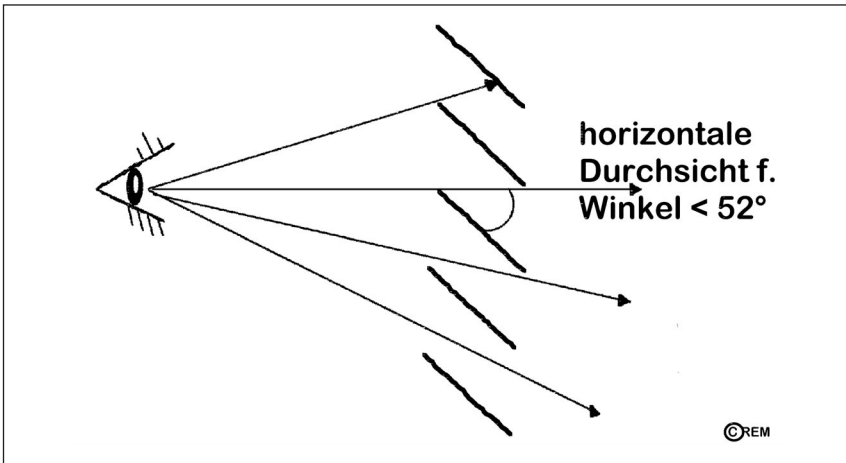


Abb. 6: Durchsicht nach außen hängt von der Lamellenwinkelstellung ab

mittelt worden, die benötigt wird, um die Temperatur in beiden Räumen auf einem bestimmten Niveau konstant zu halten. Daraus lassen sich Rückschlüsse auf die thermische Sonnenschutzwirkung der Jalousien ziehen. Das Testsystem hat dabei leichte Vorteile gegenüber dem Referenzsystem, wenn auch nur um einige Prozent /3/. Als zweiten Schritt führt Vito im Rahmen einer Diplomarbeit eine Untersuchung des Lamellensystems in einem thermisch isolierten Modellraum durch. Abschließende Ergebnisse lagen dazu bei Redaktionsschluß noch nicht vor.

Bei der wärmetechnischen Betrachtung durch TNO wurde die gesamte durchgelassene Strahlungsmenge (einschließlich Licht) in Form des g-Wertes ermittelt (0,356 für das Referenzsystem gegenüber 0,343 für das Testsystem). Hier ist der Wert des Testsystems um knapp 4 % besser. Durch die viel höhere Lichttransmission (~ 31 %, Tab.1) ist dieser Wert als äußerst positiv zu bewerten.



Abb. 7: direktes gerichtetes Licht über die Testlamelle in den Raum

5. Akzeptanzuntersuchung

ETAP bindet im frühen Stadium der Entwicklung den Anwender in die Beurteilung des Systems mit ein. Dabei interessiert vor allem die Frage, ob ein solches Tageslichtsystem neben den Vorteilen auch mögliche Nachteile für den Anwender hat. Dazu hat Vito eine Nutzerbefragung mit 68 Probanden in den beiden Räumen A und B durchgeführt. Die Ausarbeitung des Fragebogens wurde von TNO unterstützt. Bei dieser Untersuchung handelte es sich um eine als Ergonomie-Studie deklarierte verdeckte Befragung, die Probanden hatten keine Informationen, worauf die Untersuchung abzielte. Dies wurde mittels mündlicher Kontrollfragen zu Beginn des Testes sichergestellt. Die Fragen zu der Lichtsituation sind in dem Fragebogen neben anderen Fragen zur Raumsituation mit aufgenommen worden. Nur Probanden, die keinen Bezug zu der Lichttechnik hatten, durften an der Befragung teilnehmen. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, wurde die Befragung nur bei strahlendem Sonnenschein ohne Kunstlicht durchgeführt. Die Probanden hatten zwei Arbeitsaufgaben in beiden Räumen zu erledigen: Eine täglich zu lösende Routineaufgabe am PC-Bildschirm und eine Leseaufgabe in einer Hochglanzzeitschrift, jeweils mit Blickrichtung gegen das Fenster. Diese schwierigen Wahrnehmungsaufgaben wurden so gewählt, um mögliche Nachteile gezielt aufzuzeigen. Im Anschluß daran mussten die Probanden ihren Eindruck zu dem jeweiligen Raum, gestaffelt als Werteskala zu Wortpaaren (z.B. angenehm-unangenehm, hell-dunkel, warm-kalt, staubig-sauber) angeben. Zudem wurden sie am Ende nach ihrem Präferenzraum und der Begründung für ihre Wahl befragt.

Werden die Antworten „Vorzug Raum A“ (37) und „egal“ (12) für die Analyse zusammengefasst, liegt der Schluß nahe, dass das Testsystem als überwiegend

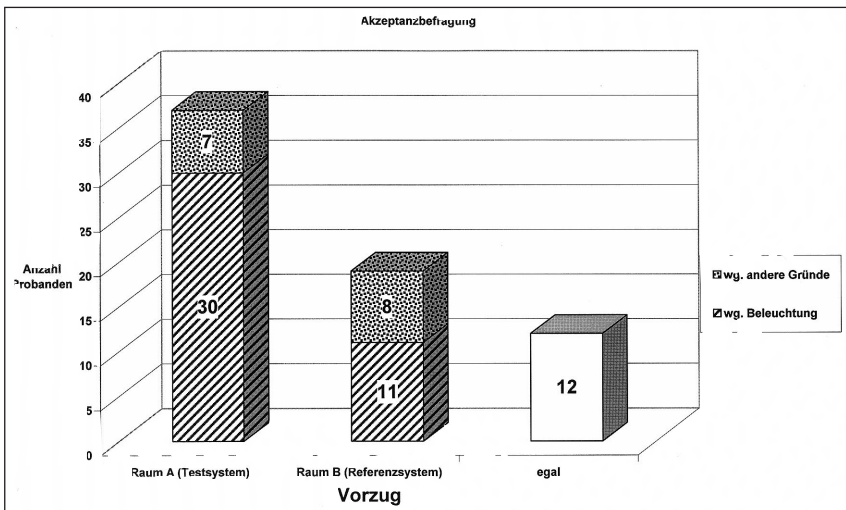


Abb. 8: Ergebnisse Akzeptanzbefragung

nicht negativ empfunden wird, sondern sogar Vorteile erkennen lässt. Als Grund, warum Raum A mit dem Testsystem bevorzugt wird, ist vorzugsweise die Beleuchtung (bessere Helligkeit) angeführt worden.

6. Schlußbetrachtung

Die physikalischen Eigenschaften des Testsystems bieten im Vergleich zur Referenz große Vorteile in der Lichttechnik durch Erhöhung der Beleuchtungsstärke in der Raumtiefe bei gleichzeitiger Verbesserung der Gleichmäßigkeit. Der normale Beleuchtungsstärkeverlauf von Tageslicht in Räumen „viel Licht in Fensternähe“ – „wenig Licht in der Raumtiefe“ wird günstig verändert. Dies gilt sowohl bei direktem Sonnenlicht als auch bei diffusem Himmelslicht. Im Vergleich zum Referenzsystem wird trotz des höheren Lichteintrags in den Raum mehr Wärme abgeschottet. In der Anwendung kann das Testjalousiensystem ohne Schwierigkeiten eine vorhandene, innen liegende konventionelle Abschattungsjalousie ersetzen. Die Einstellung der Lamellen kann durch den Nutzer nach Bedarf eingestellt werden, die Funktion bleibt gewährleistet. Ein kompliziertes sun-tracking-system ist nicht notwendig. Eine Beeinträchtigung der Umgebung wird durch Nutzung der Retroreflektion vermieden. Eine Beurteilung durch den Anwender fällt in keiner Weise negativ aus. Aus diesen Fakten folgt, dass es sich bei dem untersuchten Testsystem um ein äußerst einfaches und effektives Tageslichtsystem handelt.

Literaturhinweise

- /1/ De Laet, I.; Van Tichelen, P.; Meynen, G.; Taeymans, F.; Adams, F.; Van Belleghem, C.; Symbiose von einem innovativen Tageslichtsystem mit einem Kunstlichtsystem – Die vorläufigen Testresultate; Tagungsband Otti – Sechstes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Kloster Banz, 2000, S. 97 – 102
- /2/ „Metingen op lamelsysteem“, ref. 2000-G&I-M 2002/OTH/KRL, dd.19 januari 2000, H.P.Oversloot
- /3/ De Laet, I.; Van Tichelen, P.; Taeymans, F.; Adams, F.; Energy savings from the EE-SYLK daylighting system; WREC 2000 Congress, Brighton, UK, 1 – 7 July

Eine Praxis-Methode zur Bewertung der Tageslichtqualität in Innenräumen

Friedrich Sick

1. Einführung

Für die Bewertung der Tageslichtqualität in Innenräumen fehlt bisher eine verlässliche, einheitliche Methodik. Es wird hier eine einfach zu handhabende Tageslichtbewertungsmethode vorgestellt. Sie basiert teilweise auf Arbeiten, die in der Schweiz unter dem „DIANE-Projekt Tageslichtnutzung“ durchgeführt wurden (/Miloni1996/, /Miloni1998/. Anders als bei Akzeptanzuntersuchungen, die die Wahrscheinlichkeit für subjektiven visuellen Komfort ermitteln, (/Sick1995/, /Wienold 1998/), werden objektiv meßbare Kriterien ermittelt und bewertet. Damit steht ein „Einheitensystem“ zur Verfügung, auf dessen Basis dann später Akzeptanzuntersuchungen durchgeführt werden können.

Ziel ist ein Satz von Kriterien, der die Tageslichtqualität eines Raums, eines Arbeitsplatzes in einem Raum und eines kompletten Systems bestehend aus Raum, Arbeitsplatz und Tageslicht- und Kontrollsystem beschreibt. Die betrachteten Arbeitsplätze bleiben auf Bildschirmarbeitsplätze in Büros beschränkt. Die Bewertung dieser Kriterien basiert auf fundiertem Wissen über das lichttechnische Verhalten solcher Räume. Sowohl eine grafische Darstellung als auch eine Reduktion auf Einzelzahlen für rasche Vergleichbarkeit ist möglich.

Mit Computer-Simulationen unter Verwendung von Radiance/Larson und Shakespeare, 1998/ werden zahlreiche Parameter-Variationen durchgeführt, um sinnvolle Grenzen für die Bewertungsskalen zu finden.

2. Kriterien

Die Kriterien werden in drei Gruppen eingeteilt:

- Kriterien, die den Raum selbst beschreiben,
- Kriterien, die die Arbeitsplatzsituation beschreiben (Beschränkung auf Bildschirmarbeitsplätze im Büro) und
- Systemkriterien, die auch das Kosten/Nutzen-Verhältnis bewerten.

Einige dieser Kriterien werden durch Messung oder Simulation bestimmt, andere sind rein qualitativer Natur und werden verbal beschrieben. Tabelle 1 faßt alle elf Kriterien zusammen.

Kriterien für den Raum	Mittlerer Tageslichtquotient, •
	Tageslichtquotient in einer Raumtiefe von 4 m, D_4
	Gleichmäßigkeit, G
	Tageslichtsituation bei Sonne, R_s
Zusätzliche Kriterien für den Arbeitsplatz	Kontrastreduzierung am Bildschirm
	Gesichtsfeldkontraste
	Unified Glare Rating UGR
	Außenbezug
Zusätzliche Systemkriterien	Tageslichtautonomie
	Regelbarkeit
	Einfachheit (Komplexität)

Tabelle 1: Kriterien für die Bewertung der Tageslichtqualität

Nach ihrer Bestimmung werden die Größen anhand von Bewertungsskalen bewertet, die typische Wertebereiche abdecken. Für die Bewertung werden Noten von 1 („sehr gut“) über 2 („gut“) und 3 („befriedigend“) bis 4 („ausreichend“) vergeben. Ungenügende Ergebnisse werden mit 6 bewertet. Zwischennoten bis 4 werden durch lineare Interpolation ermittelt. In den folgenden Tabellen sind die Bewertungsskalen zusammengefasst. Einige dieser Skalierungen werden anschließend näher begründet.

3. Bewertungsskalen

Bewertung	Note	Bedingungen für Raumkriterien			
sehr gut	1	• $\geq 4\%$	$D_4 \geq 3\%$	$G \geq 1/4$ oder $G^{-1} \leq 4$	$R_s \geq 2,0$
gut	2	• = 3%	$D_4 = 2\%$	$G = 1/6$ oder $G^{-1} = 6$	$R_s = 1,5$
befriedigend	3	• = 2%	$D_4 = 1\%$	$G = 1/8$ oder $G^{-1} = 8$	$R_s = 1,25$
ausreichend	4	• = 1%	$D_4 = 0,75\%$	$G = 1/10$ oder $G^{-1} = 10$	$R_s = 1,0$
ungenügend	6	• < 1%	$D_4 < 0,75\%$	$G < 1/10$ oder $G^{-1} > 10$	$R_s < 1,0$

Tabelle 2 : Bewertungsskalen für die vier Raumkriterien

Bewertung	Note	zusätzliche Bedingungen für Arbeitsplatzkriterien		
sehr gut	1	$(1-K/K_0) \leq 5\%$	$K_{NF,max} \leq 3:1$ und $K_{FF,max} \leq 10:1$	$UGR \leq 10$
gut	2	$(1-K/K_0) = 10\%$	$K_{NF,max} = 6:1$ und $K_{FF,max} = 20:1$	$UGR = 13$
befriedigend	3	$(1-K/K_0) = 20\%$	$K_{NF,max} = 12:1$ und $K_{FF,max} = 40:1$	$UGR = 16$
ausreichend	4	$(1-K/K_0) = 30\%$	$K_{NF,max} = 24:1$ und $K_{FF,max} = 80:1$	$UGR = 19$
ungenügend	6	$(1-K/K_0) > 30\%$	$K_{NF,max} > 24:1$ und $K_{FF,max} > 80:1$	$UGR > 19$

Tabelle 3: Bewertungsskalen für drei der vier zusätzlichen Arbeitsplatzkriterien

Bewertung	Note	Bedingung
sehr gut	1	Horizontale Blickverbindung nach außen, der Himmel ist sichtbar
gut	2	Hor. Blickverbindung nach außen, der Himmel ist nicht sichtbar
befriedigend	3	Eingeschränkter Blick vom Arbeitsplatz nach außen
ausreichend	4	Fenster vom Arbeitsplatz aus sichtbar / Arbeitsplatz zum Atrium
ungenügend	6	Kein oder nur indirekter Außenbezug

Tabelle 4: Bewertungsskala für den Außenbezug (4. zus. Arbeitsplatzkriterium)

Bewertung	Note	Tageslichtautonomie
sehr gut	1	TLA \geq 75%
gut	2	TLA = 60%
befriedigend	3	TLA = 45%
ausreichend	4	TLA = 30%
ungenügend	6	TLA < 30%

Tabelle 5: Bewertungsskala für das Systemkriterium Tageslichtautonomie

Bewertung	Note	Bedingungen
sehr gut	1	Systeme, die an bedeckten Tagen das Fenster nicht beschatten und die eine automatische tageslicht-abhängige Lichtregelung haben
gut	2	Systeme mit automatischer tageslichtabhängiger Lichtregelung
befriedigend	3	Systeme, die an bedeckten Tagen das Fenster nicht beschatten, aber keine automatische tageslicht-abhängige Lichtregelung haben
ausreichend	4	Systeme mit teilweiser Beschattung auch an bedeckten Tagen ohne automatische tageslicht-abhängige Lichtregelung
ungenügend	6	Systeme mit starker Beschattung auch an bedeckten Tagen

Tabelle 6: Bewertungsskala für das Systemkriterium Regelbarkeit

Bewertung	Note	Bedingungen
sehr gut	1	Einfache Systeme haben keine beweglichen Teile für die Tageslichtführung oder Mehrfachfunktionen (z.B. Sonnenschutz und Lichtlenkung) und sind leicht zu reinigen
gut	2	Einfache Systeme, auch mit beweglichen Teilen und/oder gewissem Reinigungsaufwand
befriedigend	3	Komplexe bewegliche Systeme (einachsig nachgeführt)
ausreichend	4	Komplexe bewegliche Systeme (zweiachsig nachgeführt)
ungenügend	6	–

Tabelle 7: Bewertungsskala für das Systemkriterium Einfachheit

3.1 Der mittlere Tageslichtquotient

Ein Maß für die gesamte Tageslichtmenge, die in einen Raum fällt, stellt der mittlere Tageslichtquotient \cdot dar. Er wird durch Messung oder Simulation aus Einzelwerten an Punkten eines Rasters bestimmt. Die äußere Begrenzung dieses Rasters hat von den Seitenwänden einen Abstand von 0,5 m. Abbildung 1 liefert die Erklärung für die Skalierung in Tabelle 2. Sie zeigt den mittleren Tageslichtquotienten als Funktion der Fensterhöhe H_F und der Sturzhöhe s . Beide Größen sind dimensionslos und auf die lichte Raumhöhe bezogen. Der mittlere Reflexionsgrad der Wände beträgt 50%, die Gesamttransmission durch die Verglasung

Mittlerer Tageslichtquotient D in Längsachse, Wandrefl. 50%
als Funktion von dimensionsloser Fenster- und Sturzhöhe bei Seitenbelichtung

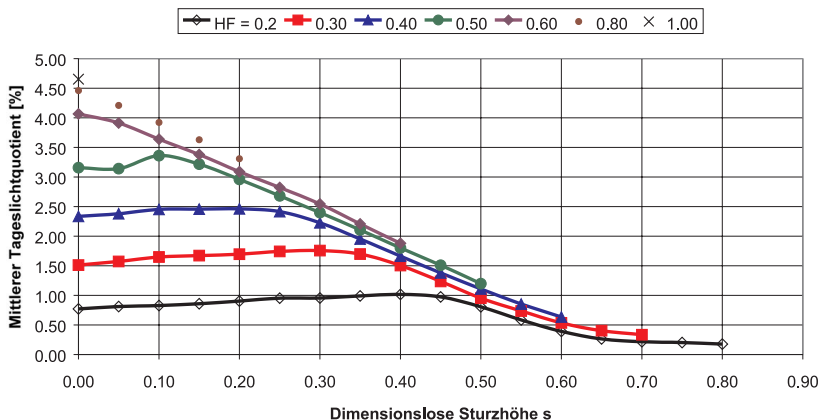


Abbildung 1 : Mittlerer Tageslichtquotient bei einseitiger Beleuchtung als Funktion der dimensionslosen Fenster- und Sturzhöhe

70 %. Mit großen Fenstern ohne Sturz kann der mittlere Tageslichtquotient gerade 4 % überschreiten. Mit gutem Tageslichtkonzept, z.B. über zweiseitige Tagesbeleuchtung können 4 % also problemlos erreicht werden. Ein mittlerer Tageslichtquotient $\geq 2\%$ kann über breite Fenster und moderate Sturzhöhen erzielt werden. Um auf Werte unter 1 % zu fallen, müssen die transparenten Flächen sehr spärlich sein.

3.2 Tageslichtquotient in einer Raumtiefe von 4 m, D_4

Die Bewertungsskala in Tabelle 2 resultiert aus Abbildung 2. Diese gilt für eine lichte Raumhöhe von 3 m. Dann bildet $D_4 = 3\%$ die obere Grenze. Bei größeren Raumhöhen oder mehrseitiger Beleuchtung können größere Werte erzielt werden. Die Bewertung „gut“ ($D_4 = 2\%$) kann bei 3 m Raumhöhe und gewöhnlichen Fenstergrößen leicht erreicht werden. Wie im Fall des mittleren Tageslichtquotienten wird das untere Limit großzügig gelegt. Nur mit sehr kleinen oder sehr niedrig platzierten Fenstern fällt D_4 unter 0,75 %.

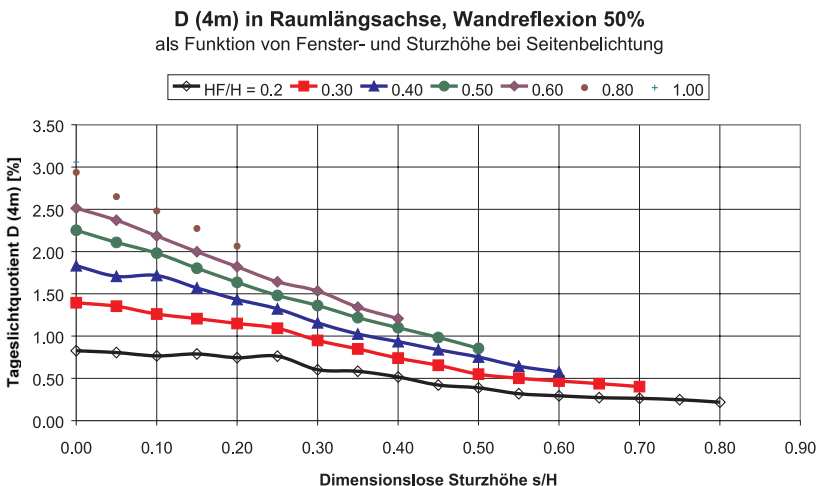


Abbildung 2: Tageslichtquotient in 4m Raumtiefe bei einseitiger Beleuchtung als Funktion der dimensionslosen Fenster- und Sturzhöhe

3.3 Gleichmäßigkeit G

Die Gleichmäßigkeit ist das Verhältnis von minimalem zu mittlerem Tageslichtquotienten. Abbildung 3 liefert Begründungen für die Wahl der Bewertungsskalen.

Gleichmäßigkeit G, Wandrefl. 50%

als Funktion von dimensionsloser Fenster- und Sturzhöhe bei Seitenlicht

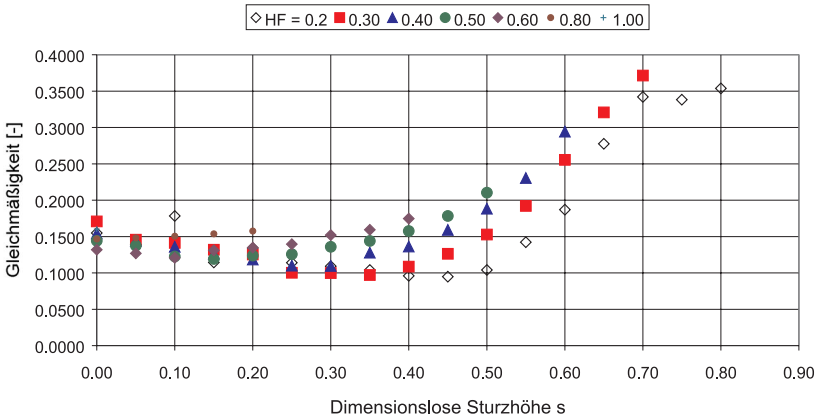


Abbildung 3: Gleichmäßigkeit G als Funktion der dimensionslosen Fenster- und Sturzhöhe bei einseitiger Beleuchtung mit Tageslicht

3.4 Tageslichtsituation bei Sonne

Bei Sonnenschein wird der Sonnenschutz aktiviert und vermindert so die Verfügbarkeit von Tageslicht im Raum. Dies kann zu einem erhöhten Elektrizitätsverbrauch für Kunstlicht führen, obwohl außen genügend Tageslicht zur Verfügung steht. Gute Sonnen- oder Blendschutzsysteme erfüllen ihre primäre Aufgabe und lassen gleichzeitig genügend Tageslicht für Beleuchtungszwecke zu, so daß auf Kunstlicht weitgehend verzichtet werden kann.

Unter sonnigen Bedingungen ist der Tageslichtquotient zwar definiert (wobei die durch direktes Sonnenlicht bewirkten Anteile unberücksichtigt bleiben), aber wenig praktikabel. Deshalb wird die durch Tageslicht hervorgerufene Beleuchtungsstärke an einem bestimmten Punkt bei aktiviertem Sonnenschutz und bei einer bestimmten relativen Position der Sonne als Kriterium ausgewählt. Es wird dazu der Punkt in 4 m Raumtiefe auf der Mittelachse herangezogen. Die Position der Sonne ist senkrecht zur Fassade und unter einem Höhenwinkel von 45°. Der so bestimmte Wert der Beleuchtungsstärke wird mit einem Referenzwert verglichen, bei dem unter sonst gleichen Bedingungen ein Lamellen-Sonnenschutz aus diffus weiß-reflektierenden Lamellen (Reflexionsgrad 70 %), die 60° zur Horizontalen geneigt sind, betrachtet wird. Aus beiden Werten wird der Quotient

$$R_s = \frac{E(4m)}{E_{ref}(4m)} \quad (1)$$

bestimmt.

Ein Sonnenschutz muß funktionieren. Sein g-Wert (hier definiert als der Anteil der an der Fassade direkt oder indirekt ankommenden im Vergleich zur auf den Sonnenschutz auftreffenden Strahlung) darf 20 % nicht überschreiten. Dies gilt

nicht für Systeme oder Systemteile, die Tageslicht blendungsfrei umlenken. Neben dieser grundsätzlichen Anforderung wird die Bewertungsskala nach Tabelle 2 angewendet. Es ist offensichtlich, daß die Wahl für ein System mit $R_s < 1,0$ nicht sinnvoll ist.

3.5 Kontrastreduzierung

Deutsche und europäische Normen bewerten Reflexblendung auf Bildschirmen über sekundäre Charakteristika. Diese sind die mittlere oder maximale Leuchtdichte von Flächen, die sich in der Bildschirmoberfläche spiegeln. Dabei wird zur Zeit die Oberflächenqualität des Monitors nicht berücksichtigt. Die in Vorbereitung befindlichen Normung sieht eine grobe Klassifizierung vor. Wie bei der heute gültigen Normung aus dem Jahr 1988 (DIN 5035-7, 1988) der Fall, muß auch bei zukünftigen neuen Normen davon ausgegangen werden, daß sie relativ schnell vom technischen Fortschritt überholt werden. Deshalb wird hier eine Primärursache für störende Reflexblendung als Kriterium herangezogen: dies ist die Lesbarkeit vom Bildschirm, für die der Zeichenkontrast verantwortlich ist. Der optimale ungestörte Zeichenkontrast K_0 eines Bildschirms, also der Leuchtdichtekontrast zwischen Zeichen und Untergrund, liegt im Bereich zwischen 5:1 und 10:1. Der durch Störungen verursachte reduzierte Zeichenkontrast ist abhängig vom Leuchtdichtekoeffizient des Bildschirms q , seinem direkten Reflexionsgrad ρ , der Störleuchtdichte L_s und der Beleuchtungsstärke E auf dem Bildschirm. Damit wird die Kontrastreduzierung $(1 - K/K_0)$ bestimmt [Lange1992]. Anhand von Abbildung 4 erkennt man, daß mit Bildschirmen hoher Qualität ($\rho/q = 0.1$) eine Kontrastreduzierung $(1-K/K_0) \leq 5\%$ erzielt werden kann, solange die Störleuchtdichten nicht über 100 cd/m^2 ansteigen. Auf dem gleichen Bildschirm bleibt die

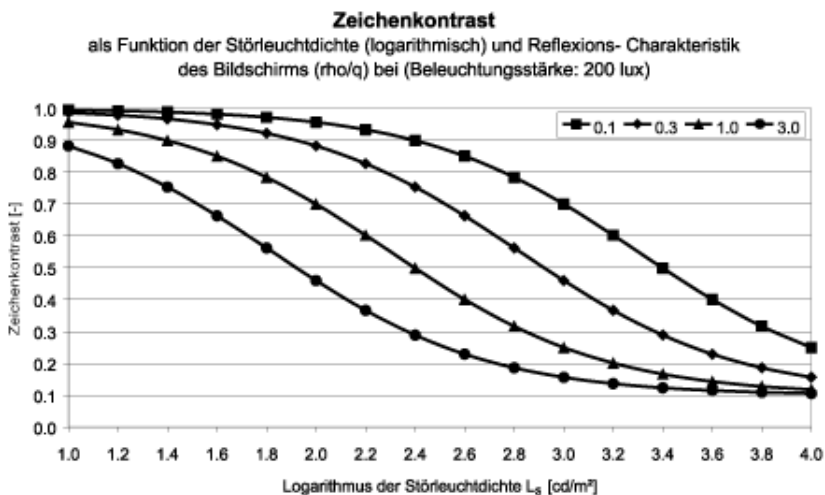


Abbildung 4: Zeichenkontrast für Bildschirme als Funktion der Störleuchtdichte und der Reflexionskennwerte des Bildschirms für eine Beleuchtungsstärke von 200 lux

Kontrastreduzierung noch unter 10 %, wenn die Störleuchtdichten unter 250 cd/m² liegen. Die in Vorbereitung befindliche Normung setzt die maximale Störleuchtdichte vermutlich auf 1000 cd/m² für gut entspiegelte Monitore fest. Legt man dies als Grenze bei $\rho/q = 0,3$ fest, so ergibt sich das untere Limit zu 30 % Kontrastreduzierung. Die so erhaltene Bewertungsskala ist in Tabelle 3 wiedergegeben.

3.6 Gesichtsfeldkontraste

Maximale Kontraste zwischen dem Arbeitsfeld und dem nahen Umfeld, $K_{NF,max}$, sollten nicht größer als 3:1 sein, und zwischen dem Arbeitsfeld und dem fernen Umfeld, $K_{FF,max}$, nicht größer als 10:1. Dies sind Regeln gemäß /Lange1992/ und /DIN 5035-1/. Dabei werden nur mittlere Leuchtdichten oder Leuchtdichten von Objekten größer 10° betrachtet. Das nahe Umfeld hat einen Durchmesser von 60° um die Blickrichtung, das ferne Umfeld einen Durchmesser von 120°. Ein Kontrast von 3:1 ist allerdings kaum vermeidbar, wenn man z.B. an ein weißes Blatt Papier auf einer dunklen Oberfläche denkt. Handmessungen und Befragungen in einem Großraumbüro mit großflächiger Verglasung haben gezeigt, daß Bildschirmnutzer, die die Fassade im Blickfeld haben, den Sonnen- oder Blendschutz aktivieren, sobald das Kontrastverhältnis zwischen Fenster und Monitor etwa 10:1 übersteigt. Um mit der gültigen Normung konsistent zu bleiben, wird der Kontrast 3:1 mit „sehr gut“ bewertet. Um die Zahl der relevanten Kriterien zu begrenzen, werden die Noten für Nahfeld- und Fernfeldkontraste durch Mittelwertbildung zusammengefaßt.

3.7 Unified Glare Rating UGR

Je größer der UGR-Wert, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit für Blendung. Die Werte variieren von ungefähr 10 (keine Blendung) bis 30 (unakzeptable Blendung). Eine Einheit entspricht etwa dem kleinsten erkennbaren Unterschied.

Es ist dringend zu beachten, daß die UGR-Methodik für Kunstlichtanwendungen entwickelt wurde. Die Blendquellen sind dann relativ klein (im Vergleich zu Fenstern) und an oder unterhalb der Raumdecke montiert. Deshalb muß die Anwendung der UGR-Methode für die Beurteilung von Tageslicht als Blendquelle mit großer Vorsicht erfolgen oder im Zweifel ganz entfallen.

Da die Bestimmung der Größen, aus denen sich der UGR-Wert berechnet, relativ umständlich ist, wird der Einsatz von Simulationsprogrammen empfohlen, z.B. Radiance /Larson and Shakespeare, 1998/, bei denen die UGR-Berechnung im Algorithmus implementiert ist. Die Werte in Tabelle 3 sind nur für Büroarbeitsplätze gültig.

3.8 Tageslichtautonomie TLA

Die Tageslichtautonomie ist der Anteil der Nutzungszeit, zu dem kein Kunstlicht benötigt wird. Die Bestimmung der Tageslichtautonomie ist eine nicht-triviale Aufgabe. Es müssen die durch Tageslicht hervorgerufenen Beleuchtungsstärken an Referenzpunkten im Raum und für jede Stunde (oder kleinere Zeitschritte) der Nutzungszeit bestimmt werden. Danach wird entschieden, ob Kunstlicht benötigt wird. Je nach Steuerstrategie müssen einer oder mehrere Referenzpunkte ge-

wählt werden (z.B. bei Gruppenschaltung von Leuchten). Schließlich muß die Stellung des Sonnenschutzes zu jedem Zeitpunkt bekannt sein. Methoden zur Bestimmung der Tageslichtautonomie unter Berücksichtigung aller Einflußgrößen werden in der Literatur beschrieben (/Herkel1997/, /Janak1997/). Mit einem stark vereinfachten, auf Methoden der statistischen Versuchsplanung basierenden Verfahren läßt sich die TLA als Funktion von 4 Variablen beschreiben, die mit ihren Bereichsgrenzen Tabelle 8 entnommen werden können. Dabei ersetzt der Quotient E/E_a den Tageslichtquotienten bei sonnigen Konditionen und wird an dem für R_s bereits beschriebenen Referenzpunkt ermittelt.

Nr.	Variable	untere Stufe	Mitte	obere Stufe
1	Tageslichtquotient [%]	2	5	8
2	Nennbeleuchtungsstärke [lux]	300	500	700
3	Nutzungszeit symmetrisch um 13:00	(9:00 bis 17:00)	(8:00 bis 18:00)	(7:00 bis 19:00)
4	E/E_a [%]	0.1	0.8	1.5

Tabelle 8 : Ausgewählte Gültigkeitsbereiche der 4 Variablen zur Bestimmung der Tageslichtautonomie

Die Regression liefert eine Gleichung der folgenden Form:

$$\begin{aligned}
 TLA = & b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 \\
 & + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 \\
 & + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 \\
 & + b_{34}x_3x_4 \\
 & + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 \\
 & + b_{1234}x_1x_2x_3x_4
 \end{aligned} \tag{2}$$

Die x_i sind auf einen Wertebereich von $[-1;1]$ normierte Variablen. Mit $3^4 = 81$ Experimenten kann die Regression durchgeführt werden und liefert mit Wetterdaten des Deutschen Testreferenzjahres Nr. 5 für die Region nördliches Baden-Württemberg und Franken die in Tabelle 9 aufgelisteten Koeffizienten für Gleichung 7. Andere fixierte Randbedingungen sind die Lichtausbeuten für direkte (90 lm/W) und diffuse (110 lm/W) Einstrahlung und der Schwellenwert für die Unterscheidung bedeckt/sonnig von 150 W/m².

Ein Vergleich der Regressions- mit den Experimentalwerten ist in Abbildung 5 dargestellt. Die mittlere Summe der Fehlerquadrate beträgt 0,0359. Abbildung 5 zeigt, daß die Tageslichtautonomie innerhalb vernünftiger Grenzen der Variablen recht gleichmäßig über den Bereich zwischen 0 und 1 verteilt ist. Nur unterhalb 0,2 und oberhalb 0,9 treten weniger Werte auf. Deshalb wird in Tabelle 5 die beste Note für TLA-Werte größer oder gleich 0,75 angesetzt und ein „ungenügend“ für Werte unterhalb 0,3. Zwischenwerte entstehen durch lineare Verbindung dieser Grenzwerte.

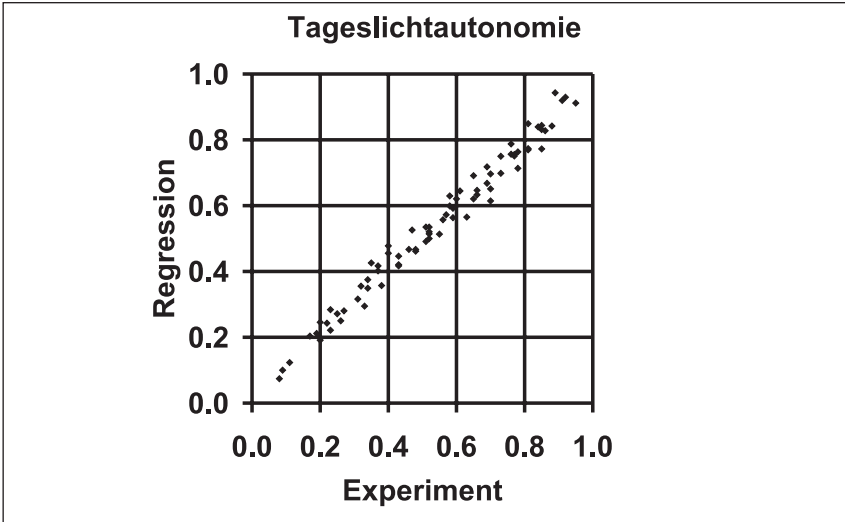


Abbildung 5: Vergleich von Regression mit Experiment bei der Bestimmung der TLA

b_0	0.41931038	b_{23}	0.00001319
b_1	0.06242651	b_{24}	-0.01448412
b_3	-0.00103088	b_{34}	-1.48809523
b_3	-0.00649801	b_{11}	-0.0010288
b_4	83.3361678	b_{22}	0.00000007
b_{12}	0.00007037	b_{33}	-0.00037037
b_{13}	-0.00171296	b_{44}	-1730.91459
b_{14}	-1.24338624	b_{1234}	0

Tabelle 9: Koeffizienten des Regressionspolynoms 2. Ordnung für die 4 Variablen zur Bestimmung der Tageslichtautonomie TLA

4. Präsentation

Ähnlich der Schweizer Methode werden die Bewertungen grafisch in Form einer „Signatur“ dargestellt. So werden Lösungsvarianten einfach vergleichbar. Darüberhinaus lassen sich Einzelgrößen (sic = single illumination criteria) über Durchschnittsnoten bestimmen. Je nachdem, ob der Raum allein betrachtet wird oder der Arbeitsplatz im Raum oder das Gesamtsystem, lassen sich die folgenden drei Einzelgrößen mit zunehmender Komplexität bestimmen:

- sic(a) beschreibt die Tageslichtqualität des Raumes allein
- sic(b) beschreibt die Tageslichtqualität am Arbeitsplatz inklusive Raum (dabei ist sowohl eine Unterscheidung mehrerer Arbeitsplätze als auch die Mittelwertbildung über diese möglich)
- sic(c) beschreibt die Tageslichtqualität am Arbeitsplatz inklusive Raum und Systemkomponenten (Sonnenschutz, Lichtlenkung, Steuerung/Regelung)

Bewertung der Tageslichtqualität

Projektname
Bearbeiter
Datum

Variante 1	Beschreibung
------------	--------------

		Wert	Note	Gewichtung
D_{mittel}	mittlerer Tageslichtquotient	1	4.00	0.1
D_4	Tageslichtquotient in 4m Raumtiefe	1	3.00	0.1
G	Gleichmäßigkeit	0.5	1.50	0.1
R_s	Tageslicht mit Sonne	1.5	2.00	0.1
K/K_0	Kontrastreduzierung	0.91	1.80	0.1
K_{NF}	Nahfeld-Kontraste	2	2.00	0.1
K_{FF}	Fernfeld-Kontraste	20		
UGR	Unified Glare Rating	14	2.33	0.1
-	Außenbezug	2	2.00	0.1
TLA	Tageslichtautonomie	0.6	2.00	0.1
-	Regelbarkeit	1	1.00	0.1
-	Einfachheit	1	1.00	0.1

Gesamtnote Raum
Gesamtnote Arbeitsplatz
Gesamtsystemnote

ungewichtet	gewichtet
2.63	2.63
2.33	2.33
2.26	2.06

Tabelle 10: Typisches Arbeitsblatt für die Auswertung der Tageslichtqualität

Darüber hinaus ist es möglich und oft ratsam, die einzelnen Kriterien entsprechend ihrer Bedeutung im betrachteten Einzelfall zu gewichten. So sind beispielsweise in einem Raum mit ausschließlich bildschirmorientierten Arbeitsplätzen (CAD-Arbeitsplätze, Radarkontrollräume) die Anforderungen an die Lesbarkeit vom Bildschirm und die Gesichtsfeldkontraste sehr hoch, wohingegen die Tageslichtmenge geringere Bedeutung hat.

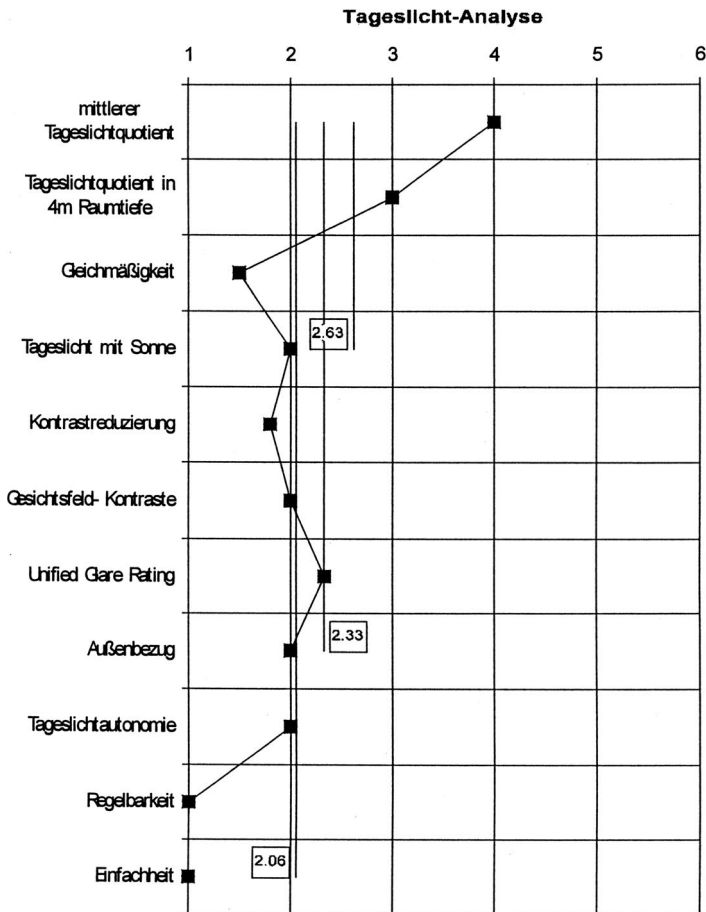


Abbildung 6: Tageslichtsignature (Beispiel)

Wichtig ist, daß bei der Bewertung eines Projektes die Kriterien und ihre Gewichtung plausibel gewählt und dokumentiert werden und beim Vergleich von Lösungsalternativen unverändert bleiben.

Ein hypothetisches Arbeitsblatt für die Bewertung ist in Tabelle 10 wiedergegeben. Die zugehörige Signatur ist in Abbildung 6 dargestellt.

5. Zusammenfassung

Die vorgestellte Methodik zur Bewertung der Tageslichtqualität in Innenräumen ist umfassend, aber einfach anzuwenden. Die Bewertungsskalen für die einzelnen Kriterien liegen innerhalb praxisnaher Grenzen. Die Methode ist offen im

Sinne sowohl einer Reduzierbarkeit als auch der Möglichkeit der Erweiterung um weitere Kriterien. Außerdem besteht die Möglichkeit, Einzelkriterien projektbezogen zu gewichten. Vergleichbarkeit von Lösungsvarianten ist gegeben durch eine übersichtliche grafische Darstellung („Signatur“) oder in konzentrierter Form als Durchschnittsnoten oder „single illumination criteria“, „sic“.

Für die recht umständliche Bestimmung der Tageslichtautonomie wurde eine vereinfachte, konservativ schätzende, Methode eingeführt, die auf eine einfache algebraische Gleichung 2. Ordnung in 4 Variablen führt.

Literatur

- CIE 117 (1995) Discomfort Glare in Interior Lighting, CIE Technical Report, Vienna
- DIN 5034-1 (1983) Tageslicht in Innenräumen, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- DIN 5034-5 (1993) Tageslicht in Innenräumen, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- DIN 5035-1 (1990) Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht – Begriffe und allgemeine Anforderungen, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- DIN 5035-2 (1990) Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht – Richtwerte für Arbeitsstätten, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- DIN 5035-7 (1988) Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht – Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen und mit Arbeitsplätzen mit Bildschirmunterstützung, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 12464 (1998) Beleuchtung von Arbeitsstätten, Entwurf
- Guth, S. K. (1963) A Method for Evaluation of Discomfort Glare, Illuminating Engineering 58(5)
- Herkel, S. (1997) Dynamic link of light- and thermal simulation: on the way to integrated planning tools. In Proceedings of the 5th Int. IBPSA Conference Building Simulation, 8-10 September, Prag, Tschechische Republik, S. 307-312.
- ISO 9241 (1992) Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten, Internationale Norm
- Janak, M. (1997) Coupling Building Energy and Lighting Simulation. In Proceedings of the 5th Int. IBPSA Conference Building Simulation, 8-10 September, Prag, Tschechische Republik, S. 313-319.
- Lange, H. (ed.) (1992) Handbuch für Beleuchtung, 5th edition, ecomed-Fachverlag, Landsberg am Lech
- Larson, G. Ward and Shakespeare, R. (1998) Rendering with Radiance, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco
- Milioni, R. C. (1996) Von der Transparenz zur Effizienz. Detail 36, 490-494.
- Milioni, R. C. (1998) Selektive Lichtmodulation in polyvalenten Gebäudehüllen. In Tagungsband Viertes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, 29-30 January, Staffelstein, S. 165-177. OTTI Technologie-Kolleg, Regensburg.
- Scheffler, E. (1997) Statistische Versuchsplanung und -auswertung, 3. Aufl., Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart
- Sick, F. (1995) A simulation approach to determine a visual comfort index including daylight for adequate building performance evaluation. In Proceedings of the 4th Int. Conference Building Simulation, 14-16 August, Madison, USA, S. 295-300.
- Sick, F. (1999) Zur Beurteilung der Tageslichtqualität in der Praxis. In Tagungsband Fünftes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, 28-29 January, Staffelstein, S. 178-192. OTTI Technologie-Kolleg, Regensburg.
- TRY (1991) Testreferenzjahre – Meteorologische Grundlagen für technische Simulation von heiz- und raumlufttechnischen Anlagen. BINE-Informationsdienst, Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.), Bonn
- Wienold, J. et al. (1998) Stationary Virtual Reality (SVR) – A New Method for Predicting User Acceptance of Daylighting Systems. In Proceedings CIE Symposium Lighting Quality, 9-10 May, Ottawa, Canada

Innenraumbeleuchtung mit Hohllichtleitern

Alexander Rosemann, Nikola Kiwull, Sven-Holger Kloss, Thomas Müller,
Heinrich Kaase

1. Hohllichtleiter

Hohllichtleiter sind röhrenförmige Leuchten, die das in sie eingespeiste Licht effektiv weiterleiten bzw. über ihre Länge auskoppeln können. Im Laufe der Entwicklungsgeschichte der hohlen Lichtleiter sind mehrere Mechanismen entwickelt worden, die die Lichtleitung ermöglichen. Bahnbrechende Fortschritte waren immer auf Verbesserungen der Materialeigenschaften zurückzuführen. Die ursprüngliche Idee, die im letzten Jahrhundert zu den ersten Hohllichtleitern geführt hat, bestand darin, Lichtquelle und leuchtende Fläche voneinander zu trennen, um so z.B. eine Pulverfabrik sicher beleuchten zu können /2/.

Zu den wesentlichen Materialien, die die effiziente Lichtleitung erlauben, zählen hochreflektierende metallische Oberflächen und die sog. prismatische Folie, die das Licht sehr effizient weiterleiten können. Das Licht wird in eine prismatische Folie hineingebrochen und beim Übergang vom optisch dichteren zum optisch dünneren Medium total reflektiert, wenn die für dieses Phänomen notwendige Winkelbedingung eingehalten wird /1/.

Hohllichtleiter werden meist an einer Seite von einer Reflektorleuchte gespeist. Entlang des Rohres wird das weitergeleitete Licht definiert ausgekoppelt und dient so zur Raumbelichtung. Das Auskoppeln erfolgt z.B. durch eingebrachte Spalte (Spaltlichtleiter) oder durch Extraktorfolien, die das auftreffende Licht diffus reflektieren, so daß die Winkelbedingung für die Totalreflexion verletzt wird. Viele Systeme schließen mit einem Endspiegel ab, der das nicht ausgekoppelte Licht zurück in den Hohllichtleiter reflektiert. Durch die besonderen Eigenschaften der Hohllichtleiter können wenige lichtstarke Quellen eingesetzt werden, um einen Raum zu beleuchten. Dieses bringt u.a. im Hinblick auf Anlagenwartung Vorteile mit sich, da sich die Leuchtmittel nur an wenigen Punkten befinden. Hohllichtleiter ermöglichen es weiterhin, direktes Tageslicht in größere Gebäudetiefen zu leiten /5/.

2. Lichttechnische Eigenschaften von Hohllichtleitern

Durch die Tatsache, daß die leuchtende Fläche von hohlen Lichtleitern i.A. sehr groß ist, lassen sich diese Leuchten nicht mit dem klassischen Verfahren, das auf dem photometrischen Entfernungsgesetz beruht, vermessen. Der erforderliche große Meßabstand ist nicht praktikabel. Aus diesem Grund wird an der TU Berlin ein Goniophotometer eingesetzt, das die Lichtstärkeverteilung eines Hohl-

Dipl.-Ing. Alexander Rosemann, cand. ing. Nikola Kiwull,
Dipl.-Ing. Sven-Holger Kloss, Dipl.-Ing. Thomas Müller, Prof. Dr. rer.nat. Heinrich Kaase
TU Berlin, Institut für Elektronik und Lichttechnik, Sekr. E6
Einsteinufer 19,
D-10587 Berlin

lichtleiters im Nahfeld mißt, /7/. Der Hohllichtleiter wird nicht als eine Punktlichtquelle angesehen, sondern in mehrere Segmente unterteilt, die einzeln vermessen werden müssen.

Versuche haben gezeigt, daß die Lichtstärkeverteilung eines Hohllichtleiters sich auf seiner Länge durchaus wesentlich ändern kann /6/.

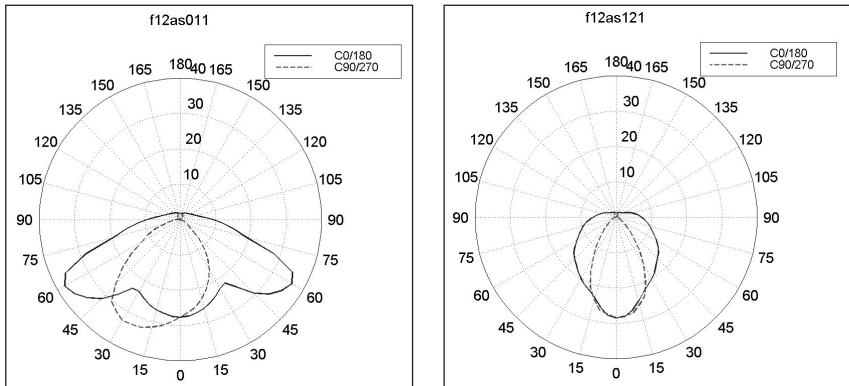


Abb. 1: Vergleich der Lichtstärkeverteilungskurven am Anfang (links) und Ende (rechts) eines Hohllichtleiters



Abb. 2: Hohllichtleiterinstallation in einem Testraum

Exemplarisch sind die Lichtstärkeverteilungskurven des ersten und letzten Segmentes eines Hohllichtleiters dargestellt (Abb. 1). Am Anfang der Leuchte ist eine Batwing-Verteilung zu erkennen, während sich die Leuchte am Ende eher tiefstrahlend verhält. In der C90/270-Ebene sieht man zudem, daß das Licht nur anfangs deutlich vorwärts gerichtet ausgekoppelt wird.

3. Einbindung in Beleuchtungsplanungsprogramme

In einem fensterlosen Testraum am Fachgebiet Lichttechnik der TU Berlin (Grundfläche: 5,5 * 8,1 m², Höhe: 2,8 m) ist eine Hohllichtleiterbeleuchtungsanlage installiert worden (Abb. 2). Dabei handelt es sich um ein System mit einem Durchmesser von 250 mm und einer Länge von etwa 5 m, gespeist von einer Schwefellampe (elektrische Leistungsaufnahme 1.4 kW). Abgeschlossen wird es mit einem Endspiegel, der das nicht ausgekoppelte Licht zurück in den Hohllichtleiter wirft.

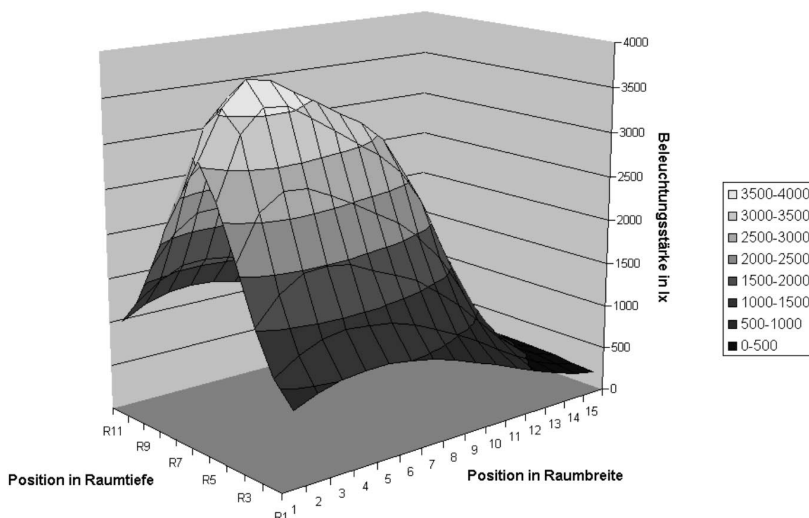


Abb. 3: Gemessene Beleuchtungsstärke auf der Nutzenebene

Auf der Nutzenebene wird die Beleuchtungsstärkeverteilung gemessen, um sie anschließend mit den Ergebnissen der Beleuchtungsplanungsprogramme vergleichen zu können. Die Meßpunkte haben in beiden Richtungen einen Abstand von 0,5 m. Bei der Installation wird kein Wert auf die beleuchtungstechnischen Güteigenschaften wie z.B. Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärkeverteilung gelegt, da lediglich der Vergleich aus gemessenen und errechneten Werten im Vordergrund steht.

Die Meßergebnisse sind in Abb. 3 dargestellt. Auf der Nutzenebene wurde eine mittlere Beleuchtungsstärke von 1572 lx ermittelt. Die Meßergebnisse werden mit den Ergebnissen zweier Beleuchtungsplanungsprogramme verglichen. Die-

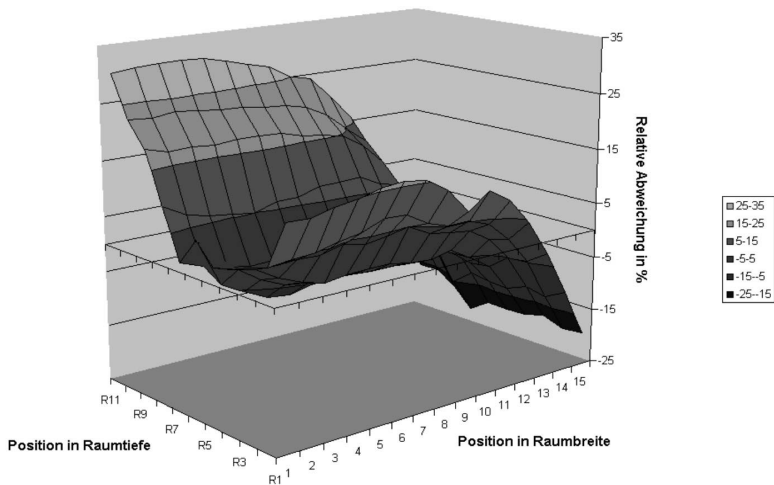


Abb. 4: Relative Abweichung der berechneten Werte von den gemessenen Programm 1

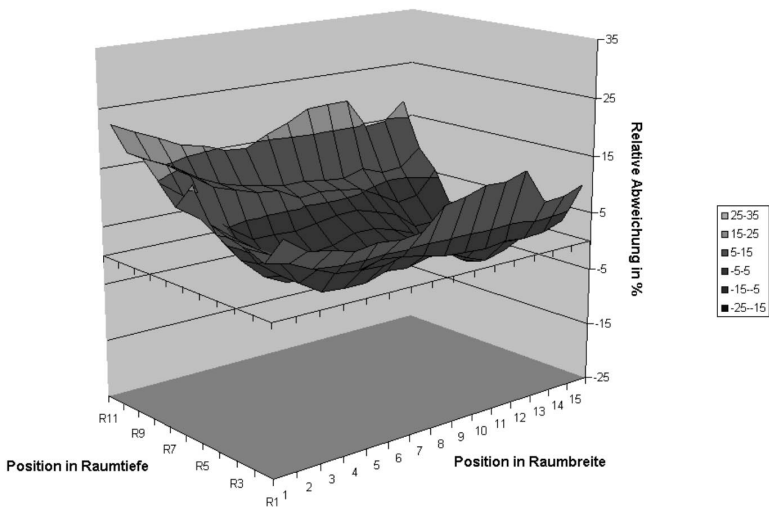


Abb. 5: Relative Abweichung der berechneten Werte von den gemessenen Programm 2

se Programme werden im folgenden mit Programm 1 und Programm 2 bezeichnet. Beide Programme führen ihre Berechnungen auf der Basis des Flächen-Interflexionsalgorithmus (Radiosity) durch.

Der Vergleich der Meß- und der Simulationsergebnisse über die relativen Fehler (dargestellt in Abb. 4 und Abb. 5) zeigt, daß diese nicht zu stark voneinander abweichen. So ist die errechnete mittlere Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene

um 9,8 % (Programm 1) bzw. 6,3 % (Programm 2) höher als die gemessene. Einzelwerte weichen um bis zu 31 % (Programm 1) und 22 % (Programm 2) von den jeweiligen Meßwerten ab. Dabei sind die höchsten Abweichungen in der Nähe der Wände festzustellen.

Werden die Werte in der Nähe der Wände nicht berücksichtigt, so sind die Abweichungen in den Einzelwerten deutlich geringer (17 % bei Programm 1 und 14 % bei Programm 2). Sehr viel kleiner werden die Fehler auf einer Fläche direkt unter dem Hohllichtleiter (6,5 * 1,5 m²). Die mittleren Fehler bleiben in beiden Fällen unter 4 %. Maximale Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Beleuchtungsstärken liegen bei 8 % (Programm 1) und 16 % (Programm 2).

Für den hier vorliegenden Fall ist der Vergleich der mittleren Beleuchtungsstärken nicht sehr aussagekräftig, da die Beleuchtungsstärkeverteilung ungleichmäßig ist /4/. Aus diesem Grund wird der quadratische Mittelwert der Differenzen herangezogen:

$$MW_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_{\text{gemessen},i} - E_{\text{berechnet},i})^2} \quad (1)$$

Die berechneten Mittelwerte sind in Tab. 1 angegeben. Dabei sind dieselben Bereiche untersucht worden wie auch schon bei der Betrachtung der einfachen Mittelwerte. Die Werte in den Klammern entsprechen den relativen Werten bezogen auf die mittlere Beleuchtungsstärke der entsprechenden Fläche:

$$MW_{\text{rel}} = \frac{MW_q}{\bar{E}_{\text{gemessen}}} \cdot 100\% \quad (2)$$

	Programm 1	Programm 2
ganzer Raum	162 lx (10,3 %)	124 lx (7,9 %)
Bereich ohne Ränder	151 lx (9,6 %)	85 lx (5,4 %)
Bereich unter der Leuchte	128 lx (4,7 %)	141 lx (5,2 %)

Tab. 1 Quadratische Mittelwerte der Beleuchtungsstärkendifferenzen

Die Einbindung von Hohllichtleitern in Beleuchtungsplanungsprogramme gestaltet sich i.A. recht aufwendig, da aufgrund des Meßverfahrens und der lichttechnischen Charakteristik von Lichtrohren die Leuchte in mehrere Segmente unterteilt werden muß. Jedes Segment wird im Planungsprogramm als eigene Leuchte behandelt. Die Zahl möglicher Fehlerquellen steigt dadurch, denn die genaue Position eines jeden Segmentes muß richtig einbezogen werden.

Wegen dieser besonderen Probleme sollte ein Datenformat für Hohllichtleiter entwickelt werden, welches eine in mehrere Segmente unterteilte Leuchte beschreiben kann. Das Datenformat EULUMDAT hat sich in Europa als Standard etabliert und sollte die Grundlage für ein hier gefordertes, erweitertes Datenformat bilden /8/. Derzeit ist es mit dem gängigen EULUMDAT-Format möglich,

eine Leuchte durch ihre Geometrie (Abmessungen der Leuchte und der leuchtenden Flächen), der Lampenbestückung (Zahl, Art und lichttechnische Merkmale der eingesetzten Lampen) sowie einer Lichtstärkeverteilungskurve zu beschreiben. Eine wünschenswerte Erweiterung zu diesem Format wäre es, eine Leuchte durch mehrere Lichtstärkeverteilungskurven zu beschreiben, die sich jeweils auf ein Segment der Leuchte beziehen. Dabei sollte Abwärtskompatibilität gewährleistet werden.

Planungsprogramme müßten dadurch nur minimal geändert werden, denn aus dem erweiterten Format müßten mehrere Lichtstärkeverteilungskurven herausgelesen und anschließend als einzelne Leuchten in das Programm eingebunden werden. Das übersichtliche Datenformat EULUMDAT sollte erhalten bleiben, damit die Daten weiterhin leicht lesbar sind.

4. Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß die an Hohllichtleitern gemessenen Lichtstärkeverteilungen zur Planung genutzt werden können. Die Abweichungen der Berechnungsergebnisse der Planungsprogramme von den an einer Demonstrationsanlage gemessenen Beleuchtungsstärkeverteilungen im zentralen Bereich des Musterraumes sind mit 5 bis 10 % durchaus akzeptabel. In der Nähe der Wände sind die Berechnungsergebnisse allerdings nicht verläßlich. Hier wurden Abweichungen bis über 30 % zwischen gemessenen und berechneten Werten festgestellt.

Hinsichtlich der Einbindung der Leuchtendaten in Beleuchtungsplanungsprogramme können noch Verbesserungen vorgenommen werden, um dem Planer die Arbeit zu erleichtern. Sinnvoll wäre eine Erweiterung des etablierten Datenformats EULUMDAT, um eine Leuchte mit mehreren Lichtstärkeverteilungskurven abschnittsweise zu beschreiben, so daß der Aufwand bei der Leuchteneinbindung gering gehalten werden kann.

Literatur

- /1/ Aizenberg, J. B., Korobko, A. A.; Hollow Lightguides Based on Prismatic Total-Internal Reflection Film (A Review); Light & Engineering Vol. 2, No. 4, pp. 4-8, 1994
- /2/ CIE TC 3-30; Hollow Light Guide Applications; CIE TC 3-30, 1995
- /3/ Hesse, J.; Vergleich der Berechnungsergebnisse verschiedener Beleuchtungsplanungsprogramme mit den tatsächlich gemessenen Werten in Versuchsräumen; Studienarbeit am FG Lichttechnik, TU Berlin, 1995
- /4/ Hesse, J., Müller, T., Neyen, A., Stolzenberg, K.; Beleuchtungsplanungsprogramme - Ein Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den in Versuchsräumen gemessenen Werten;
- /5/ Kaase, H., Kloss, S.-H., Müller, T., Rosemann, A., Serick, F.; Arthelio - Ein Großforschungsprojekt der Technischen Universität Berlin; Licht 3/2000
- /6/ Kloss, S.-H., Kaase, H., Müller, T., Rosemann, A.; Goniophotometrie an Hohllichtleitern; Tagungsband OTTI - Sechstes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Kloster Banz, 2000
- /7/ Kloss, S.-H., Müller, T., Rosemann, A., Kaase, H.; Photometrische Messungen an Hohllichtleitern; Tagungsband Workshop „Tageslichtnutzung in Gebäuden“, Berlin, 1999
- /8/ Stockmar, A.; Eulumat - Ein Leuchten-Datenformat für den europäischen Beleuchtungsplaner; Licht 90, Tagungsband der 9. Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen Gesellschaften in Saarbrücken

Gesamtheitliche Bewertung der Qualität von tageslichtabhängigen Beleuchtungsanlagen

Velds, Martine und Knoop, Thomas

Einleitung

Tageslichtabhängige Beleuchtungsanlagen haben in den letzten zehn Jahren durch das wachsende Energiebewußtsein kontinuierlich an Bedeutung gewonnen. Durch den derzeitigen Verfall der Strompreise wird der wirtschaftliche Einsatz der am Markt befindlichen Produkte jedoch immer häufiger in Frage gestellt, Investoren verlangen nach eine auf ihr Projekt maßgeschneiderte Amortisationsrechnung.

Weiterhin haben die Erfahrungen in der Praxis gezeigt, daß noch bevor Energie gespart werden kann, eine erfolgreiche Planung, Installation und Inbetriebnahme erfolgen muß. Fehler in diesen drei Bereichen können zu mehr Frustration führen, als einige Prozentpunkte weniger eingesparte Energie im Vergleich zur Vorhersage.

Auf der anderen Seite erhöht sich das Bewußtsein auf den Wert qualifizierter Mitarbeiter und deren Effizienz. In Zeiten, in denen Stellen in einigen Bereichen aus Personalmangel nicht besetzt werden können, ist eine Steigerung der Arbeitseffektivität und Zufriedenheit, z.B. durch eine auf den Bedarf abgestimmte Lichtsteuerung, von hohem Wert für die Betriebe.

Daher soll diese Veröffentlichung eine Checkliste geben, welche Aspekte bei der Planung, Installation, Inbetriebnahme und Nutzung einer tageslichtabhängigen Beleuchtungsanlage berücksichtigt werden sollten, um die Ansprüche der verschiedenen Seiten Investor, Architekt, Installateur, Berufsgenossenschaften und Nutzer befriedigen zu können. Bei den Aspekten, die nur durch einen Versuchsaufbau überprüfbar sind, werden die Bewertungsprozeduren vorgestellt.

Diese Checkliste hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit, zeigt jedoch einige wesentliche Punkte, die aus der Erfahrung der Autoren zu berücksichtigen sind.

1. Planung

Wird in einem Projekt das Thema tageslichtabhängige Beleuchtung aufgebracht, stellt sich meist zunächst die Frage nach den Mehrkosten bzw. der Amortisati-

Dr. Martine Velds
Martine Velds Consulting
Helmstr. 9
D-10827 Berlin

Dr. Thomas Knoop
Licht Vision GmbH
Welser Str. 10–12
D-10777 Berlin

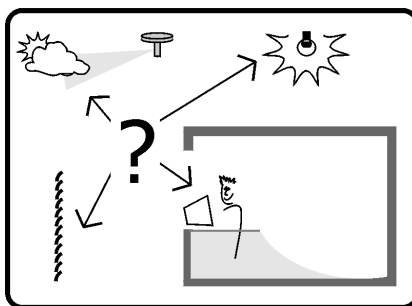
onszeit der Mehrkosten. Diese Frage führt zwangsläufig zu dem Bedarf einer Vorhersage, wieviel elektrische Energie eingespart werden kann.

Derzeit sind zwei kostenlose Softwarepakete verfügbar, mit denen diese Einsparung auf einfache Weise berechnet werden kann. Zum einen Luxmate Energy von der Firma Luxmate Controls zur Berechnung einer mittleren Einsparung in Räumen mit Seitenfenstern oder Oberlichtern. Diese Software ist zur Abschätzung geeignet, ob sich eine weitere Planung lohnt.

Zum anderen gibt es die Software WiDay der Firma WILA, mit der eine detaillierte Amortisationsrechnung und eine ortsabhängige Berechnung der Einsparung für seitenbelichtete Räume möglich ist. Diese Software ist dazu geeignet, die Einteilung der Leuchtengruppen und die Platzierung der Leuchten auf das Tageslichtangebot hin zu optimieren.

Weiterhin sind für die Planung folgende Fragen zu klären:

- Bietet sich eine Steuerung oder eine Regelung der künstlichen Beleuchtung an /1/?
- Passen Betriebsmittel und Lichtsteuerung zusammen (DALI, 1..10V, DSI)?
- Eignet sich das eingesetzte Leuchtmittel zum dimmen?
- In welchen Räumen ist eine tageslichtabhängige Steuerung wirtschaftlich oder gewünscht?
- Können die benötigten Sensoren in Einklang mit den gestalterischen Anforderungen gebracht werden?
- Ist die Steuerung/Regelungen kompatibel zu den weiteren Anforderungen an die Lichtsteuerung (z.B. Anbindung an die Gebäudeautomatisierung)?
- Funktioniert das Produkt zusammen mit dem installierten Sonnen- oder Blendschutz bzw. Tageslichtsystem?

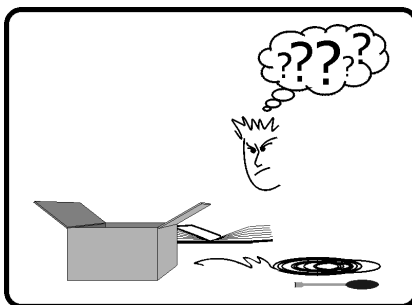


2. Installation

Der wesentliche Punkt bei der Installation einer tageslichtabhängigen Beleuchtung ist die Positionierung des Sensors. Abhängig von der Strategie Steuerung oder Regelung sind verschiedene Faktoren wie Erfassungsbereich, Dynamik und mechanische Befestigung zu beachten.

Folgende Aspekte sind bei der Installation zu klären:

- Gibt es Montagehinweise bezüglich des Sensors (z.B. Orientierung)?
- Gibt einen eindeutigen Anschlußplan des Herstellers?
- Gibt es Vorgaben bezüglich des Kabeltyps oder der max. Kabellängen?



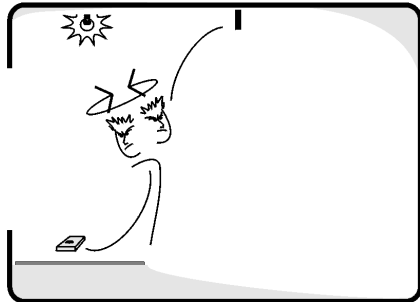
3. Inbetriebnahme

Abhängig vom eingesetzten Produkt gestaltet sich die Inbetriebnahme mehr oder wenig aufwendig. Doch ist dieses meist nicht das entscheidende Kriterium für den wunschgemäßen Betrieb: Häufig fehlt eine klare Aufgabenkoordination im Bezug auf die Inbetriebnahme, so daß die tageslichtabhängige Beleuchtung häufig bis zur ersten Beschwerde der Nutzer nicht justiert wird.

Daher sollte in jedem Projekt frühzeitig geklärt werden, wer die Inbetriebnahme übernimmt oder ob es eine funktionierende Standardeinstellung gibt, da ansonsten der Nutzer schnell negativ von dem Produkt eingenommen sein kann.

Folgende Fragen stellen sich bei der Inbetriebnahme:

- Wer übernimmt die Inbetriebnahme?
- Bedarf es bestimmter Vorrichtungen für die Inbetriebnahme (z.B. Leiter, Beleuchtungsstärkemesser)?
- Wie viele Personen werden für die Inbetriebnahme benötigt (z.B. 1 Person zum Ablesen eines Werte und eine Person zum Ändern der Einstellungen)?
- An welchen Punkten soll die gewünschte Beleuchtungsstärke eingehalten werden?



4. Prüfung

Bei einer tageslichtabhängigen Beleuchtungsanlage gibt es neben den durch einen einfachen Funktionstest zu prüfenden Eigenschaften (z.B. Meßwert des Lichtsensors, manuelles Schalten und Dimmen, Aufruf von Lichtszenen, usw.) zwei Punkte, die zu Nachfragen führen können.

Zum einen gilt auch für tageslichtabhängige Beleuchtungsanlagen die DIN 5035, nach der bestimmte Nennbeleuchtungsstärken eingehalten werden müssen, so daß Berufsgenossenschaften oder andere Institutionen eine solche Anlage überprüfen können. Aufgrund des Wunsches nach Vergleichbarkeit verschiedener Messungen und Produkte hat es sich nicht als sinnvoll erwiesen, eine Vielzahl von Diagrammen, die die Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit von der Zeit zeigen, aufzunehmen. Vielmehr sollten die Unterschreitungen der geforderten Beleuchtungsstärken über die Zeit summiert werden (/2/ und Abbildung 1), so daß sich ein zu vergleichender Zahlenwert ergibt.

$$\text{Unterschreitungen} = \frac{\text{Summe der fehlenden Beleuchtungsstärken}}{\text{Summe der geforderten Beleuchtungsstärken}} \cdot 100\%$$

Wird eine Beleuchtungsstärke von 500 lx in einem Zeitintervall um 50lx unterschritten (450 lx), so ergibt sich für dieses Zeitintervall eine Unterschreitung (oder wissenschaftlich: relative Fehlbelichtung) von 10%. Diese Messung kann an verschiedenen Positionen und zu verschiedenen Zeiten wiederholt werden, um

eine erhöhte Aussagekraft zu erhalten. Sinnvollerweise sollte eine Messung von Sonnenaufgang bis zu Sonnenuntergang andauern. Ideal ist eine Wiederholung bei verschiedenen Himmelszuständen (bedeckt, bewölkt, klar). Das Meßintervall hängt ab von dem Meßsystem, sollte aber maximal einige Minuten betragen.

Bei der Messung der Unterschreitungen sollte berücksichtigt werden, daß dieser Wert in den seltensten Fällen 0% betragen wird, da die Produkte zum Teil bewußt eine Hysterese (z.B. Mindestzeit, die die Leuchten eingeschaltet bleiben) eingebaut haben, um ein ständiges Ein- und Ausschalten zu verhindern. Die zu tolerierende Unterschreitung hängt vom Ermessen des Prüfenden ab, da es noch keine entsprechenden Richtwerte gibt. Die Summe der Unterschreitungen können in einer Abbildung dargestellt werden, die zeigt, wie häufig um einen bestimmten Wert unterschritten wurde (Abb.1).

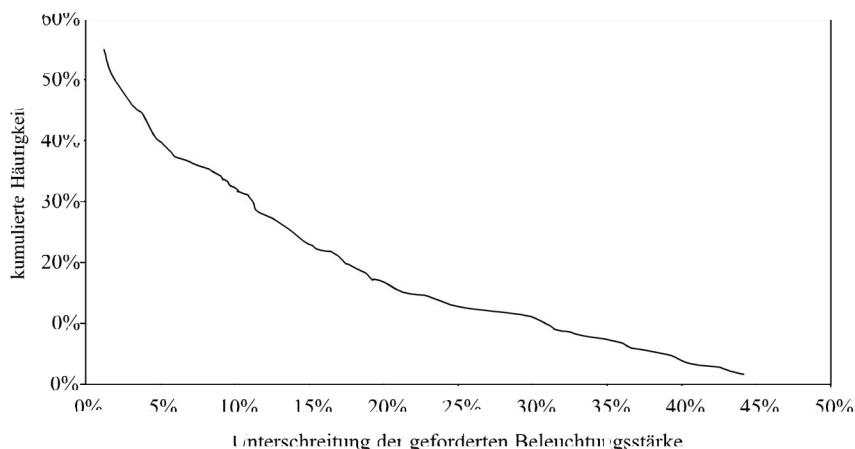


Abb. 1: Kumulierte Häufigkeit der unterschrittenen Beleuchtungsstärken

Die zweite Nachfrage kann dann aufkommen, wenn die vorausgesagten Einsparungen an elektrischer Energie nicht eintreten. Um zu prüfen, ob diese Tatsache am Lichtsteuersystem oder einer anderen Tatsache wie Benutzereingriff oder geringes Tageslichtangebot liegt, sollte die Anlage vermessen werden.

Folgender Versuchsaufbau ist dabei zweckmäßig: Bei Nacht wird an einem Punkt die Beleuchtungsstärke bei den verschiedenen Dimmzuständen gemessen. Parallel wird der aktuelle Dimmstatus mit erfaßt (z.B. zwischen 0% und 100%). Ein Beispiel einer solchen Messung zeigt Abb. 2a. Sofern man Vorschaltgeräte mit einer Spannungsschnittstelle (z.B. 1V bis 10V) verwendet, kann man sich den Zusammenhang zwischen Steuerspannung und Leistung zunutze machen (Abb. 2b zeigt den Zusammenhang exemplarisch für eine 58W-Leuchtstofflampe)

Dadurch ist man in der Lage, durch die Erfassung des Dimmzustand die jeweilige Beleuchtungsstärke durch die künstliche Beleuchtung vorherzusagen. Wird

diese Messung bei Tageslicht wiederholt, ergibt sich eine Differenz zwischen gemessener Beleuchtungsstärke und der vorhergesagten Beleuchtungsstärke durch Kunstlicht. Diese Differenz muß durch das Tageslichtes hervorgerufen werden.

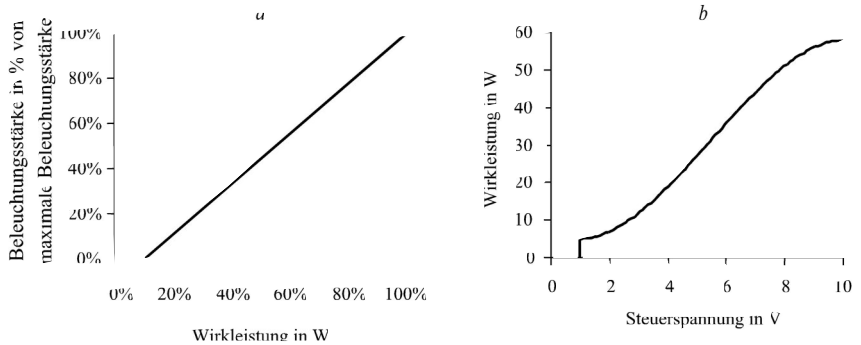


Abb. 2: Messung der Beleuchtungsstärke bei den verschiedenen Dimmzuständen (nur Kunstlicht)

Es gibt zwei Situationen, die zu einem höheren elektrischen Energieverbrauch als nötig führen. Zum einen kann die Beleuchtung eingeschaltet sein, obwohl kein Kunstlicht erforderlich ist (Abb. 3), zum anderen kann die Beleuchtungsanlage mehr Kunstlicht liefern als zum Ausgleich des fehlenden Tageslicht nötig (Abb. 4).

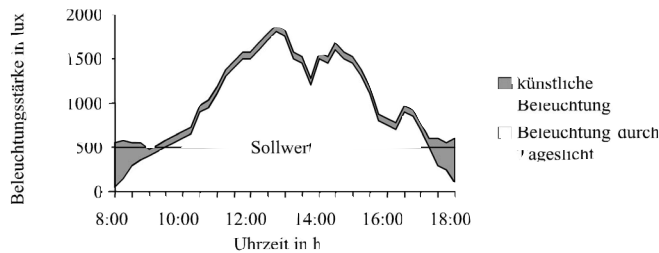


Abb. 3: Das Kunstlicht schaltet nicht aus, obwohl genug Tageslicht vorhanden ist.

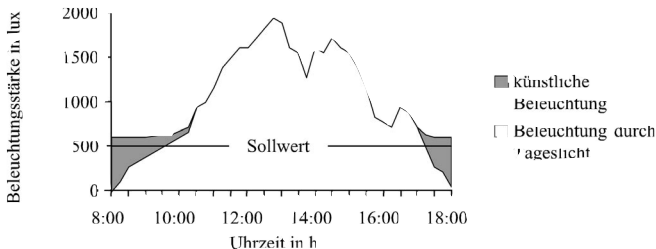


Abb. 4: Das Kunstlicht ist höher gedimmt als nötig.

Bei der Bestimmung der Effektivität (wissenschaftlich: Systempotential) einer tagelichtabhängigen Steuerung muß daher zwischen diesen beiden Fällen unterschieden werden (Abb.5).

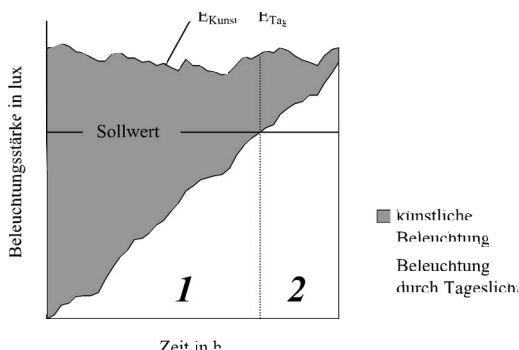


Abb. 5: Fallunterscheidung

Mathematisch kann die Beleuchtungsstärke E_{EXTRA} , um die der Sollwert E_{Soll} überschritten wird, wie folgt bestimmt werden:

$$\text{Fall 1: } E_{EXTRA} = E_{Kunst} - (E_{Soll} - E_{Tag}) \quad \text{für } E_{Tag} < E_{Soll}$$

$$\text{Fall 2: } E_{EXTRA} = E_{Kunst} \quad \text{für } E_{Tag} \geq E_{Soll}$$

Die Effektivität, bzw. das Systempotential, wird durch folgenden Zusammenhang bestimmt:

$$\text{Effektivität} = \left[1 - \frac{E_{EXTRA}}{E_{Soll}} \right] \cdot 100 \%$$

Wird eine Beleuchtungsstärke von 500 lx in einem Zeitintervall um 50 lx überschritten, so ergibt sich für dieses Zeitintervall eine Effektivität von 90%. Diese Messung kann an verschiedenen Positionen und zu verschiedenen Zeiten wiederholt werden, um eine erhöhte Aussagekraft zu erhalten. Dieser Zusammenhang gilt für ein Zeitintervall, das in der Praxis nicht größer als einige Minuten sein sollte. Es gilt wie für die Unterschreitungen, daß sinnvollerweise von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang gemessen werden sollte. Die Werte der einzelnen Zeitintervalle werden für die Auswertung gemittelt. Auch hier sind Wiederholungen bei unterschiedlichen Himmelszuständen ideal.

Erst Effektivitäten kleiner als 70%-75% sind ein Grund zu Nachjustierung, da die meisten Produkte über eingebaute Trägheiten oder Hysteresen verfügen, um die Nutzerakzeptanz zu erhöhen. Sollte die Effektivität, die auch bei der Planung – vergleichbar mit einem Wirkungsgrad einer Leuchte – berücksichtigt werden sollte, nicht unter der angegebenen Grenze liegen, können andere Gründe für die geringere Energieeinsparung verantwortlich sein (z.B. Nutzereingriff, Jalousien, geringes Tageslichtangebot).

Folgende Aspekte sollten bei der Prüfung berücksichtigt werden:

- Wird die geforderte Beleuchtungsstärke eingehalten?
- Erfüllt die Beleuchtungsanlage die Anforderungen der DIN 5035 hinsichtlich der Beleuchtungsstärke?
- Ist das Dimmverhalten nachvollziehbar?
- Ändert sich das Dimmniveau bei wechselndem Tageslicht?
- Wird die vorhergesagte Energie eingespart?

5. Nutzung

Der wichtigste Faktor für eine erfolgreich arbeitende Lichtsteuerung ist der Nutzer. Er bestimmt, ob das Hauptziel, die Energieeinsparung, erreicht wird. Sobald der Nutzer nicht zufrieden ist, fühlt er sich gestört und reagiert auf verschiedene Arten, abhängig davon, welche Eingriffsmöglichkeiten ihm das System liefert. Der Eingriff kann von einem Ausschalten der Automatik bis zur Zerstörung des Sensors führen. In jedem Fall aber wird der gewünschte Effekt nicht erreicht, ganz im Gegenteil, die Nutzer des Systems können zu unzufriedenen und uneffektiven Mitarbeitern werden.

Da die Räume, in denen tageslichtabhängige Steuerungen installiert sind, mit Tageslicht beleuchtet werden, ändern sich die Beleuchtungsbedingungen ständig. Um herauszufinden, unter welchen Bedingungen Störungen auftreten, müssen zum Beispiel das Dimmniveau der künstliche Beleuchtung, die Beleuchtungsstärke auf dem Arbeitstisch und die Position der Verdunklung registriert werden.

Folgender Versuchsaufbau hat sich als zweckmäßig erwiesen, um möglichen Beschwerden und Klagen auf den Grund zu gehen oder im Vorfeld das Produkt auf seine Nutzerakzeptanz zu prüfen /3/: Der Nutzer sitzt in seiner gewohnten Arbeitsumgebung an seinem Arbeitsplatz. Damit er nicht durch Messgeräte gestört wird, werden diese vorzugsweise in einem speziellen, möglichst identischen Raum untergebracht (siehe Abb. 6). Die Messwerte (Beleuchtungsstärken, Dimm- und Verdunklungszustände) sollten regelmäßig auf einem Datenrechner gespeichert werden. Ein Fragebogen kann verwendet werden, um die Nutzerakzeptanz zu ermitteln. Der Nutzer sollte in diesem Fragebogen die Zeit der Beurteilung angeben, damit die beurteilten Bedingungen hinterher mit dieser Beurteilung verknüpft werden können.



Abb. 6: Versuchsaufbau einer Nutzerakzeptanzstudie

Da der Nutzer zum Teil nicht zwischen der Steuerung von Kunstlicht und Tageslicht unterscheidet, sollte, wenn möglich, auch der Sonnen- oder Blendschutz mit untersucht werden. Die „Lichtsteuerung“ kann für das unbefriedigende Verhalten verantwortlich gemacht werden, obwohl der Grund für die Unzufriedenheit im Sonne- oder Blendschutz liegen kann.

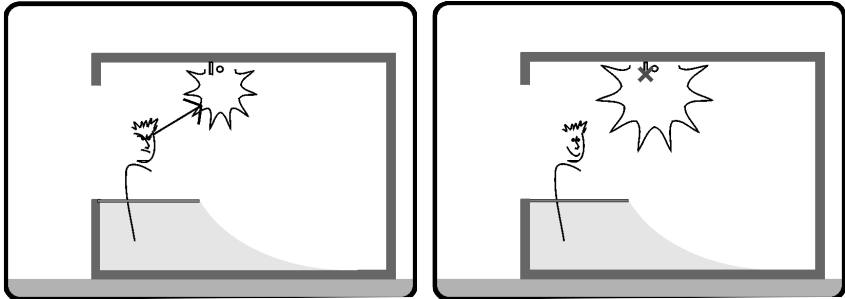


Bild 4a und Bild 4b

Folgende Fragen hinsichtlich der Nutzung sollten berücksichtigt werden:

- Kann der Nutzer die tageslichtabhängige Steuerung überstimmen?
- Wird bei einem manuellen Eingriff der eingestellte Sollwert überschrieben?
- Stören Schalt- oder Dimmgeräusche?
- Kommt es zu sprunghaften Änderungen der Beleuchtungsanlage?
- Gibt es definierte Ein- und- Ausschaltzeiten, damit das System nicht ständig ein- und ausschaltet?

Literaturhinweise

- /1/ Knoop, T., „Tageslichtabhängige Beleuchtungssysteme“, Tagungsband 5. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, S. 79-84, OTTI Technologie Kolleg, Staffelstein, 1999
- /2/ Knoop, T., Tageslichtabhängige Beleuchtungssysteme, Dissertation, Technische Universität Berlin, 1998
- /3/ Velds, M., Assessment of lighting quality in office rooms with daylighting systems, Dissertation, Technische Universität Delft, die Niederlande, 2000

Bewertung von Sonnenschutzeinrichtungen

Cornelia Vandahl

1. Einleitung und Themenstellung

Der Wunsch, im Arbeitsraum eine Sichtverbindung nach außen zu schaffen und diesen gleichzeitig mit Tageslicht ausreichend zu beleuchten, hat vielerlei Ursachen. Zum einen sind dies wichtige Voraussetzungen für das Wohlbefinden, zum anderen ergeben sich daraus Einsparungen in der Energie für Beleuchtung und Heizung. Ziel ist es deshalb immer, so viel wie möglich Tageslicht in den Innenraum zu bringen. Das kann jedoch negative Effekte, wie direkte Blendung durch die Sonne, Reflexe von Fenster- oder Wandleuchtdichten auf Bildschirmen und Aufheizung des Raumes zur Folge haben. Aus den genannten Gründen ergibt sich die Notwendigkeit von Lichtschutzeinrichtungen. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens der BAUA wurden vergleichende Untersuchungen an „klassischen“ Lichtschutzeinrichtungen durchgeführt. Dazu gehören Lichtschutzfolien, senkrechte und waagerechte Lamellen und Rollos, deren primäres Ziel nicht in der Lenkung von Tageslicht liegt.

2. Allgemeines zur Durchführung

In mehreren Versuchsreihen wurden Lichtschutzeinrichtungen hinsichtlich ihrer Wirkung und Anwendbarkeit charakterisiert. Hierzu wurden zunächst Untersuchungen zu den Sehbedingungen gemacht, die zu gewährleisten sind. Das betrifft vor allem die Leuchtdichten, die zu Direktblendung und Reflexblendung am Bildschirm führen können. Für verschiedene Bildschirmklassen wurden daher Grenzleuchtdichten ermittelt. In realen Büroräumen und in einem Feldversuch wurden Messungen und Befragungen zu horizontalen, vertikalen und zylindrischen Beleuchtungsstärken durchgeführt. Betrachtet wurde dabei das Zusammenwirken von Tageslicht und künstlicher Beleuchtung. Die Befragungen von Versuchspersonen erfolgten mit Fragebögen (Beispielskala in Abb. 1). Bestand eine ausreichend gute Korrelation zwischen den Wertungen und den lichttechnischen Meßwerten, dann konnten anhand von Regressionen Rückschlüsse auf günstige Werte für Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten gezogen werden. Dabei wurde die Wertung 3,5 als Mittelpunkt der Gegensatzskala (das heißt als Beginn der positiven Bewertung) in die lichttechnische Größe umgerechnet. Bei den ermittelten Werten handelt es sich demzufolge um Minimal- bzw. Maximalwerte. Für Blendwerte nach der SÖLLNER-Skala wurde ein Wert von 1,5 (Güteklasse 1) als Grenzwert verwendet.

Gegensatzskala:		
dunkel	oooooooooooooooooooooooooooo	hell
	0 1 2 3 4 5 6 7	
SÖLLNER-Skala:		
0	o	keine Blendung
1	o	
2	o	Blendung merkbar
3	o	
4	o	Blendung störend
5	o	
6	o	Blendung unerträglich

Abb. 1: Beispielfrage und Zuordnung von Zahlenwerten

3. Untersuchungen mit natürlichem Tageslicht im Büroraum

In einem realen, tageslichtbelegten Raum mit Laborcharakter sollten Befragungen mit Versuchspersonen zu folgenden Parametern durchgeführt werden:

1. Beleuchtungsstärkeverteilung im Raum
2. Einfluß der horizontalen, vertikalen und zylindrischen Beleuchtungsstärken auf die Raumwirkung und Blendung
3. Einfluß des Himmelszustandes

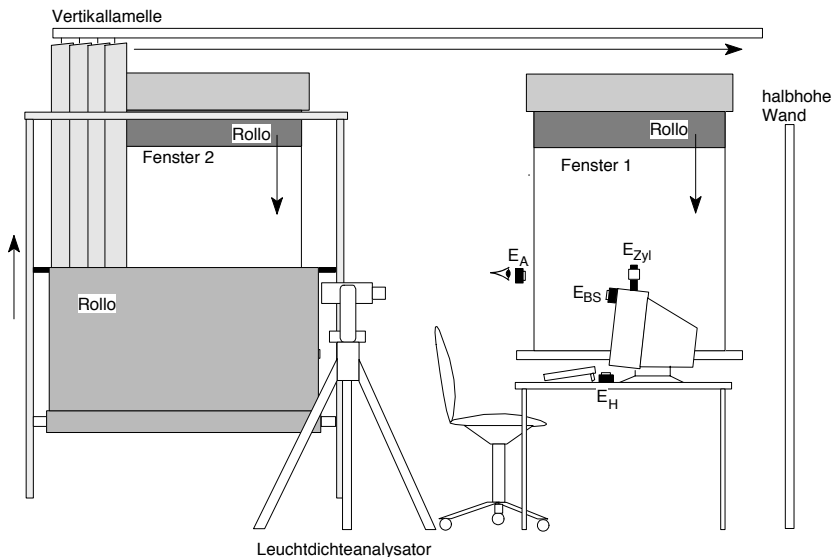


Abb. 2: Versuchsraum

In einem Seminarraum der TU Ilmenau wurden Befragungen an 24 Versuchspersonen und lichttechnische Messungen durchgeführt. Die Fenster des Raumes befanden sich an der Südfassade. Die Untersuchung fand in der Zeit vom 26. August bis 21. September zwischen 9.00 Uhr und 12.00 Uhr statt (Sonnenstand 30°... 50°).

Im Versuchsraum wurde in Fensternähe ein Arbeitsplatz mit sehr gut entspiegeltem Bildschirm eingerichtet (Abb. 2). Die Anordnung des Monitors durfte von der Versuchsperson nicht verändert werden. Sie wurde bewußt so gewählt, daß Spiegelungen des hinteren Fensters im Monitor auftreten konnten.

- Versuch 1: sonnig, klarer Himmel
- Versuch 2: bedeckt
- Versuch 3: bedeckt, mit zusätzlicher künstlicher Beleuchtung, so daß die Gesamtbeleuchtungsstärke zu Versuchsbeginn ca. 750 lx betrug

Eine Beispiel-Regression zwischen Befragungsergebnis und Meßwert zeigt Abb. 3. Die ermittelten günstigen Beleuchtungsstärken sind in Tab. 2 (2. Spalte) zusammengefaßt. Nach Bewertung der vorgegebenen Lichtsituationen hatten die Versuchspersonen den Auftrag, sich den Lichtschutz nach ihren Wünschen einzurichten. Dabei standen vertikale Lamellen und Rollos für beide Fenster zur Verfügung. Da sich das hintere Fenster im Bildschirm spiegeln konnte, wurde für dieses unabhängig von der Lichtsituation fast immer ein Sonnenschutz gewählt (Tab. 1). Das vordere Fenster wurde nur dann verschattet, wenn direktes Sonnenlicht auf den Arbeitsplatz fiel. Bei bedecktem Himmel wurde das Fenster überwiegend offen gelassen.

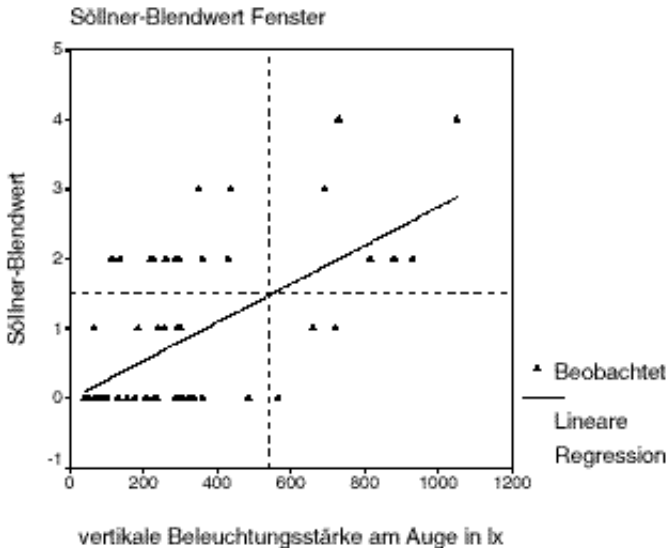


Abb. 3: Regression zwischen vertikaler Beleuchtungsstärke und Blendungsbewertung (alle Versuche)

Situation	hinteres Fenster (Fenster 2)	vorderes Fenster (Fenster 1)
sonnig	100 %	47%
bedeckt	96 %	12 %

Tab. 1: Häufigkeiten der Verschattung der Fenster

Durch die Wahl einer Lichtschutzeinrichtung änderten sich die Beleuchtungsstärken im Raum. Die Mittelwerte über alle Probanden und alle Versuche werden in Abb. 4 gezeigt. Eine deutliche Veränderung der Beleuchtungsstärken ist vor allem im Versuch 1 (sonnig) zu verzeichnen.

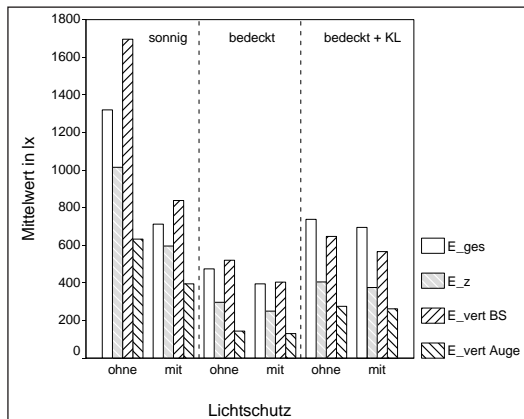


Abb. 4: Änderung der Beleuchtungsstärke durch den gewählten Lichtschutz

In Tab. 2 sind die Ergebnisse aus der Regression und die Ergebnisse aus Abb. 4 gegenübergestellt. Die Beleuchtungsstärken, die sich aus der selbst gewählten Lichtschutz-Einstellung ergeben, stimmen sehr gut mit den Ergebnissen der Regression überein. Für die vertikale Beleuchtungsstärke am Auge ergeben sich in diesem Versuch wesentlich geringere Werte.

Beleuchtungsstärke	Festlegungen aus Regression	Schlußfolgerungen aus Abb. 4
Zylindrische Beleuchtungsstärke E_z	ab 600 lx Blendung	Im Versuch V1 wird E_z auf etwa 600 lx abgesenkt. In V2 und V3 liegt E_z bereits unter 600 lx und wird durch den Lichtschutz b nur gering geändert.
Vertikale Beleuchtungsstärke am Bildschirm $E_{v, BS}$	max. 850 lx	Im Versuch V1 wird $E_{v, BS}$ auf etwa 850 lx abgesenkt. In V2 und V3 liegt $E_{v, BS}$ bereits unter 850 lx und wird durch den Lichtschutz um 100 lx verringert.
Vertikale Beleuchtungsstärke am Auge $E_{v, Auge}$	bei Sonne ab 1200 lx Blendung	Im Versuch V1 wird $E_{v, Auge}$ auf etwa 400 lx abgesenkt.
	ab 350 lx Blendung	In V2 und V3 liegt $E_{v, Auge}$ unter 350 lx und wird durch den Lichtschutz nur minimal verringert.

Tab. 2: Festlegung der Beleuchtungsstärke nach Wahl des Lichtschutzes

4. Untersuchungen am künstlichen Fenster

Werden Untersuchungen mit realem Tageslicht durchgeführt, so ist es nahezu unmöglich, die Umgebungsbedingungen konstant zu halten. Wechselnde Bewölkung und der sich ändernde Sonnenstand führen dazu, daß jede Versuchsperson ihre Bewertung unter anderen Bedingungen abgibt und die Auswertung erschwert wird. Diese Erfahrungen brachten uns dazu, die folgenden Untersuchungen an einem künstlichen Fenster durchzuführen. Die realisierbare maximale Fensterleuchtdichte betrug 17 000 cd/m². Die Folien und Lamellen wurden nacheinander vor dem künstlichen Fenster plaziert. Tab. 3 gibt eine Übersicht über die untersuchten 8 Lichtschutzeinrichtungen. Bei drei Lichtschutzeinrichtungen fand die Befragung zusätzlich mit einer Allgemeinbeleuchtung von 500 lx (KL) statt. Weiterhin wurden Leuchtdichten von 200 cd/m² und 1000 cd/m² in die Untersuchung einbezogen.

Bezeichnung	Lichtschutzeinrichtung	L _{max} (cd/m ²)	L _{min} (cd/m ²)
keine	Fenster	17000	17000
Folie 1	Metallfolie	300	300
Folie 1 + KL	Metallfolie + 500 lx		
Folie 2	Metallfolie	400	400
Folie 3	Metallfolie	1400	1400
Horizontal 1	Lamelle, 50mm weiß	250	100
Horizontal 2	Lamelle, 50mm weiß, perforiert	1500	250
Horizontal 2 + KL	-"- +500 lx		
Horizontal 3	50mm, verspiegelt, teilperforiert	400	100
Vertikal 1	Vertikallamelle	400	200
Vertikal 1 + KL	Vertikallamelle + 500 lx		
Vertikal 2	Vertikallamelle	2500	1300
200cd/m ²	Fensterleuchtdichte 200cd/m ²	200	200
1000cd/m ²	Fensterleuchtdichte 1000cd/m ²	1000	1000

Tab. 3: Untersuchte Lichtschutzeinrichtungen (KL ... Allgemeinbeleuchtung = 500 lx)

Bildschirm Typ	1 Kathodenstrahlröhre	2 Kathodenstrahlröhre	3 Flachbildschirm (aktiv)
Entspiegelung	Schlecht	sehr gut	sehr gut
Klasse Positivd.	II	I	I
Klasse Negativd.	II	I	I

Tab. 4: Untersuchte Bildschirme und Bildschirmklassen nach ISO 9241-7

Alle 24 Versuchspersonen bewerteten jede Lichtsituation in Tab. 3 mit einem Fragebogen. Bewertet wurden dabei die Bildschirme aus Tab. 4 jeweils in Positiv- und Negativdarstellung.

In den Abb. 5 und 6 ist Mittelwert und Standardabweichung aller Urteile dargestellt. Der Einfluß des Bildschirmhintergrundes ist deutlich sichtbar. Der Einfluß der Allgemeinbeleuchtung (0 bzw. 500 lx) ist nur an einer Stelle signifikant (Vertikal 1, Bildschirm 2, schwarzer HG).

Auf Bildschirm 1 sehe ich

0 ... störende Spiegelungen 7 ... keine Spiegelungen

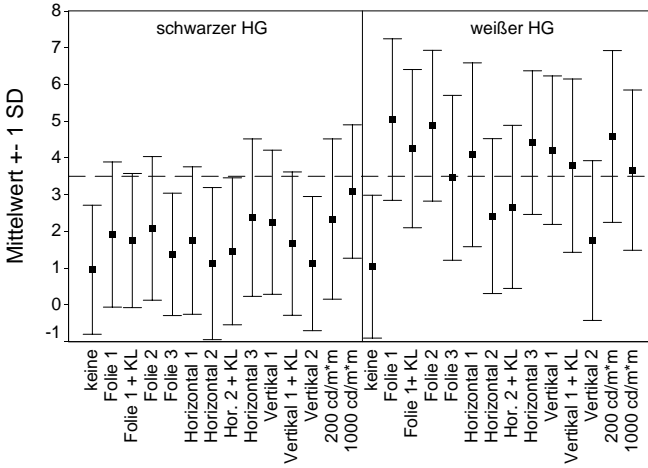


Abb. 5: Mittelwert und Standardabweichung der Urteile für Bildschirm 1

Auf Bildschirm 2 sehe ich

0 ... störende Spiegelungen 7 ... keine Spiegelungen

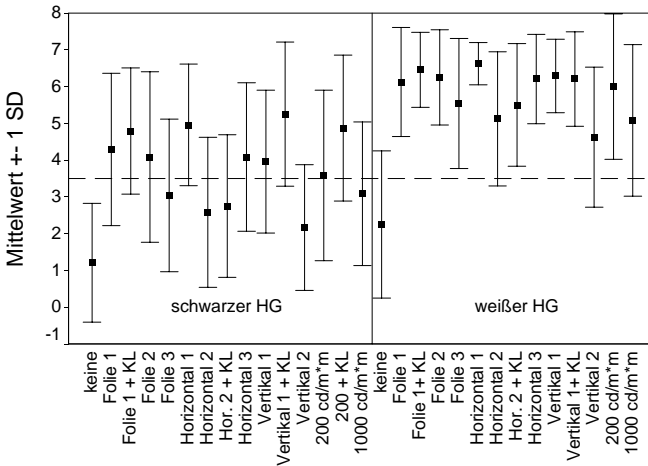


Abb. 6: Mittelwert und Standardabweichung der Urteile für Bildschirm 2

Nimmt man die Wertung 3,5 als neutral an und betrachtet alle darüber liegenden als „positiv“, so ergibt sich die Zusammenstellung in Tab. 5. Den untersuchten Bildschirmen sind die nach dieser Wertung zulässigen Lichtschutzeinrichtungen zugeordnet. Für die einzelnen Bildschirmklassen ergeben sich daraus maximal zulässigen Fenster-Leuchtdichten (Tab. 6). Die Ergebnisse des Flachbildschirmes 3 unterscheiden sich dabei wesentlich von denen des Bildschirmes 1 und sind deshalb separat angegeben.

	zulässige Lichtschutzeinrichtungen	maximale Leuchtdichte in cd/m^2	Klasse nach ISO 9241-7
Bildschirm 1 schwarzer HG	keine		II
Bildschirm 1 weißer HG	Folie 1 Folie 2 Horizontal 1 Horizontal 3 Vertikal 1 200 cd/m^2 1000 cd/m^2	300 400 250 400 400 200 1000	II
Bildschirm 2 schwarzer HG	Folie 1 Folie 2 Horizontal 1 Horizontal 3 Vertikal 1 200 cd/m^2	300 400 250 400 400 200	I
Bildschirm 2 weißer HG	alle	bis 2500	I
Bildschirm 3 schwarzer HG	alle	bis 2500	I
Bildschirm 3 weißer HG	alle Fenster ohne Lichtschutz	bis 2500 17000	I

Tab. 5: Nach der Beurteilung der Versuchspersonen zulässige Lichtschutzeinrichtungen für die einzelnen Bildschirme und Bildschirmdarstellungen

Klasse	Bildschirmhintergrund	zulässige Leuchtdichte
II	schwarzweiß	unter 200 cd/m^2 1000 cd/m^2
I	schwarzweiß	400 cd/m^2 2500 cd/m^2
Flachbildschirm	schwarzweiß	2500 cd/m^2 17000 cd/m^2

Tab. 6: Bildschirmklassen und zulässige Leuchtdichten

5. Bewertung von Lichtschutzeinrichtungen am realen Fenster

Am künstlichen Fenster war die Bewertung der Lichtschutzeinrichtungen nur mit Einschränkungen möglich. So konnte beispielsweise die Sicht nach außen und die Blendung durch die direkte Sonne nicht untersucht werden. Zu diesem Zweck wurde eine Befragung an einem realen Fenster durchgeführt.

Die Befragung sollte bei klarem Himmel und Sonnenschein stattfinden. Leider waren im Untersuchungszeitraum die Wetterbedingungen sehr instabil. Deshalb mußte aus Zeitgründen die Untersuchung nach 6 Versuchspersonen abgebrochen werden. Zusätzlich zur Befragung fanden lichttechnische Messungen und eine Einschätzung durch die Versuchsleiter (Tab. 7) statt. Die Lichtschutzeinrichtung Horizontal 3 ist eine verspiegelte Horizontal-Lamelle, die diesmal unter zwei Bedingungen getestet wurde: im geschlossenen und im offenen (lichtlenkenden) Zustand.

Lichtschutz	direkte Blendung		Reflexblendung an sehr gut entspiegeltem Bildschirm	
	direkte Sonne	Himmelsleuchtdichte (25000 cd/m ²)	direkte Sonne	Himmelsleuchtdichte (25000 cd/m ²)
Folie 1	6	0	4	3
Folie 2	6	0	4	1
Folie 3	6	0	4	6
Horizontal 1	0	0	4	4
Horizontal 2	6	0	4	6
Horizontal 3 auf	6	5	4	3
Horizontal 3 zu	2	1	3	0
Vertikal 1	0	0	0	0
Vertikal 2	6	6	6	6

Tab. 7: Bewertungen durch die Versuchsleiter

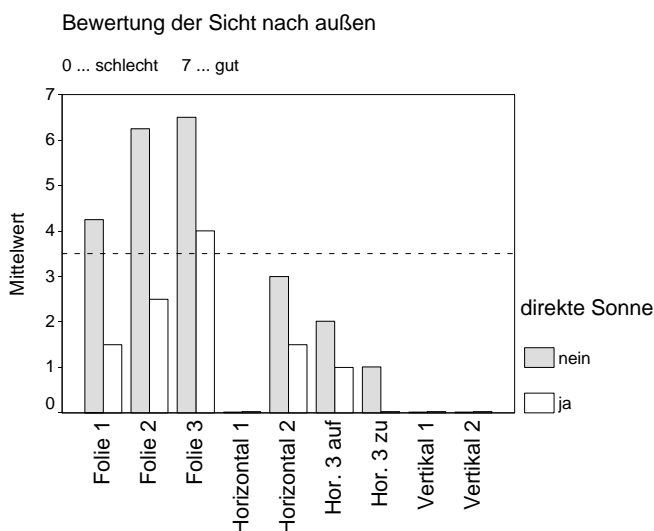


Abb. 7: Bewertung der Sicht nach außen

Blendung auf Söllner-Skala

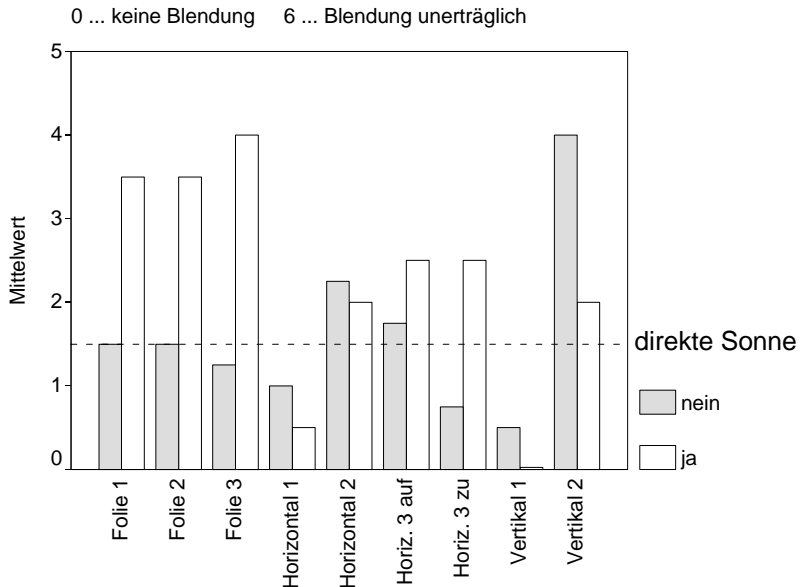


Abb. 8: Bewertung der Blendung auf der Söllner-Skala

Die Wertungen der Versuchspersonen hängen im wesentlichen davon ab, ob sich die Sonne im Blickfeld befindet oder nicht. Dies hat erwartungsgemäß Einfluß auf die Blendungsbewertung, aber auch auf die Bewertung der Raumhelligkeit und der Sicht nach außen. Sicher spielen Adaptationsvorgänge dabei eine Rolle. Die Abb. 7 und 8 zeigen diese deutlichen Unterschiede in der Bewertung. Dieser Untersuchungsteil zeigt die Problematik der Lichtschutzeinrichtungen nochmals deutlich in allen Dimensionen. Es ist kaum möglich, alle Forderungen zur vollen Zufriedenheit zu erfüllen. Blendfreiheit wird mit geringerer Beleuchtungsstärke und weniger Sicht nach außen erkauft. Im folgenden werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme zusammengefaßt.

Lichtschutzfolien

Lichtschutzfolien gewährleisten eine sehr gute Sicht nach außen. Da sie das Licht nicht streuen, ergeben sich jedoch Probleme bei direkter Sonneneinstrahlung. Trotz niedrigem Transmissionsgrad der Folien führt die Leuchtdichte der Sonne zu Blendung. Die geringe Transmission führt zu niedrigen Beleuchtungsstärken. Für Räume ohne direkte Sonne sind sie zu empfehlen.

Horizontal-Lamellen

Sie bieten bei hohem Sonnenstand eine gute Sicht nach außen, müssen bei tief stehender Sonne jedoch geschlossen werden, um Blendung zu verhindern.

Lamellen mit Lichtlenkung sorgen für ein hohes Beleuchtungsniveau und gleichzeitige Vermeidung von Blendung.

Vertikal-Lamellen

Durch die Einstellung des Lamellenwinkels können die Arbeitsplätze mit direkter Sonne verschattet werden, während aus den anderen Blickrichtungen immer noch eine gute Sicht nach außen gewährleistet werden kann. Durch die diffuse Lichttransmission kann auch bei geschlossenen Lamellen ein hohes Beleuchtungsstärkelevel im Raum erreicht werden. Blendgefahr besteht bei zu hohem Transmissionsgrad des Lamellenmaterials.

Aus den genannten Ergebnissen läßt sich kein System als „das Beste“ ermitteln. Auch innerhalb der Systeme kann es große Unterschiede geben.

7. Zusammenfassung

Aus der Zusammenfassung aller Untersuchungsergebnisse können folgende Richtwerte geschlußfolgert werden:

Gesamtbeleuchtungsstärke:	minimal 500 lx
Zylindrische Beleuchtungsstärke des Tageslichtes:	300 bis 1400 lx
Vertikale Beleuchtungsstärke in Richtung Fenster:	800 bis 1300 lx
Vertikale Beleuchtungsstärke am Bildschirm:	maximal 850 lx

Zulässige Blendleuchtdichten für Bildschirme:

schwarzer Hintergrund:	Klasse II: unter 200 cd/m ²
	Klasse I: 400 cd/m ²
weißer Hintergrund:	Klasse II: 1000 cd/m ²
	Klasse I: 2000 cd/m ²

Praxistauglichkeit neuartiger lichtlenkender Fassadenelemente

Jan de Boer und Hans Erhorn

1. Einleitung

Der Beitrag beschreibt planungsbegleitende Untersuchungen zum Einsatz tagelichtlenkender Fassadensysteme bei dem Neubau eines Technologiezentrums. Mittels lichttechnischer Planungswerkzeuge, eines Simulationsprogrammes /1/ und einer künstlichen Sonne /2/, wurde geprüft, inwieweit die Systemintegration zur ausreichenden Tageslichtversorgung tiefergelegener Raumbereiche und damit zur Verminderung zusätzlicher Kühllasten durch den normalerweise in diesen Raumtiefen erforderlichen Kunstlicheinsatz genutzt werden kann. Bei den Bürobereichen handelt es sich überwiegend um Großraumbüros, die durch Raumteiler strukturiert werden. Die 15,0 m tiefen Büroetagen werden jeweils von einer an die Atrien grenzenden Seite und einer nach außen grenzenden Fassade belichtet. Aufgrund der hohen Raumtiefen bieten sich Maßnahmen zur Lichtlenkung an.

Qualitativ und quantitativ wurden transparente Sonnenschutzsysteme und direktlichtlenkende Systeme bei sowohl statischer als auch der Sonne nachgeführter Fassadenintegration aus planungspraktischer Sicht bewertet. Die Bewertungskriterien schlossen neben dem lichttechnischen Verhalten bei klaren und bedeckten Himmelszuständen sowie dem visuellen Komfort, auch thermische und konstruktive Aspekte, und zu erwartende Realisierungskosten mit ein. Ergänzend wurden unterschiedliche Kunstlichtlösungen im Zusammenspiel mit der natürlichen Beleuchtung und der geplanten Büronutzung untersucht.

2. Allgemeine planungstechnische Aspekte

Tageslicht als Substitut für Kunstlicht

Das photometrische Strahlungsäquivalent des Tageslichts liegt nach DIN 5034 bei bedecktem Himmel bei 115 lm/W, bei klarem Himmel bei 125 lm/W. Das intensitätsstarke direkte Sonnenlicht erreicht in Abhängigkeit der Sonnenhöhe Werte bis ca. 100 lm/W. Durch die Selektivität, d. h. das Verhältnis Lichttransmissionsgrad zum Gesamtenergiedurchlaßgrad, von Verglasungssystemen (1,2–1,3 bei konventionellen Wärmeschutzverglasungen) erhöht sich das photometrische Strahlungsäquivalent im Innenraum je nach Tageslichtart auf Werte über 150 lm/W /3/. Die in Bürogebäuden gebräuchlichen Kunstlichtsysteme aus Lampe, Vorschaltgerät und Leuchte erreichen heutzutage bei hochwertiger Ausführung Lichtausbeuten bis etwa 85 lm/W für direkt / indirektstrahlende Leuchten

Dipl.-Ing. Jan de Boer, Dipl.-Ing. Hans Erhorn
Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Nobelstraße 12
D-70569 Stuttgart

und 70 lm/W für rein direktstrahlende Leuchten. Mit dem gleichen in den Raum eingebrachten Lichtstrom ist somit beim Tageslicht ein deutlich geringerer Wärmeeintrag verbunden. Energetische Motivation der Tageslichtnutzung ist somit die höhere Effizienz der Lichtquelle Tageslicht gegenüber im Bürobereich verfügbaren Kunstlichtsystemen; kostenbezogene Motivation ist die freie Verfügbarkeit des Tageslichts als Energiequelle.

Beleuchtung bei direkter Besonnung

Zur natürlichen Aufhellung des Raumes bei aktiviertem Sonnenschutz bieten sich prinzipiell zwei Lösungen an. Transparenter Sonnenschutz reflektiert die Direktstrahlung zurück, die Diffusstrahlung hellt den Raum weiterhin auf. Direktlichtlenkende Systeme hellen tiefere Raumbereiche indirekt durch eine Lichtumlenkung von der Fassade über die Decke auf. Die Systeme (statisch oder nachgeführt) sollten zwecks Vermeidung von Direkt- und Reflexblendung oberhalb Augenhöhe in der Fassade eingebracht werden. Der untere Fassadenbereich erfüllt weiterhin die normalen Funktionen des Sonnen- und Blendschutzes.

Beleuchtung bei nicht-direkter Besonnung

Im Jahresmittel liegt die effektive Sonnenscheinwahrscheinlichkeit in Deutschland deutlich unter 40 %. Während der Sonnenscheinstunden steht die Sonne in Abhängigkeit der Fassadenorientierung und der Verbauung auch nur begrenzt auf der Fassade. Somit dürfen Tageslichtsysteme nicht alleine nach Ihrem Verhalten bei direkter Besonnung ausgelegt werden. Idealerweise führen Sonnenschutzsysteme zu keiner Reduktion des Lichtstromes an bedeckten Tagen, da sie dann zurückgezogen werden.

Transparenz

Eine häufig gewünschte Eigenschaft ist die Systemtransparenz, bzw. Teildurchsicht von Fassadensystemen. Hierauf zielt die Entwicklung transparenter Sonnenschutzsysteme. Da direktlichtlenkende Systeme nur im oberen Fassadenbereich sinnvoll eingesetzt werden können, sind diese für die Sichtverbindung nach Außen von geringerer Bedeutung.

Thermisches Verhalten

Idealerweise sollte im Winterfall bei blendfreiem Eintritt des Lichts in den Raum ein hoher Strahlungsdurchgang zur passiven Heizungsunterstützung angestrebt werden; im Sommer ist zur Vermeidung erhöhter Kühllasten, der Strahlungsdurchgang so gering wie möglich zu halten.

Kosten

Die Systemmehrkosten sollten die Kosten herkömmlicher Sonnenschutzsysteme nicht wesentlich überschreiten, um einem wirtschaftlichen Vergleich standzuhalten. Über Energieeinsparpotentiale durch Tageslichtsysteme liegt im Vergleich zu tageslichtabhängigen Lichtregelsystemen noch wenig belastbares Zahlenmaterial vor. Geht man von der sehr optimistischen Sichtweise aus, daß das gleiche Potential wie bei Regelsystemen (50 %-60 % Reduktion des Stromverbrauchs) vorläge, ergeben sich für einen konventionellen Büroraum Einsparungen von ca. 5 DM/m²a.

3. Transparenter Sonnenschutz

Prismatische und holografisch optische Elemente können als transparenter Sonnenschutz eingesetzt werden. Sie basieren auf der selektiven Ausblendung (Rückreflexion) des direkten Sonnenlichtes aus der Leuchtdichteverteilung des klaren Himmels mit Sonne. Aufgrund der nur in einem begrenzten Winkelbereich wirksamen Rückreflexion (ca. $\pm 5^\circ$) müssen sie der Sonne einachsrig im Höhenwinkel nachgeführt werden. Der Systemvorteil liegt in der unter größeren Winkelbereichen ungehinderten Sichtverbindung nach Außen. Des weiteren dringt ein hoher Anteil der diffusen Himmelsstrahlung in den Raum ein, so daß der Sonnenschutz nicht zwangsläufig auch den Raum verdunkelt. Zur Beurteilung der Verhältnisse in tieferen Raumbereichen ist die Beleuchtungsstärkeverteilung eines transparenten Sonnenschutzes (Ausblendung der Direktstrahlung) dem Einsatz eines zweiteiligen Jalousiebehangs, dessen oberer Teil zur Lichtumlenkung genutzt wird, in Abb. 1 gegenübergestellt. Der gesamte in den Raum einfallende Lichtstrom ist bei Einsatz des transparenten Sonnenschutzes höher, jedoch ist in tieferen Raumbereichen keine merkliche Anhebung der Beleuchtungsstärke festzustellen. Der Vorteil der Einsparung elektrischer Energie in tieferen Raumbereichen durch die Substitution von Kunst- durch Tageslicht gegenüber dem Jalousiensystem existiert bei den hier zugrundeliegenden Randbedingungen somit nicht. Aufgrund der engen Winkelselektivität bleiben die hohen Leuchtdichten des Himmels um die Sonne im Innenraum nach wie vor sichtbar, so daß ohne zusätzliche Maßnahmen kein effizienter Blendschutz an fensternahen Arbeitsplätzen gewährleistet ist. Der transparente Sonnenschutz bleibt auch unter bedeck-

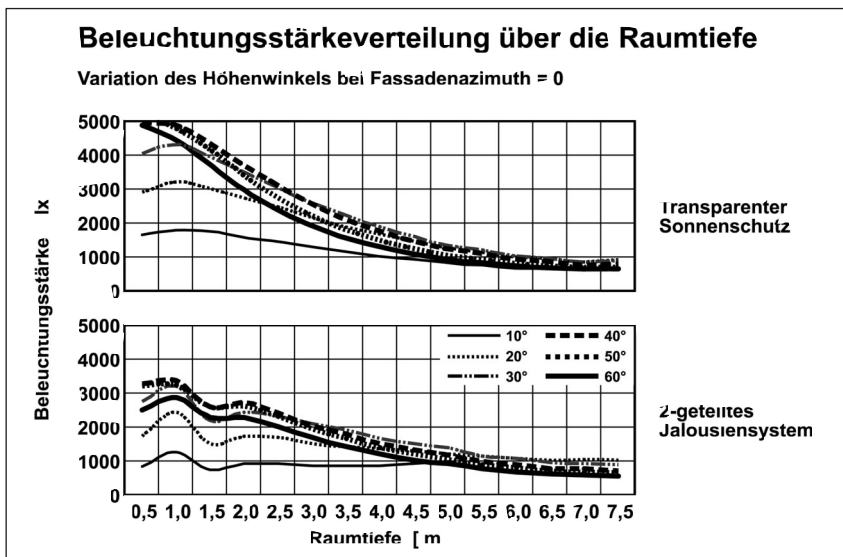


Abb. 1: Darstellung der Beleuchtungsstärkeverteilung über die Raumtiefe für ein transparentes Sonnenschutzsystem und für einen zweiteiligen Jalousiebehang (im oberen Bereich lichtlenkend). Der Sonnenhöhenwinkel variiert zwischen 10° und 60° . Im Azimuthwinkel steht die Sonne normal auf der Fassade.

ten Himmelszuständen vor der Fassade und hält damit einen Teil des Lichtstromes zurück. Aufgrund der zusätzlichen Glasebene, Verschattung durch die Mechanik des Nachführmechanismus sowie anzusetzender Verschmutzung der Elemente ist mit einer minimalen Abminderung des in den Raum einfallenden Lichtstromes gegenüber einem verfahrenbaren konventionellen Sonnenschutzsystem von 30 % auszugehen. Zu Zeiten des nicht direkten Sonnenlichteinfalls ist daher mit höheren Kunstlichtstromverbräuchen zu rechnen. Da das System die Fassade ganzflächig abdecken muß und ein einachsiger Nachführmechanismus inklusive Ansteuerung vorgesehen werden muß, sind die Systemkosten erheblich. Die zusätzlichen Kosten können die einer normalen Fassade um ein mehrfaches übersteigen (Rahmen, Glas, Sonnenschutz).

4. Direktlichtlenkende Systeme

Vier unterschiedliche Systeme wurden qualitativ und zum Teil quantitativ untersucht. Es wird von Lichtumlenkung im oberen Fassadenbereich und dem Einsatz eines konventionellen außenliegenden Jalousiesystems im unteren Fassadenbereich ausgegangen. Im oberen Fassadenbereich werden untersucht:

- Separate, dem Sonnenhöhenwinkel einachsig nachgeführte lichtlenkende Jalousielamellen,
- Auf Totalreflektion an Luftspalten in Acrylglasplatten basierende Laser Cut Panels.
- Lichtumlenkende im Scheibenzwischenraum gestapelte Acrylglaslamellen (lichtlenkendes Glas)
- Weißlichthologramme aus zwei Ebenen holografischer optischer Elemente (HOE).

Die betrachteten Systeme zur Direktlichtlenkung sind in Tab. 1 vergleichend gegenübergestellt:

Betrachtetes System		Visueller Komfort	Durchsicht Sonnige Tage		Natürliche Beleuchtung an bedeckten Tagen	Stromeinsparung, Beleuchtung sonnige Tage	Mittlerer b-Wert
			Unten	Oben			
Durchgehend transparenter Sonnenschutz		-- **	++	++	--	+	0,27
Jalousie	Unten	++	--	--	++	+	< 0,15
	Oben						
	Normale Jalousien, Referenzfall						
	Lichtlenkender Jalousiebehang						
	Laser Cut Panel, statisch						
	Laser Cut Panel, nachgeführt						
Lichtlenkende Verglasung	+	--	--	0	+	0,18	
Weißlichthologramme	- **	--	+	-	+	> 0,15	

* Herstellerangabe,
** zusätzlicher Blendschutz erforderlich

Tab. 1: Systembewertungsmatrix Lichtlenkender Fassadensysteme im oberen Fassadenbereich einer 3,30 m hohen Fassade. In der Tabelle entsprechen ++ bis --: Kriterium zufriedenstellend erfüllt bis Kriterium nicht ausreichend erfüllt.

Visueller Komfort

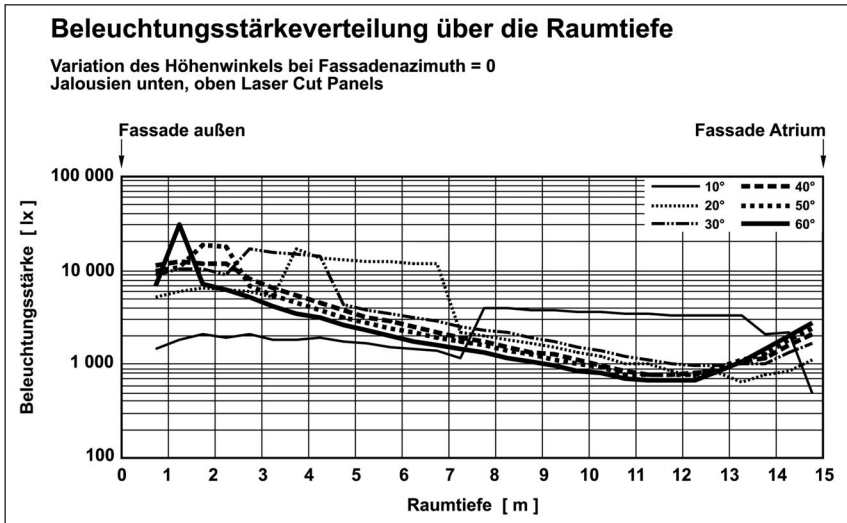


Abb. 2: Darstellung der Beleuchtungsstärkeverteilung über die Raamtiefe für ein statisch in die Fassade integriertes Laser Cut Panel. Der unter Fassadenbereich ist durch Jalousien verschattet. Der Sonnenhöhenwinkel variiert zwischen 10° und 60°. Im Azimuthwinkel steht die Sonne normal auf der Fassade.

Der visuelle Komfort beeinflusst die Produktivität der Arbeitnehmer direkt und sollte vor allen anderen Kriterien betrachtet werden. Nur Systeme, die in der Lage sind das direkte Sonnenlicht vollständig in Richtungen oberhalb der unteren Systemeinbaukante umzulenken, z. B. die Jalousien zur Lichtlenkung sowie das lichtlenkende Glas, erfüllen dieses Kriterium. Laser Cut Panels, wie Abb. 2 zeigt, und Weißlichthologramme lassen in den hier untersuchten Varianten einen zu hohen Anteil Direktstrahlung auf die Arbeitsebene fallen. Zusätzliche Blendenschutzmaßnahmen, die den Effekt der Lichtumlenkung teilweise wieder aufheben, werden somit erforderlich. Exemplarisch sind die Effekte in Modelluntersuchungen in einer künstlichen Sonne für das lichtlenkende Glas und Laser Cut Panels in Abb. 3 dargestellt.

Beleuchtung bei direkter Besonnung

Bei allen betrachteten Systemen ist eine deutliche Anhebung der natürlichen Ausleuchtung raumtiefer Bereiche über die Decke festzustellen. Hierdurch kann im Vergleich zu einem normalen, vollständig schließenden System der Kunsteinsatz und damit auch der Stromverbrauch reduziert werden.

Beleuchtung bei nicht-direkter Besonnung

Jalousiensysteme, die bei bedeckten Himmeln hochgefahren werden, zeigen das beste Verhalten. Alle anderen Systeme vermindern den durch das obere

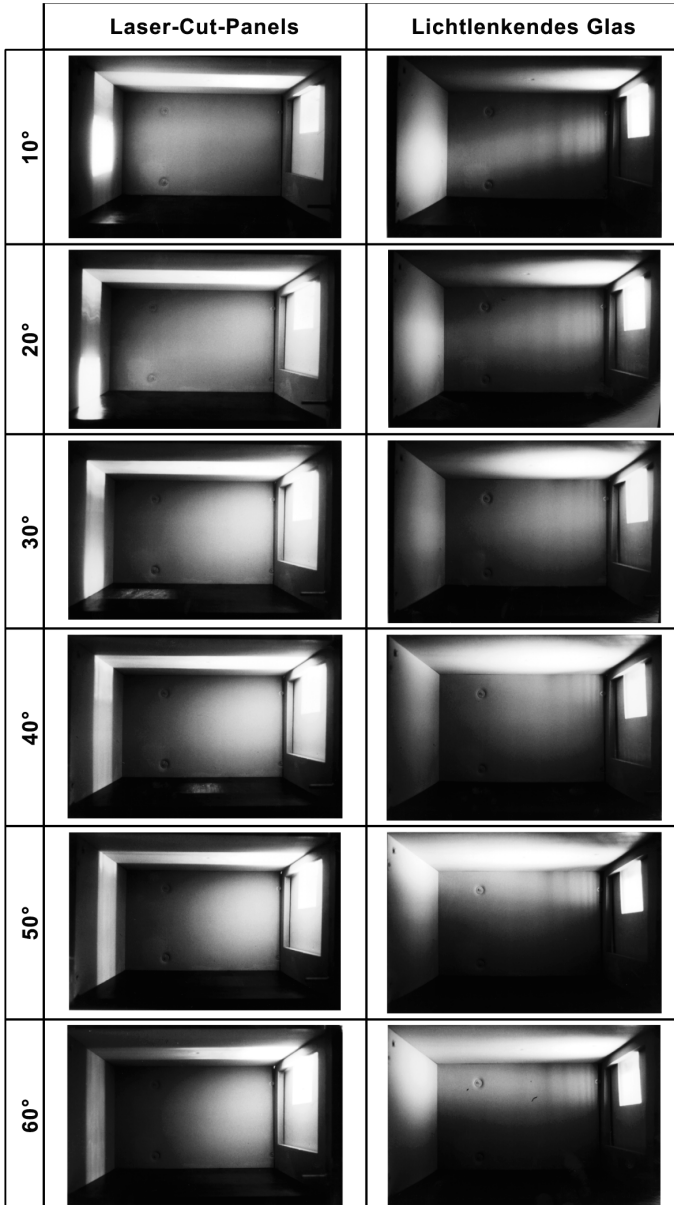


Abb. 3: In einer künstlichen Sonne untersuchte Lichtverteilungen eines Laser Cut Panels und eines lichtlenkenden Glases in der Fassade eines Modellraumes. Der Höhenwinkel der Sonne variiert zwischen 10° und 60°.

Fensterband einfallenden Lichtstrom teilweise um über 40 %. Aufgrund der nur im oberen Fassadenbereich belegten Fläche, ist die auf den lfd.m Fassade bezogene Abminderung jedoch deutlich kleiner als bei den betrachteten durchgängigen transparenten Sonnenschutzsystemen.

Durchschnittlicher b-Wert des lfd.m Fassade

Der b-Wert des lichtlenkenden Jalousiebehanges lag nach Herstellerangaben bei 0,15. Für Weißlichthologramme lagen keine Werte vor. Aus einer näherungsweise Abschätzung ergibt sich jedoch hierfür ein b-Wert größer 0,15. Das in die Fassade integrierte lichtlenkende Glas liegt mit über die Fassade gemittelten b-Werten von 0,17-0,18 nahe an dem Referenzsystem. Alle anderen System wiesen höhere Werte und damit höhere Strahlungseinträge in den Raum auf.

Kosten

Bezieht man sämtliche Preise auf ein normales auch im oberen Bereich schließendes Jalousiensystem, so ergeben sich, wie in Abb. 4 dargestellt, die geringsten Mehrkosten bei der Integration eines 50 cm hohen Streifen eines lichtlenkenden Glases, gefolgt vom Jalousiensystem mit lichtlenkenden Lamellen. Die nachgeführten Laser Cut Panels und Weißlichthologramme verursachen aufgrund der zweiten Verglasungsebene und des erforderlichen Nachführmechanismus erheblich höhere Mehrkosten. Die höchsten Mehrkosten verursacht das vollflächige transparente Sonnenschutzsystem.

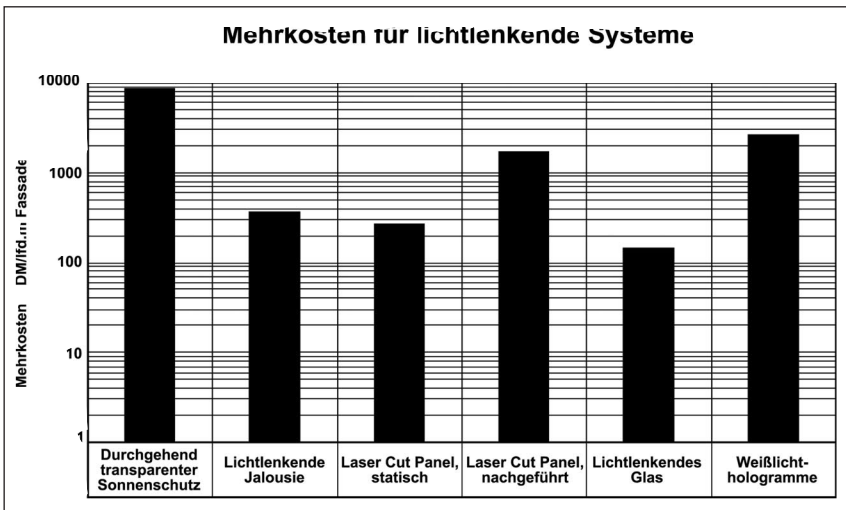


Abb. 4: Mehrkosten der untersuchten Systeme gegenüber einem konventionellen Sonnenschutz (Jalousien).

5. Künstliche Beleuchtung

Nur ein auf das einfallende Tageslicht abgestimmtes künstliches Beleuchtungssystem vermag die Fassadentechnischen Maßnahmen energetisch und monetär zu nutzen. Eine tageslichtabhängige Konstantlichtregelung ist daher bei Tageslichtsystemen generell mit vorzusehen. Zur künstlichen Beleuchtung bieten sich mit der Direktbeleuchtung, der Direkt-Indirektbeleuchtung und der Zwei-Komponentenbeleuchtung (Allgemeinbeleuchtung mit Arbeitsplatzkomponente) im wesentlichen drei Strategien an. Die Bewertung erfolgt nach energetischer Effizienz und sich einstellendem visuellen Komfort bei der vom Bauherrn vorgesehenen flexiblen Büroorganisation und damit verbundener häufiger Ummöblierung.

Energetisches Verhalten

Während bei der Direktbeleuchtung der Lichtstrom, der auf die Arbeitsebene fällt, nur einen vernachlässigbaren an den Raumumschließungsflächen interreflektierten Anteil hat, wird dieser sekundäre Lichtstrom bei der Direkt-Indirektbeleuchtung stärker und stellt den ausschließlichen Anteil bei der Allgemeinbeleuchtung einer Zwei-Komponentenlösung dar. Dem Reflektionsgrad der Decke kommt hier somit aus energetischer Sicht entscheidende Bedeutung zu. In Abb. 5 ist die installierte Leistung als Funktion des Reflektionsgrades der Decke für vier ausgewählte Beleuchtungsanlagen (normale und hochwertige Direktbeleuchtung, Direkt-Indirekt Beleuchtung und Zwei-Komponentenbeleuchtung)

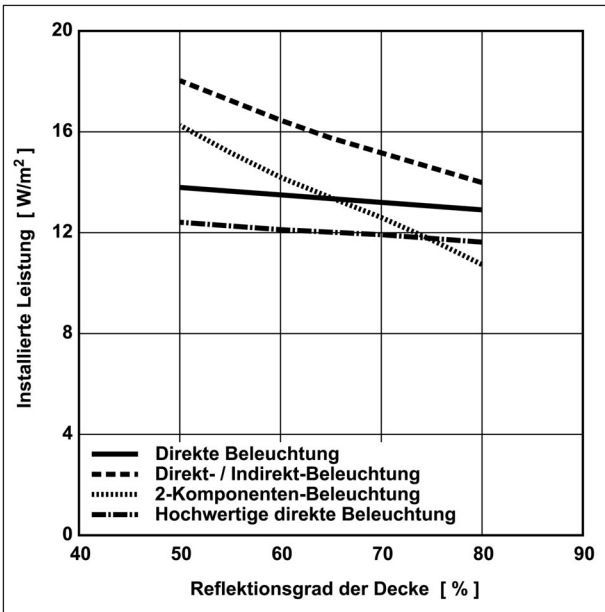


Abb. 5: Installierte Leistung als Funktion des Reflektionsgrades der Decke für vier unterschiedliche Beleuchtungsanlagen zum Erreichen der jeweiligen Nennbeleuchtungsstärke auf der Arbeitsebene.

dargestellt. Da die Allgemeinbeleuchtung bei der Zwei-Komponentenbeleuchtung nur auf 300 lx ausgelegt wird, ist es gesamtenergetisch trotz Reflektionsverlusten an den Decken bei herkömmlichen Anstrichen (70 % - 80 % Reflektion) mit energieeffizienten Direktsystemen vergleichbar. Des weiteren verringern sich aufgrund der höheren Tageslichtautonomie bei einer Zweikomponentenbeleuchtung mit einer Allgemeinbeleuchtungsstärke von 300 lx die Kunstlichteinschaltzeiten signifikant gegenüber der Nennbeleuchtungsstärke von 500 lx. Es kann daher längere Zeiten ausschließlich mit Tageslicht beleuchtet werden.

Flexibilität der Büroorganisation und visueller Komfort

Die Beleuchtung darf nicht auf ein statisches System Nutzer - Möblierung - Bildschirm abgestimmt werden, da mit freier Positionierung der Bildschirme zu rechnen ist. Der Indirektanteil einer Zwei-Komponentenlösung bietet im gesamten Umfeld im Gegensatz zu anderen diskutierten Beleuchtungsstrategien moderate Umfeldleuchtdichten ohne kritische Extremwerte. Die für Papiervorlagen nach wie vor erforderlichen höheren direkten Beleuchtungsstärken lassen sich durch entblendete Arbeitsplatzleuchten örtlich vom Bildschirm getrennt erzeugen. Die Leuchten wandern bei Umnutzung problemlos mit.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Aus energetischen, blendungstechnischen und kostenbezogenen Gründen können transparente Sonnenschutzsysteme nicht empfohlen werden. Dagegen stehen mit dem lichtlenkenden Jalousiebehang und dem lichtlenkenden Glas in Kombination mit einem konventionellen Sonnen- und Blendschutz im unteren Fassadenbereich zwei direktlichtlenkende Systeme für die Fassadenintegration mit zufriedenstellenden Systemkennwerten zur Verfügung. Für die geplante flexible Büronutzung ist ein Zwei-Komponenten Beleuchtungskonzept mit tageslichtabhängiger Konstantlichtregelung empfehlenswert.

Als kostenintensiv und planungstechnisch schwer umsetzbar erwiesen sich alle betrachteten Lösungen mit einer zweiten Verglasungsebene vor der Fassade. Neben den gegenüber einer konventionellen Fassade 2- bis 3-fachen Kosten konnten die betrachteten Lösungen die technischen Anforderungen nicht erfüllen.

Literatur

- /1/ Erhorn, H.; de Boer, J.; Dirksmöller, M.: ADELIN – An Integrated Approach to Lighting Simulation, Daylighting '98, Conference Proceedings, Ottawa, 1998.
- /2/ Szermann, M. ; Erhorn, H.: Tageslichttechnische Bewertung von Gebäudemodellen unter künstlichem Himmel und künstlicher Sonne. IBP-Mitteilung 20 (1993) Nr. 237.
- /3/ Szermann, M.: Tageslicht und künstliche Beleuchtung. Ein energetischer Vergleich. Bundesblatt (1997), H. 5, S. 334 - 336.

Untersuchung eines automatischen Blendschutz-Steuersystems zur Verminderung der störenden Einflüsse von Fensterleuchtdichten

Visueller Komfort im Raum

Stefan Hauer

Die Nutzung von Tageslicht zur Beleuchtung hat in den letzten Jahren sehr an Bedeutung zugenommen, v. a. in Büroräumen: Die Beleuchtung verursacht einen bedeutenden Teil der Energiekosten in Büros, deswegen sind durch die Tageslichtnutzung deutliche Einsparungen möglich.

Fenster beleuchten einen Raum üblicherweise sehr ungleichmäßig: Direkt am Fenster treten hohe Beleuchtungsintensitäten auf, in Richtung des Rauminnen nehmen diese deutlich ab. Über lichtlenkende Einrichtungen wird diese Ungleichmäßigkeit reduziert, indem das Tageslicht in die Raumtiefe gebracht wird. Durch die Steuerung dieser Einrichtungen wird das direkte Sonnenlicht dosiert und verteilt, die effektive Nutzung des Tageslichts als Lichtquelle für den Raum wird erhöht. Die eigentliche Energieeinsparung wird durch ein auf das Tageslicht reagierendes Kunstlicht-Steuerungssystem erreicht. Bei der Nutzung von Tageslicht sind heutige Tageslicht-Steuersysteme in der Regel auf eine Sonnenschutz-Strategie ausgelegt. Der Schwerpunkt dieser Strategie liegt meist auf der optimalen Energieeinsparung: So wenig Kunstlicht wie möglich, aber gleichzeitig möglichst wenig direktes Sonnenlicht, um die Klimaanlage nicht zu sehr zu belasten. Das kann mitunter bedeuten, daß ein Blendschutz (Jalousie etc.) nur bei starker direkter Sonneneinstrahlung in die Arbeitsposition gefahren wird.

Aber auch bei bedecktem Himmel werden hohe Fensterleuchtdichten am Arbeitsplatz als störend empfunden. Starkes diffuses Licht kann (genauso wie direktes) beispielsweise auf einem Bildschirm Reflexe und Sehbeeinträchtigungen verursachen.

Eine beeinträchtigte Nutzerakzeptanz als Folge einer unbefriedigenden Raumbeleuchtung kann zu einer Reduzierung der Produktivität des Raumnutzers führen, die diesen veranlasst, die Beleuchtungssituation zu ändern oder gar in die Installation einzugreifen (Sabotage etc.).

Ein Steuerungssystem muß demzufolge so ausgerichtet sein, daß der Schwerpunkt der Steuerungsstrategie auf dem Komfort des Raumnutzers ausgerichtet ist, denn Licht und Blendung beeinflussen sofort und unmittelbar die Nutzbarkeit jedes einzelnen Raumes. Automatische Reaktionen müssen daher unkompliziert, rasch und wohl durchdacht erfolgen.

1. Studie mit TU Berlin

Eine Studie, welche in enger Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Berlin durchgeführt wurde, hatte zum Ziel, eine Beziehung zwischen subjektiven Beurteilungen von Blendungen und gemessenen Leuchtdichten zu finden /1/. Dazu wurden an der TU Berlin zwei nahezu identische Testräume eingerichtet: In einem Raum befanden sich die Testpersonen (Abb. 1), im anderen Raum wurde mit den Meßeinrichtungen ausgestattet (Abb. 2):



Abb. 1: Beurteilungsraum



Abb. 2: Meßraum

Beide Räume wurden mit LUXMATE Professional ausgestattet: Dieses Lichtmanagement-System sorgte für eine konstante Beleuchtungsstärke von 500 Lux am Arbeitsplatz. Auch die Jalousien wurde über LUXMATE sonnenstandsabhängig gesteuert (Abb. 3). Das installierte System verwendet dazu einen Tageslichtmeßkopf, der vom Dach des Gebäudes aus den Himmelszustand beobachtet

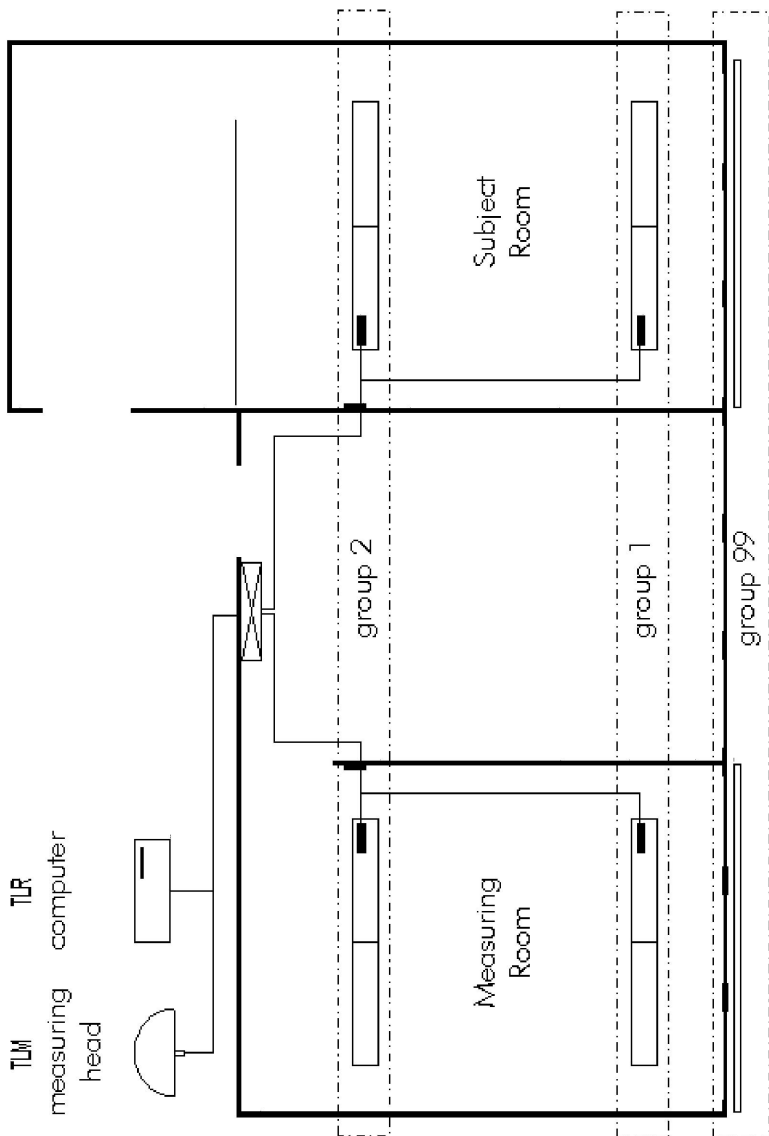


Abb. 3: Installation

und sowohl die Position der Sonne als auch die Intensität des Tageslichts und den Bedeckungsgrad des Himmels erfaßt. Die Daten werden zentral ausgewertet und daraus die jeweils erforderlichen Dimmstellungen der Kunstlichtquellen und die Lamellenkippwinkel der Jalousien berechnet.

2. Testablauf

Anhand von „elektronischen“ Fragebögen bewerteten 23 Personen in halbtägigen Sitzungen den „Visuellen Komfort“. Die Fragen tauchten auf dem Monitor eines im Beurteilungsraum installierten Rechners auf, und zwar immer dann, wenn im Meßraum hohe Fensterleuchtdichten gemessen wurden. Die Testperson wurde um ein Urteil gebeten: Fühlte sie sich geblendet, so wurde sie zur Blendung befragt. Fühlte sie sich nicht geblendet, so wurde sie zur Arbeitsbeleuchtung befragt. Die Bewertung der Blendschutz-Steuerung erfolgte durch Angabe einer Zeitspanne, innerhalb welcher (nach Meinung der Testpersonen) der Blendschutz herabfahren sollte, um eine komfortable und akzeptable Beleuchtung aufrecht zu erhalten. Zusätzlich wurden die Testpersonen bei jeder Sitzung um persönliche Daten (Bildschirmlastigkeit des Berufs, Qualität des eigentlichen Arbeitsplatzes etc.) und um allgemeine Eindrücke zum Test gebeten.

3. Ergebnisse

Die Auswertung der Fragebögen und der Vergleich mit den immer gleichzeitig erfaßten Meßdaten zeigte folgendes:

1. Eine der wesentlichen Größen bei der Beurteilung des „Visuellen Komforts“ ist die wahrgenommene Blendung der Testpersonen.
2. Die Beurteilung der Blendung hängt neben der Nähe des Arbeitsplatzes zum Fenster
3. auch von der Art der Arbeit ab (am Bildschirm oder nicht).
4. Auch ein bedeckter Himmel kann störende Blendung bewirken, v. a. an Bildschirmarbeitsplätzen. Ohne Blendschutzeinrichtungen können komfortable Arbeitsbedingungen nicht aufrecht erhalten werden.
5. Ein Eingriff vor allem in die Blendschutz-Steuerung sollte für den Raumnutzer jederzeit möglich sein: Dadurch wird die Akzeptanz deutlich erhöht.

4. Weitere Untersuchungen

Gleichzeitige Messungen der Leuchtdichten im Untersuchungsraum, der Himmelsleuchtdichten und der korrelierten Tageslichtmeßkopf-Daten (LUXMATE LM-TLM) ermöglichten die Entwicklung einer Tageslicht-Steuerstrategie zur Verbesserung des „Visuellen Komforts“ am Arbeitsplatz. In einem ersten Feldversuch im Frühjahr 2000 wurde die entwickelte Strategie auf ein Gruppenbüro angewendet /2/. Hierbei wurde zwischen klarem Himmel und bedecktem Himmel unterschieden und mit unterschiedlichen Steuerstrategien für das Jalousienmanagement reagiert. Über ein Jahr hinweg wurden die Raumnutzer regelmäßig zu Raumeindruck, Arbeitsplatzausleuchtung, Wahrnehmung, Akzeptanz, Tätigkeit, Art und Häufigkeit von manuellen Eingriffen in die Steuerung befragt. Nach Auswertung aller Daten wird eine signifikante Verbesserung in der Bewertung des „Visuellen Komforts“ bei den Probanden im Gruppenbüro und eine Verminderung der wahrgenommenen Blendwirkung erwartet.

Literatur

- /1/ Martine Velds „Assessment of lighting quality in office rooms with daylighting systems“, Delft, 1999
- /2/ Susanne Fleischer, Christoph Schierz, Helmut Krüger “Forschungsvorhaben Harmonisches Licht“, Tagungsband Licht 98, S. 300ff, Bregenz

ARTHELIO – Zwei Hohllichtleiterbeleuchtungssysteme mit kombinierter Einspeisung von Tageslicht und Kunstlicht der Schwefellampe

Thomas Müller, Sven-Holger Kloss, Alexander Rosemann, Heinrich Kaase, Angelo Mingozi, Dieter Albert, Jan Ejhed

Einleitung

Das Europäische Forschungsprojekt ARTHELIO wurde auf der Licht 98 hinsichtlich seiner Forschungsziele sowie des Projektablaufs und Arbeitsprogramms vorgestellt und befindet sich zur Zeit in seiner Endphase. ARTHELIO basiert auf der effektiven Nutzung des Tageslichtangebots und der dosierten Hinzumischung von Kunstlicht der Schwefellampe. Wesentliches Projektziel ist die Verbesserung der Gebäude-Energiebilanz und des visuellen Komforts am Arbeitsplatz. Als technische Herausforderung ist die Optimierung der Tageslichtein- und -auskopplung sowie die verlustarme Weiterleitung in Hohllichtleitern zu nennen. Entwickelt wurden zwei Prototypen von Beleuchtungssystemen, die sich aufgrund der Anpassung an verschiedene Gebäudetypologien im Aufbau unterscheiden. Ein System ist mit einem 1-achsig nachgeführten Heliostaten ausgestattet, der das Tageslicht über einen Hohllichtleiter einem Leuchtenmodul zuführt, wo es diffus streuend ausgekoppelt wird. Hier liegt der Schwerpunkt auf der Verbesserung des visuellen Komforts. Bei der zweiten Variante wird ein optisch und mechanisch aufwendigerer, 2-achsig nachgeführter Heliostat mit direkt anschließender Mischeinheit eingesetzt. Das Tageslicht/Kunstlichtgemisch wird in Hohllichtleiter eingekoppelt, die als Beleuchtungskörper ausgebildet sind und zur Ausleuchtung von hohen Räumen (z.B. Treppenhäuser, Eingangshallen) eingesetzt werden können. Der eingekoppelte Sonnenlichtstrom ist so hoch, dass sowohl Aspekte der Energieeinsparung als auch des visuellen Komforts zum Tragen kommen. Beide Systeme sind mit neuentwickelten Heliostaten, Hohllichtleitern und der über ein EIB-Bus-Interface dimmbaren Schwefellampe ausgestattet.

Prototyp 1

Der erste Prototyp wird in einem bestehenden Fabrikgebäude (Abb. 1) in Carpiano/Italien installiert. Das unterste Geschoss wird mit Sortierarbeitsplätzen an langen Fließbändern genutzt. Die Anlage befindet sich im zentralen Hallenbereich ohne Tageslicht. Ein 1-achsig der Sonne nachgeführter, neu entwickelter

Dr.-Ing. Thomas Müller, Dipl.-Ing. Sven Kloss, Dipl.-Ing. Alexander Rosemann,
Prof. Dr. rer.nat. Heinrich Kaase
Technische Universität Berlin, Institut für Elektronik und Lichttechnik
Einsteinufer 19, Sekr. E6, D-10587 Berlin

Ph. D. Angelo Mingozi
Ricerca e Progetto, via di San Luca 11, I-40135 Bologna

Dipl.-Ing. Dieter Albert
Semperlux AG, Motzener Str. 34, D-12277 Berlin

Professor, Arch. Sir/Sar Jan Ejhed
Göteborgs Universitet, Temanämnden, Box 720, S-40530 Göteborg

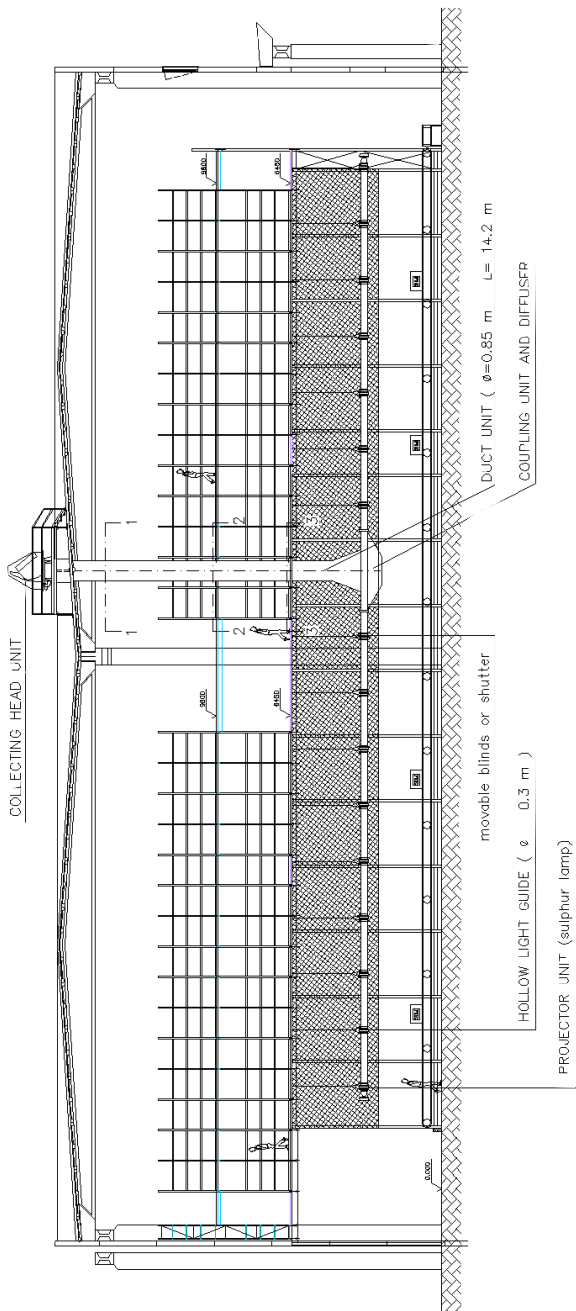


Abb. 1 : Ansicht Fabrikgebäude in Carpiano/Italien

Heliostatenkopf lenkt das Tageslicht vom Dach des Gebäudes in einen Transport-Hohllichtleiter (Abb. 2). Die Eintrittsebene des Heliostatenkopfes ist senkrecht zum mittleren Sonnenhöhenwinkel des Aufstellungsortes orientiert. In der Öffnungsfläche ist ein linearer Linsenfilm (Abb. 3) /1/ angebracht, der im Bereich der auftretenden Sonnenhöhenwinkel eine fokussierende Wirkung besitzt. Das Sonnenlicht kann somit über eine abgestimmte Reflektorausformung gezielt in den Transport-Hohllichtleiter eingekoppelt werden. Zudem ist somit nur eine 1-achsige Nachführung hinsichtlich des Sonnenazimuts notwendig. Der Transport-Hohllichtleiter ist 12 m lang und mit einer neuartigen Reflektorfolie ausgekleidet, die einen Lichttransmissionsgrad von über 99 % aufweisen soll. Das Tageslicht wird schließlich über ein Diffusor-Leuchtenmodul ausgekoppelt und zu Beleuchtungszwecken genutzt. In Abhängigkeit von den Tageslichtverhältnissen wird Kunstlicht der Schwefellampe über horizontale Lichtrohre und elektronisch verfahrbare Schatter dosiert in die tageslichtgeflutete Zone transportiert. Diese An-

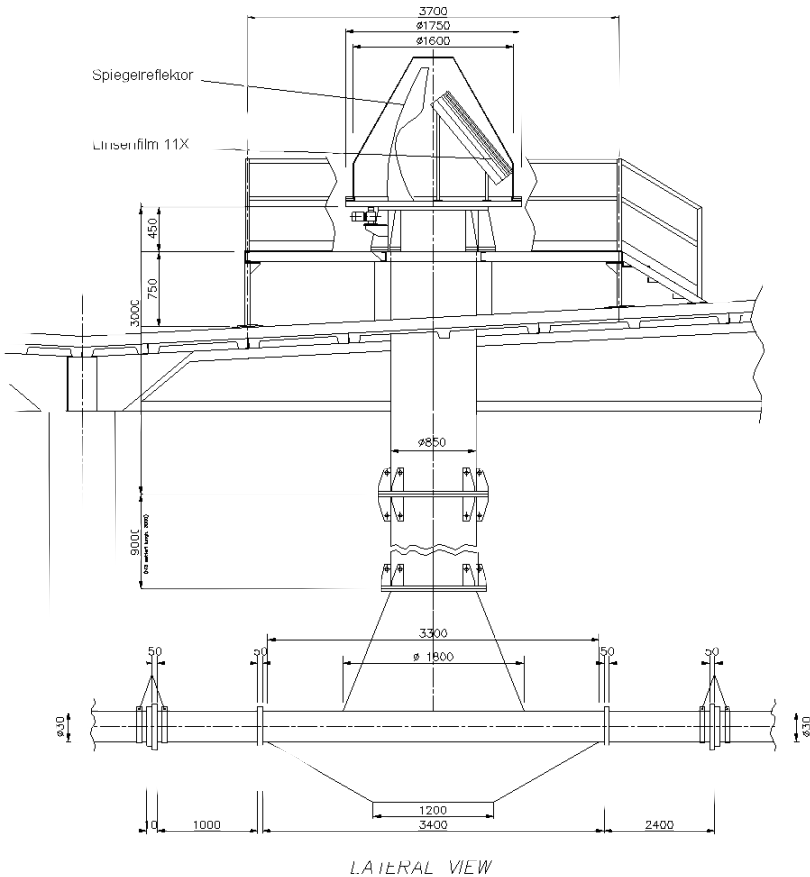


Abb. 2: Aufbau des Tageslichtmoduls

lage dient der Verbesserung der Aufenthaltsqualität an den Arbeitsplätzen durch ein zentrales auch von weitem sichtbares Tageslichtoberlicht.

Prototyp 2

Der zweite ARTHELIO-Prototyp wird zur Tageslichtbeleuchtung eines fensterlosen Treppenhauses eines Verwaltungs- und Fabrikgebäudes in Berlin aufgebaut (Abb. 4). Das auf den nachgeführten Heliostatenspiegeln auftreffende Sonnenlicht wird mit Hilfe von Fresnellinsen fokussiert und über Parabolreflektoren ins Gebäudeinnere gelenkt (Abb. 5). Hierbei wird das Sonnenlicht von einer ca. 6 m²-Spiegelfläche auf einen Lichtrohreintrittsdurchmesser von 0,3 m konzentriert, wobei auf Beibehaltung eines möglichst hohen Maßes an Parallelität des Sonnenlichtes geachtet wurde (Abb. 6). Diese Eigenschaft ist im Hinblick auf Einhaltung des Akzeptanzwinkels des prismatischen Films wichtig, der eine über die Länge des Hohllichtleiters gleichmäßige Lichtauskopplung garantieren soll. In ei-

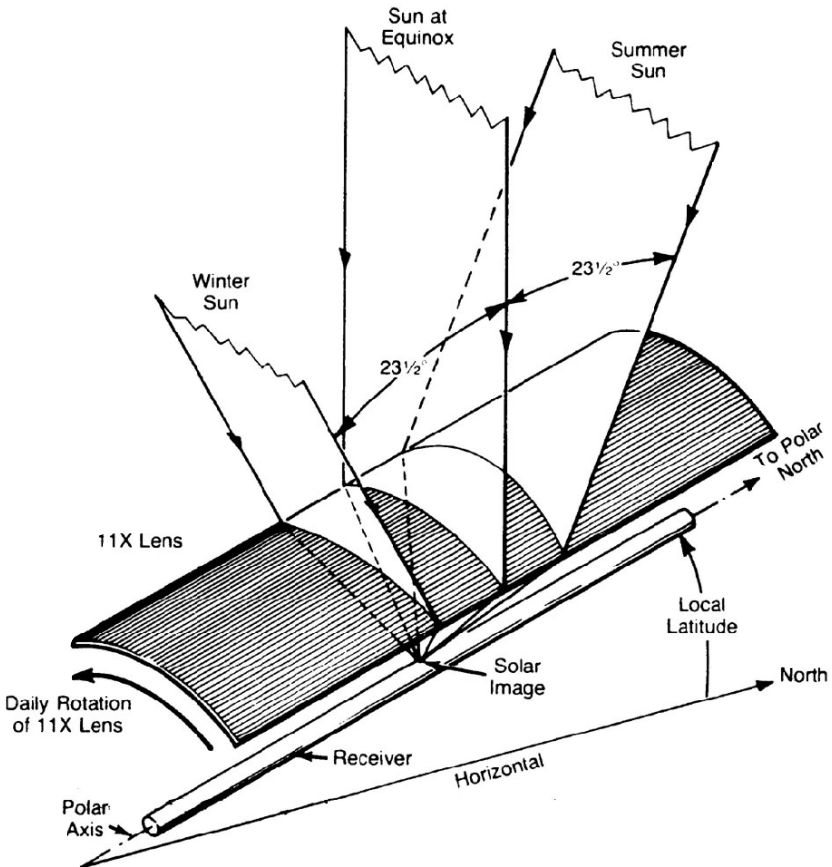


Abb. 3: Linear fokussierender Linsenfilm

ner Mischeinheit wird je nach Sonnenlichtangebot Schwefellampenlicht hinzugegeben. Die Schwefellampe ist über den EIB-Bus ansteuerbar und wird über einen Helligkeitssensor tageslichtabhängig gedimmt. Das variabel zusammengesetzte Lichtgemisch wird gleichmäßig auf zwei vertikale Hohllichtleiter aufgeteilt, die das Treppenhaus über 3 Stockwerke gleichmäßig beleuchten. Ein weiteres 90°-Umlenkmittel kann einen Spiegel in den Strahlengang drehen, so daß Sonnenlicht über einen horizontalen Hohllichtleiter in eine Lichtdecke eines nahen Besprechungsraumes geleitet werden kann (Abb. 4). Hohllichtleitersegmente mit

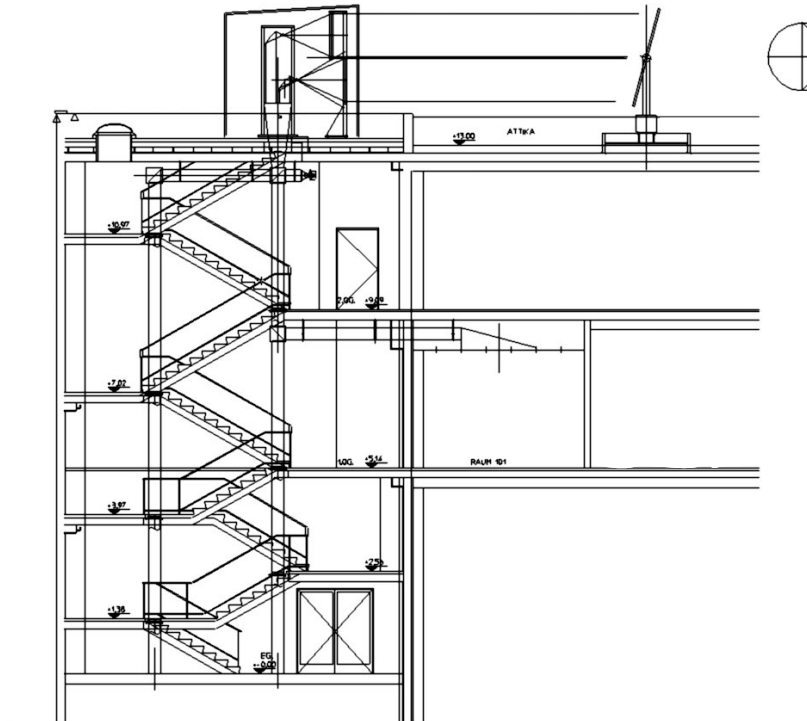


Abb. 4: Ansicht Treppenhaus Verwaltungsgebäude

ausschließlicher Transportfunktion sind ebenfalls mit der neuartigen Hochleistungsreflektorfolie ausgekleidet. Die vertikalen Hohllichtleiter mit Beleuchtungsaufgaben sind mit einem prismatischen Film (Optical Lighting Film OLF) [2] sowie einem diffus streuenden Extraktor ausgestattet. Neben der Verbesserung des visuellen Komforts wird die Anlage auch eine Einsparung an elektrischer Energie für Beleuchtung ermöglichen.

Aussichten

Bis zum Ende des Jahres werden die dargestellten Prototypenanlagen installiert, getestet und hinsichtlich lichttechnischer, energetischer und wirtschaftlicher

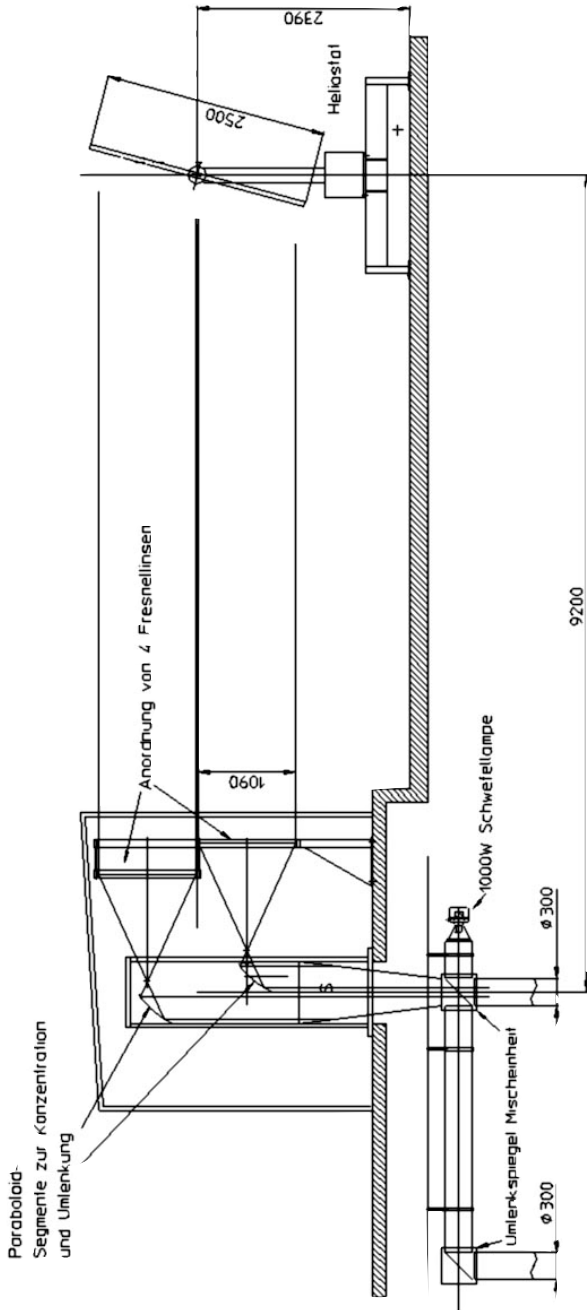


Abb. 5: Aufbau Helio-stat und Mischeinheit

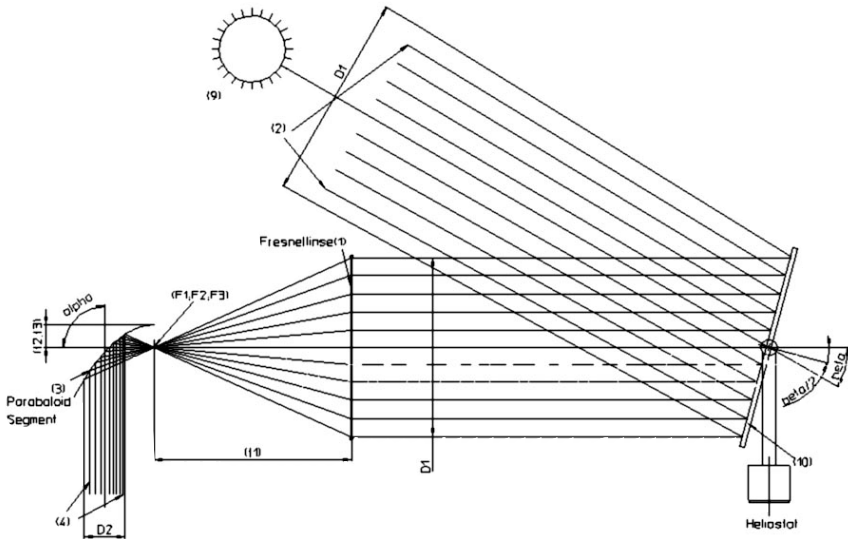


Abb. 6: Strahlengang

Kriterien bewertet sein. Zudem hinterfragen Akzeptanzuntersuchungen die Aufenthaltsqualität in den Anlagen bei verschiedenen Tageslicht/Kunstlicht-Situationen. Da sich die beiden Anlagen gerade im Bau befinden, können derzeit noch keine meßtechnischen Ergebnisse und Auswertungen dargeboten werden. Eine ausführliche Ergebnispräsentation ist für die OTTI-Tagung „Innovative Lichttechnik in Gebäuden“ im Januar 2001 geplant.

Literatur

- /1/ Produktinformation Curved Linear Concentrating Lensfilm –11X, 3M Optics Technology Development, Solar Optics Program
- /2/ Produktinformation Optical Lighting Film Typ 2301 – Technische Grundlagen, 3M Deutschland GmbH, Lichtsysteme

Goniophotometrie an Hohllichtleitern

Sven-Holger Kloss, Heinrich Kaase, Thomas Müller, Alexander Rosemann

1. Zusammenfassung

Aufgrund der großen Längen (6-30 m) von Hohllichtleitern ist die Messung der räumlichen Lichtstärkeverteilung dieser Leuchten mit herkömmlichen Goniophotometern nicht möglich. Da bei den meisten Geräten die Leuchte um ihre vertikale Achse gedreht wird, beträgt die maximale Länge der Meßobjekte ca. 2 m. Ein weiteres Problem ist die photometrische Grenzentfernung, die bei den Messungen beachtet werden muß und einen Mindestabstand empfiehlt, der 10mal den Durchmesser der leuchtenden Fläche beträgt, um einen Fehler von weniger als 1 % zu erhalten /1/.

An der TU Berlin wurde deshalb im Rahmen des ARTHELIO-Projektes /2/ eine spezielle Photometerkonstruktion mit einer CCD-Leuchtdichtkamera zur Bestimmung der Lichtstärkeverteilung im Nahfeld realisiert /3/.

2. Beschreibung des Photometers

Mit einem 65 m langen Schienensystem, das unter der Decke montiert ist, können Lichtrohre bis zu einer Länge von 32 m über die gesamte Länge mittels eines Zahnriemes verschoben werden und so abschnittsweise vermessen werden. Dazu wird das Lichtrohr an Teleskopstangen befestigt, welche auf dem Schienensystem bewegt werden können. Diese Teleskopstangen sind auf dem Zahnriemen frei verschiebbar. Das zu vermessende Teilstück wird in die Mitte des Schienensystems mit dem Meßaufbau verfahren. An der Meßstelle ist ein Kreisbogen aufgebaut (Abb. 1), der in den Stellen (A) und (B) horizontal drehbar gelagert ist. An der Innenseite dieses Bogens kann der Wagen (C) mit einem Lichtmeßkopf bewegt werden. Für kleine Lichtquellen, bei denen der Abstand Lichtquelle-Photoelement größer als die photometrische Grenzentfernung ist, kann mit einem herkömmlichen Photometermeßkopf (D) gemessen werden. Ist der Abstand kleiner als die photometrische Grenzentfernung, kommt ein bildauflösendes Verfahren mit einer CCD-Kamera (E) zum Einsatz. Der Kreisbogen ist nicht ganz geschlossen.

Ein Teilstück (F) ist ausgespart. Dies ist für das Verfahren des Lichtrohres und die Messung von Lichtquellen, bei denen das Licht an den Endstücken austritt, notwendig. Der maximale Durchmesser der Meßobjekte beträgt daher 0,5 m. Der fahrbare Wagen ist jedoch so konstruiert, daß er über diese Bogenlücke fahren kann und Messungen entlang des ganzen 360°-Bogens möglich werden. Dies wird durch mehrere Rollenpaare erreicht, die in gleichmäßigen Abständen seit-

Dipl.-Ing. S.-H. Kloss, Prof. Dr. rer.nat. H. Kaase, Dr.-Ing. T. Müller,
Dipl.-Ing. A. Rosemann
Technische Universität Berlin
Institut für Elektronik und Lichttechnik, Sekr. E6
Einsteinufer 19
D-10587 Berlin

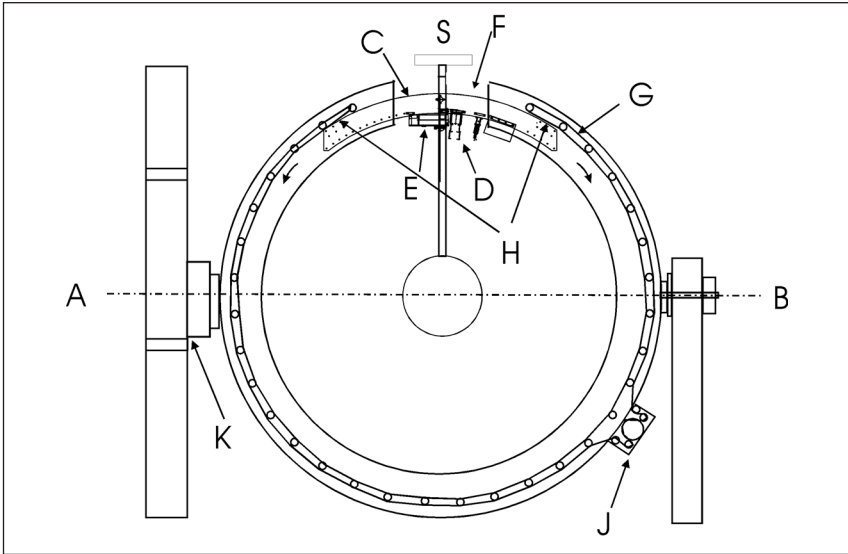


Abb. 1: Aufbau des Photometers

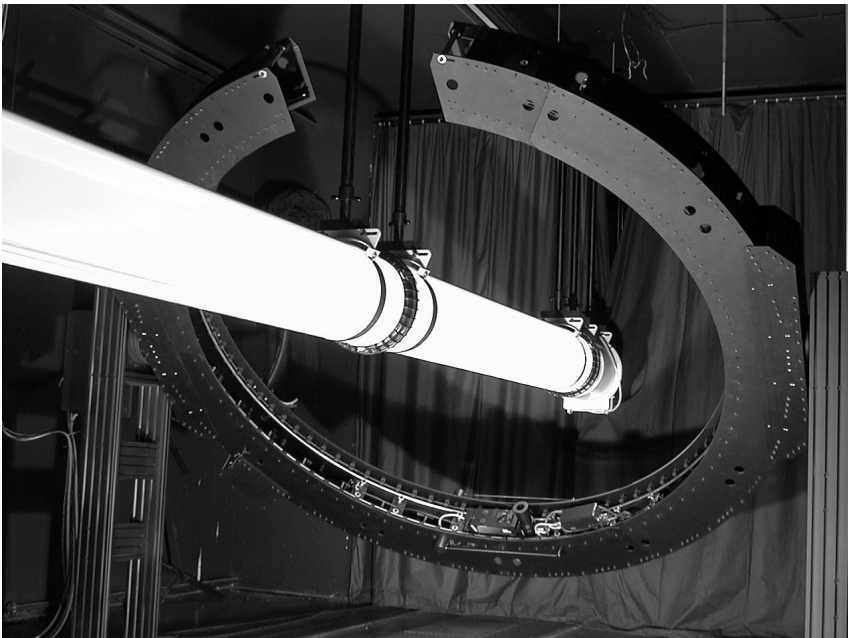


Abb. 2: Photometer mit Hohllichtleiter

lich an dem Wagen befestigt sind und von denen mindestens zwei Paare den Wagen führen, während sich dieser durch die Bogenlücke bewegt. Angetrieben wird der Wagen durch einen Endloszahnriemen (G). Die Verbindungen zwischen Zahnriemen und Wagen befinden sich an den beiden Wagenenden (H). Die jeweils hintere Verbindungsstelle bewegt den Wagen in der Bogenlücke solange, bis auf der anderen Seite die zweite Verbindungsstelle in den Zahnriemen greift. Diese übernimmt die Bewegung des Wagens, während gleichzeitig die andere Verbindung gelöst wird. Damit ist eine Bewegung der photometrischen Meßeinrichtung für beliebige Lichtquellenlängen auf einer Kugeloberfläche möglich. Dabei sind allerdings die Teile der Lichtquelle ausgenommen, die durch die gedachte Kugeloberfläche stoßen.

3. Kalibrierung und Messung

Die Lichtstromkalibrierung wurde mittels einer Normalglühlampe der Firma PRC Krochmann durchgeführt. Dabei ist es unumgänglich, eine Teleskopstange als Lampenhalter in den Drehradius des Photometers zu bringen. Die Raumwinkelzone, die dadurch nicht erfaßt werden kann, ist konstruktionsbedingt größer als bei herkömmlichen Photometern und muß entsprechend korrigiert werden. Die festgestellte relative Abweichung betrug nach der Korrektur 1,7 %. Die Kalibrierung der Lichtstärke ist aufgrund des bildauflösenden Meßverfahrens nicht mit einer Lichtstärkenormallampe möglich. Daher wurde ein Vergleich mit einer Messung des Drehspiegelgoniophotometers am Fachgebiet Lichttechnik gemacht. Die festgestellten relativen Abweichungen betragen weniger als 5 %. Die maximale Größe des photometrisch erfaßten Teilstücks, ist von dem Öffnungswinkel der CCD-Kamera abhängig und beträgt bei 61° ca. 1 m. Das zu vermessende Teilstück wird in die Mitte der Meßeinrichtung gefahren; die nicht zu erfassenden Stellen des Lichtrohres sind abzudunkeln. Die Teleskopstangen sind aus dem

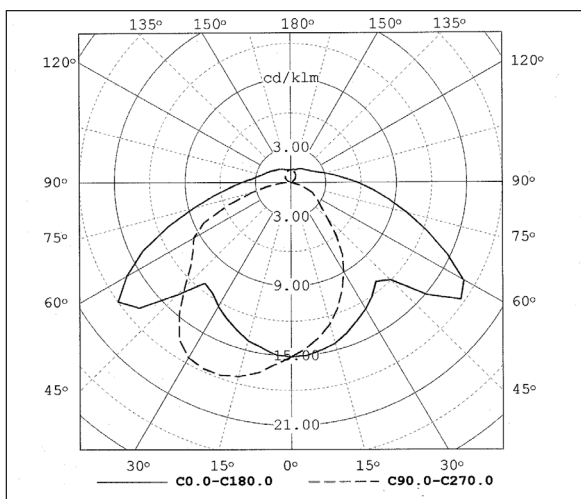


Abb. 3: Lichtstärkeverteilung am Anfang eines Hohllichtleiters mit Vorwärtscharakteristik

Drehbereich des Photometers zu entfernen. In äquidistanten Schritten wird die Kugeloberfläche abgefahren, und aus den Kamerabildern werden relative Lichtstärken berechnet. Die Meßwerte des Photometerkopfes werden sodann Absolutwerte der Lichtstärke. Raumwinkelzonen, die aufgrund der mechanischen Grenzen nicht erfaßt werden können, werden interpoliert. Die Meßdaten werden im bekannten Eulumdat-Format gespeichert und können für die Berechnung in Lichtplanungsprogrammen benutzt werden.

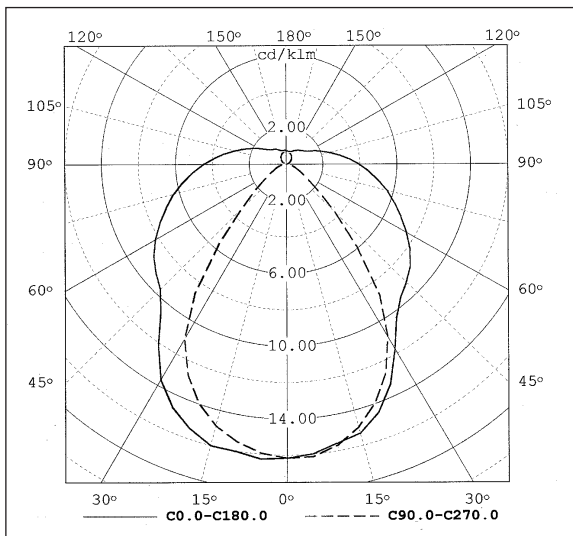
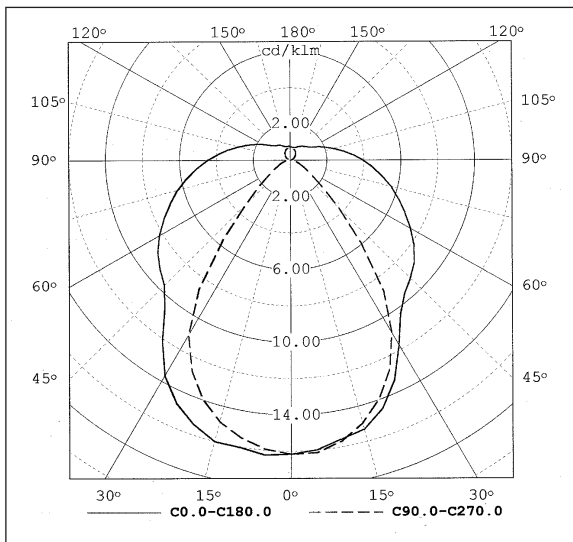


Abb. 4 und 5: Lichtstärkeverteilungskurven für 4-C-Ebenen am Anfang (links) und am Ende des Lichtrohres (rechts)

4. Ergebnisse

Es wurden Messungen an verschiedenen Hohllichtleiter-Systemen mit prismatischen Folien und an Spaltlichtleitern durchgeführt. Die Lichtstärkeverteilung der einzelnen Teilstücke kann deutlich unterschiedlich sein. Einen Einfluß darauf hat der Durchmesser des Hohllichtleiters, die Lichteinspeisung (ein- oder zweiseitig), die Form und die Anordnung der Extraktorfläche sowie die Größe des Lichtaustrittsfensters. Gemeinsam ist allen vermessenen Lichtrohrsystemen eine mehr oder weniger stark vorwärts gerichtete Ausstrahlungscharakteristik am Anfang des Rohres, hervorgerufen durch die Lichteinspeisung (siehe Abb.3).

Am Ende des Rohres, in der Nähe des Endspiegels oder der zweiten Einspeisung, kann sich diese Charakteristik umkehren. Bei Prismenlichtleitern konnte bei Lichtaustrittsfenstern von 180° eine Änderung der Ausstrahlungscharakteristik von breitstrahlend am Anfang des Rohres zu tiefstrahlend am Ende des Systems festgestellt werden (Abb. 4 und 5)

Ebenso unterschiedlich wie die Lichtstärkeverteilungen stellten sich auch die Wirkungsgrade der einzelnen Systeme dar (Tab. 1). Generell haben Lichtleiter mit prismatischer Folie (System A und B) aufgrund der besseren Reflexionseigenschaften einen höheren Wirkungsgrad als Spaltlichtleiter (D), wenn vergleichbare geometrische Abmessungen vorhanden sind.

Der Wirkungsgrad des Lichtrohres η_{pipe} ist bei großen Durchmessern (System B) aufgrund der geringeren Anzahl der Reflexionen größer. Dieser Nachteil des kleineren Systems (C) wird durch den besseren Leuchtenbetriebswirkungsgrad des einspeisenden Strahlers wieder ausgeglichen. Durch die Verwendung von Reflektorlampen bei Hohllichtleitern mit kleinem Durchmesser nähern sich die Gesamtwirkungsgrade der Systeme an. Eine Sonderstellung nimmt die Schwefellampe /4/ ein, für die kein Leuchtenbetriebswirkungsgrad ermittelt werden

	A	B	C	D
	Prismenfolie 5m ø 25cm Schwefellampe 1400W	Prismenfolie 6m ø 25cm HIT-Lampe 1000W	Prismenfolie 6m ø 10cm HIT-R-Lampe 70W	Spaltlichtleiter 5,4m ø 23cm HIT-Lampe 400W
η_{pipe}	66,2 %	82,6 %	51,1 %	55,7 %
η_{LB}	-	53,3 %	81,5 %	52,1 %
η_{gesamt}	-	44,1 %	41,6 %	29,0 %
Lichtausbeute lm/W	56,7	33,3	26,0	21,2

Tab. 1: Wirkungsgrade von verschiedenen Hohllichtleitersystemen

kann. Aus Tabelle 1 erkennt man jedoch, daß eine bessere Abstimmung des Hohllichtleiters auf diesen Lampentyp möglich ist.

Eine Herausforderung an die Herstellung von hohlen Lichtleitern ist ein möglichst gleichmäßiges Auskoppeln des Lichtes entlang ihrer Längsachse. Dazu wurden Untersuchungen an prismatischen Hohllichtleitern mit 25 cm Durchmesser und einseitiger Lichteinspeisung durchgeführt. Es wurden Längen zwischen 4m und 20 m untersucht, die aus 12 verschiedenen 2 m-Modulen zusammengesetzt werden konnten.

In Abb. 6 sieht man bei allen untersuchten Typen einen erhöhten Lichtstrom am Anfang des Rohres. Ursache hierfür ist die Strahlung der Lichtquelle außerhalb des Akzeptanzwinkels der Prismenfolie, die unabhängig vom Extraktor den Hohllichtleiter verläßt. Weiterhin ist zu erkennen, daß ab ca. 10 m Länge eine akzeptable Gleichmäßigkeit erreicht wird.

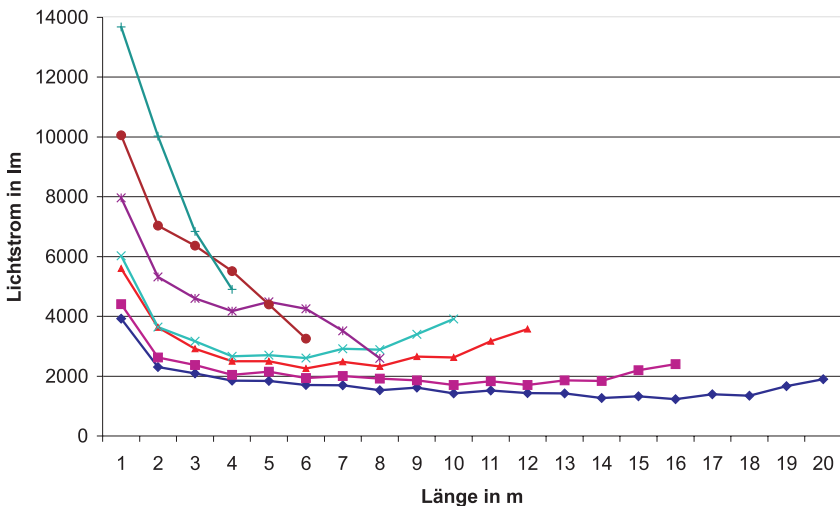


Abb. 6 Teillichtstrom in Abhängigkeit von der Länge

Literatur

- /1/ Hentschel, H.-J.; „Licht und Beleuchtung“, Hüthig Verlag, 4. Auflage 1994
- /2/ Müller, T., Kloss, S.-H., Rosemann, A., Kaase, H.; ARTHELIO – Ein Europäisches Forschungsprojekt zur kombinierten Nutzung von Tageslicht und dem Kunstlicht der Schwefellampe in Gebäuden; Tagungsband OTTI – Fünftes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Kloster Banz, 1999, S. 34-40
- /3/ Riemann, M., Schmidt, F., Poschmann, R.; Zur Bestimmung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten innerhalb der fotometrischen Grenzentfernung mittels eines bildauflösenden Goniofotometers; Licht 7-8, 1993 S. 592-597
- /4/ Kloss, S.-H., Müller, T., Rosemann, A., Steinwandt, C., Kaase, H.; Photometrische und spektrale Eigenschaften der Schwefellampe; Tagungsband OTTI - Fünftes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Kloster Banz, 1999, S. 223-228

Eine Kategorisierung der Himmelszustände für Ankara/Türkei

Dilek Enarun, Alpin Köknel Yener

1. Einleitung

Es ist eine bewährte Methode, zur Energieeinsparung das Tageslicht im Innenraum als ergänzende Lichtquelle zu verwenden. Um das Tageslicht in die Berechnung der Beleuchtung des Innenraumes zu integrieren, ist das Wissen um die Leuchtdichteverteilung des Himmels unumgänglich. Aber in den Ländern, wo die Leuchtdichteverteilung des Himmels nicht gemessen worden ist, muß man andere Methoden verwenden, um bei den Tageslichtberechnungen einigermaßen richtige Ergebnisse zu bekommen.

In der Türkei ist die Leuchtdichteverteilung des Himmels bis jetzt noch nicht bemessen worden. Auch eine Messung der Zenithleuchtdichte über eine angemessene Zeitspanne liegt nicht vor, dagegen sind die stündlichen Daten über die globalen, direkten und diffusen Bestrahlungsstärken und Besonnungsintervalle für die Zeitspanne 1982-1984 vorhanden.

In dieser Arbeit ist eine Kategorisierung des Himmelszustandes mit den vorhandenen Daten für Ankara nach einer von Corbella für Rio de Janeiro gebrauchte Methode ausgeführt worden. Die Himmelszustände sind nach dem Bereich des Bewölkungsindex in fünf Kategorien unterteilt worden. Diese Kategorien sind stark bewölkt, bewölkt, mittel klar, klar und total klar. Es ist möglich, den Bewölkungsindex mit den vorhandenen Daten zu errechnen, und die Vorkommenshäufigkeit des jeweiligen Himmelszustandes als eine tabellarische Funktion der Sonnenscheinwahrscheinlichkeit zu präsentieren, womit ein einfaches Werkzeug für die Tageslichtplanung erschaffen wird.

2. Beschreibung der Methode

Die stündlichen Daten für Ankara (Breite 39°57', Länge 32°53') über die globalen, direkten und diffusen Bestrahlungsstärken und Besonnungsintervalle für die Zeitspanne 1982-1984 sind von dem Staatlichen Amt für Meteorologie erhalten. Diese Daten haben wir nach „Guide to Recommended Practise of Daylight Measurement“ geprüft /1/. Der Prüfungsprozeß besteht aus zwei Schritten. Der erste Schritt enthält die folgenden Prüfungen für die Meßwerte von den globalen, diffusen und direkten Bestrahlungsstärken:

$$0 < E_{eg} < 1.2 E_{e0} \quad (1)$$

$$0 < E_{ed} < 0.8 E_{e0} \quad (2)$$

$$0 < E_{es} < E_{e0} \quad (3)$$

Prof. Dr. D. Enarun
Technische Univ. Istanbul, Fakultät f. Elektrik u. Elektronik,
Maslak 80626
TR-Istanbul

Ass. Prof. Dr. A. K. Yener
Technische Univ. Istanbul, Fakultät f. Architektur,
Taşıkşla Taksim 80191
TR-Istanbul

- E_{eg} : globale Bestrahlungsstärke
- E_{e0} : extaterrestrische Bestrahlungsstärke
- E_{ed} : diffuse Bestrahlungsstärke
- E_{es} : direkte Bestrahlungsstärke

Im zweiten Schritt wird die folgende Prüfung durchgeführt:

$$E_{eg} = (E_{es} \cos \Theta_z + E_{ed}) \pm 25\% \tag{4}$$

Als Annäherung für die oben gegebenen Gleichungen wurden als 25% angenommen. Wenn die stündlichen Meßwerte der globalen, diffusen und direkten Bestrahlungsstärken von Ankara nach diesen Gleichungen und Ungleichungen geprüft werden, bleibt die in der Spalte 4 der Tabelle 1 gegebene Anzahl von Meßwerten als verwendbar. Nach dieser Prüfung nach „Guide to Recommended Practise of Daylight Measurement“ ist eine zweite Elimination von den Meßwerten ausgeprüft worden, weil die Berechnungen mit den Werten, die zu den Meßergebnissen von Sonnenhöhen unter 1° gehören, anomale Ergebnisse geben.

Jahr	Monat	Anzahl der Meßwerten	Anzahl der Meßwerten nach der Prüfung	Anzahl der Meßwerten nach der Prüfung und 2. Elimination
82	Dezember	310	118	111
83	August	434	231	230
83	September	392	205	199
83	October	351	176	175
83	November	320	164	161
83	Dezember	310	108	106
84	Januar	270	81	81
84	Februar	310	186	184
84	März	375	215	215
84	April	414	236	234
84	Mai	456	273	271
84	Juni	367	268	261

Tabelle 1: Anzahl der Meßwerte von den Bestrahlungsstärken für Ankara zwischen 1982-1984

Nach Corbella ist der Bewölkungsindex I_n als die Division vom gemessenen atmosphärischen Transmissionsgrad τ_m durch den theoretischen atmosphärischen Transmissionsgrad τ_t definiert /2/:

$$I_n = \tau_m / \tau_t \tag{5}$$

Der gemessene atmosphärische Transmissionsgrad τ_m ist gegeben als

$$\tau_m = I_d / I_g \tag{6}$$

wobei I_g die stündliche globale Bestrahlungsstärke, I_d die stündliche direkte Bestrahlungsstärke ist. Um den theoretischen atmosphärischen Transmissionsgrad τ_t zu bestimmen, kann man die folgende Gleichung von Angström mit Konstanten von Dogniaux und Lemoine für Europa und Mittelost verwenden /2/, /3/:

$$\tau_t = A_t + B_t s_m \tag{7}$$

A_t, B_t : Konstanten, die das lokale Bestrahlungsklima charakterisieren

s_m : monatliche durchschnittliche relative Sonnenscheindauer

$$A_t = 0.37022 - 0.00313 \phi \quad (8)$$

$$B_t = 0.32029 + 0.00506 \phi \quad (9)$$

Die geographische Breite ϕ , die für Norden (+) und für Süden (–) angenommen wurde, ist von Ankara ist $39^{\circ}57'$.

Die Himmelszustände sind nach dem Bereich des Bewölkungsindex in fünf Kategorien, wie in der folgenden Tabelle gegeben, unterteilt worden. Diese Kategorien sind stark bewölkt, bewölkt, mittel klar, klar und total klar.

Himmelszustände	Bereiche für Bewölkungsindex
T1 – stark bewölkt	$0.00 \leq I_n < 0.05$
T2 – bewölkt	$0.05 \leq I_n < 0.20$
T3 – mittel klar	$0.20 \leq I_n < 0.70$
T4 – klar	$0.70 \leq I_n < 0.90$
T5 – total klar	$0.90 \leq I_n < 1.00$

Tabelle 2.: Die Himmelszustände nach dem Bereich des Bewölkungsindex

Die Sonnenscheinwahrscheinlichkeit SSW ist mit der folgenden Gleichung ermittelt worden:

$$SSW = T_s / T_m \quad (10)$$

T_s : Sonnenscheindauer in einer Stunde

T_m : mögliche Sonnenscheindauer in einer Stunde

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in tabellarischer Form in den Tabellen 3 bis 14 für die einzelnen Monaten gegeben. In jeder dieser Tabellen sind die Vorkommenshäufigkeit der Himmelszustände als Funktion der Sonnenscheinwahrscheinlichkeit dargestellt worden. Die daraus folgenden Grafiken sind in den Abbildungen 1 bis 12 gegeben worden. Jede dieser Grafiken zeigt die Veränderung der Vorkommenshäufigkeit der Himmelszustände in einem Jahr mit der Sonnenscheinwahrscheinlichkeit als Parameter.

Wie in der Tabelle 1 dargestellt ist, sind die Anzahl der vorhandenen Daten wegen der Prüfungen stark reduziert worden. Deswegen treten in den Tabellen und in den Figuren häufig Null-Werte auf. In den Figuren sieht man außerdem die völlige Abwesenheit der Daten für Juli. Aber trotz dieser fehlenden Daten bekommt man von diesen Tabellen und Figuren einen Überblick auf das zur Verfügung stehende Tageslicht für Ankara. Durch Verwendung derartiger Daten in Tageslichtberechnungen kann man das zur Verfügung stehende Tageslicht bestimmen, damit eine Vorausberechnung des ergänzenden Kunstlichtes ermöglicht wird.

Literaturverzeichnis

1. Corbella, O.D., Sky Luminosity Categorisation for Rio de Janeiro City, Brazil, Lighting Res.Technol. 29(2) s. 69-79, 1977
2. Anon, Guide to Recommended Practise of Daylight Measurement, CIE 108-1994
3. Kittler, R., A New Concept for Standardizing the Daylight Climate State, Papers of VI. Lux-Europa 1989 Budapest, s. 303-312

Tab. 3. Vorkommenshaeufigkeit der Himmelszustaende als Funktyon der SSW, Januar 1984

SSW	T1	T2	T3	T4	T5
0	2.1	4.3	21.3	25.5	46.8
0.1	0	0	20	20	60
0.2	0	0	0	0	100
0.3	0	0	0	0	100
0.4	0	0	20	20	60
0.5	0	0	0	0	100
0.6	0	0	33.3	33.3	33.3
0.7	0	0	0	0	100
0.8	0	0	0	66.7	33.3
0.9	0	0	0	0	0
1	0	0	16.7	0	83.3

Tab. 4. Vorkommenshaeufigkeit der Himmelszustaende als Funktyon der SSW, Februar 1984

SSW	T1	T2	T3	T4	T5
0	3.6	2.4	37.4	30.1	26.5
0.1	0	0	15.4	23.1	61.5
0.2	0	0	0	100	0
0.3	0	0	33.3	0	66.7
0.4	0	0	0	0	100
0.5	0	0	75.0	25.0	0
0.6	0	0	0	100	0
0.7	0	0	20	0	80
0.8	0	0	33.3	0	66.7
0.9	0	0	0	14.3	85.7
1	0	0	1.8	1.8	96.4

Tab. 5. Vorkommenshaeufigkeit der Himmelszustaende als Funktyon der SSW, Maerz 1984

SSW	T1	T2	T3	T4	T5
0	0	1.9	35.8	12.3	50
0.1	0	0	22.2	11.1	66.7
0.2	0	0	16.7	16.7	66.6
0.3	0	0	0	12.5	87.5
0.4	0	0	12.5	0	87.5
0.5	0	0	0	10	90
0.6	0	0	0	0	100
0.7	0	0	0	0	100
0.8	0	0	0	0	100
0.9	0	0	0	0	100
1	0	0	0	0	100

Tab. 6. Vorkommenshaeufigkeit der Himmelszustaende als Funktyon der SSW, April 1984

SSW	T1	T2	T3	T4	T5
0	3.6	8.4	33.7	12.1	42.2
0.1	0	0	20.0	26.7	53.3
0.2	0	0	0	28.6	71.4
0.3	0	0	22.2	0	77.8
0.4	0	0	0	25	75
0.5	0	0	12.5	12.5	75
0.6	0	0	0	20	80
0.7	0	0	25	0	75
0.8	0	0	28.6	14.3	57.1
0.9	0	0	0	8.3	91.7
1	0	2.8	0	1.4	95.8

Tab. 7. Vorkommenshaeufigkeit der Himmelszustaende als Funktyon der SSW, Mai 1984

SSW	T1	T2	T3	T4	T5
0	9.7	14.5	48.4	12.9	14.5
0.1	0	12.5	62.5	0	25
0.2	0	0	75	0	25
0.3	0	0	80	20	0
0.4	0	0	40	40	20
0.5	0	33.3	33.3	0	33.4
0.6	0	0	20	0	80
0.7	0	0	42.9	14.2	42.9
0.8	0	0	50	0	50
0.9	0	0	30	10	60
1	0	0	7.7	4.5	87.8

Tab. 8. Vorkommenshaeufigkeit der Himmelszustaende als Funktyon der SSW, Juni 1984

SSW	T1	T2	T3	T4	T5
0	16.6	35.7	28.6	14.3	4.8
0.1	0	0	100	0	0
0.2	0	0	66.7	0	33.4
0.3	0	0	66.7	33.4	0
0.4	0	0	71.4	28.6	0
0.5	0	0	58.3	16.7	25
0.6	0	0	71.4	0	28.6
0.7	0	0	77.8	0	22.2
0.8	0	0	0	60	40
0.9	0	0	16.7	16.7	66.6
1	0	0	5.1	3.8	91.1

Tab. 9. Vorkommenshaeufigkeit der Himmelszustaende als Funktýon der SSW, August 1983

SSW	T1	T2	T3	T4	T5
0	14.3	14.3	14.3	57.1	0.0
0.1	0	0	0	33.3	66.7
0.2	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0
0.4	0	0	50	0	50
0.5	0	0	40	60	0
0.6	0	0	0	66.7	33.3
0.7	0	0	37.5	37.5	25
0.8	0	0	0	0	100
0.9	0	0	0	16.7	83.3
1	0	0	2.1	3.7	94.2

Tab. 10. Vorkommenshaeufigkeit der Himmelszustaende als Funktýon der SSW, September 1983

SSW	T1	T2	T3	T4	T5
0	37.5	6.25	25.0	25.0	6.25
0.1	0	0	0	100	0
0.2	0	0	100	0	0
0.3	0	0	66.7	33.3	0
0.4	0	0	66.7	0	33.3
0.5	0	0	50	50	0
0.6	0	0	0	66.7	33.3
0.7	0	0	33.3	33.3	33.4
0.8	0	0	50	0	50
0.9	0	0	0	25	75
1	0	0	2	7.1	90.9

Tab. 11. Vorkommenshaeufigkeit der Himmelszustaende als Funktýon der SSW, Oktober 1983

SSW	T1	T2	T3	T4	T5
0	2.1	10.4	52.1	22.9	12.5
0.1	0	0	33.3	33.3	33.4
0.2	0	0	44.4	11.1	44.5
0.3	0	0	40	0	60
0.4	0	0	100	0	0
0.5	0	0	100	0	0
0.6	0	0	0	66.7	33.3
0.7	0	0	33.3	50	16.7
0.8	0	0	42.9	14.2	42.9
0.9	0	0	0	0	100
1	0	0	3.7	12.3	84

Tab. 12. Vorkommenshaeufigkeit der Himmelszustaende als Funktýon der SSW, November 1983

SSW	T1	T2	T3	T4	T5
0	4.2	3.2	30.9	29.8	31.9
0.1	0	16.7	0	16.7	66.6
0.2	0	0	33.3	0	66.7
0.3	0	0	14.3	28.6	57.1
0.4	0	0	33.3	33.3	33.4
0.5	0	0	16.7	16.7	66.6
0.6	0	0	0	0	100
0.7	0	0	0	25	75
0.8	0	0	22.2	11.1	66.7
0.9	0	0	14.3	14.3	71.4
1	0	0	0	15.4	84.6

Tab. 13. Vorkommenshaeufigkeit der Himmelszustaende als Funktýon der SSW, Dezember 1983

SSW	T1	T2	T3	T4	T5
0	4.6	1.5	38.5	40.0	15.4
0.1	0	0	14.2	42.9	42.9
0.2	0	0	12.5	12.5	75.0
0.3	0	0	40	20	40
0.4	0	0	100	0	0
0.5	0	0	20	40	40
0.6	0	0	0	0	100
0.7	0	0	25	0	75
0.8	0	0	0	33.3	66.7
0.9	0	0	100	0	0
1	0	0	0	50	50

Tab. 14. Vorkommenshaeufigkeit der Himmelszustaende als Funktýon der SSW, Dezember 1982

SSW	T1	T2	T3	T4	T5
0	9.3	8.0	46.7	29.3	6.7
0.1	0	0	22.2	44.4	33.4
0.2	0	0	16.7	66.6	16.7
0.3	0	0	33.3	66.7	0
0.4	0	0	25	75	0
0.5	0	0	0	50	50
0.6	0	0	0	0	100
0.7	0	0	0	50	50
0.8	0	0	0	0	100
0.9	0	0	0	0	100
1	0	0	0	0	100

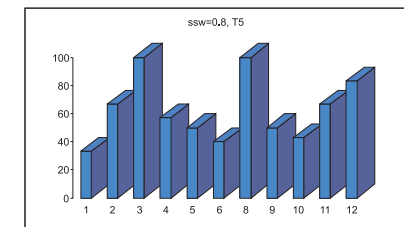
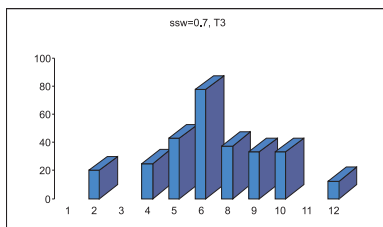
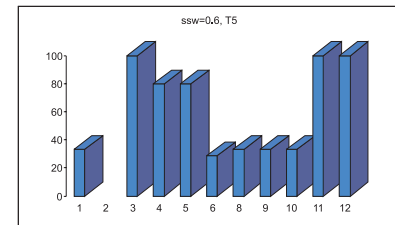
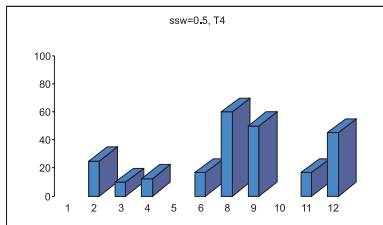
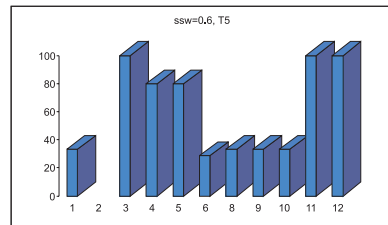
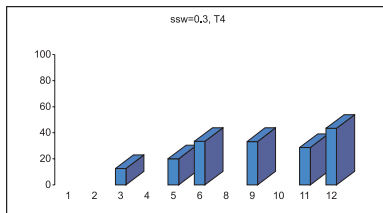
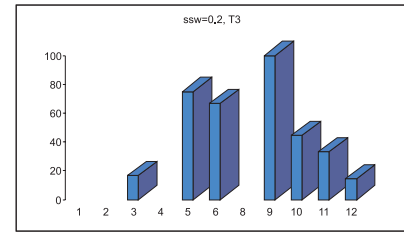
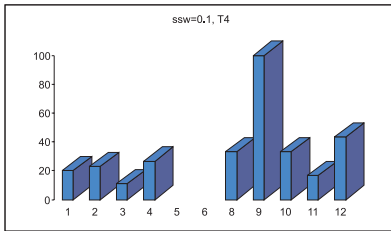
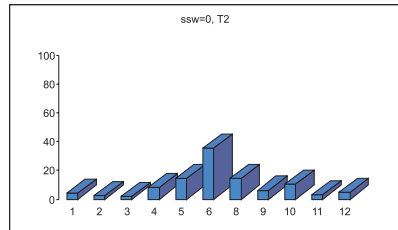
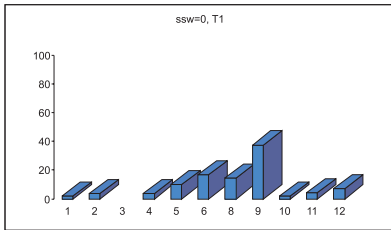


Abb. 1-10: Die monatlichen Veränderungen des Himmelszustandes T = 1 bis T = 5 in einem Jahr mit den jeweils in Grafiken angegebenen Parametern SSW

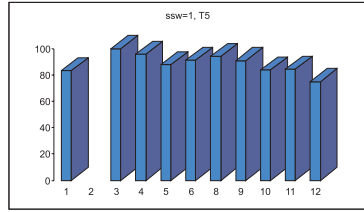
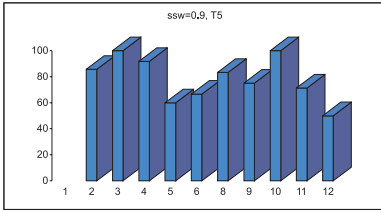


Abb. 11 und 12: Die monatlichen Veränderungen des Himmelszustandes $T = 1$ bis $T = 5$ in einem Jahr mit den jeweils in Grafiken angegebenen Parametern SSW

Die Industrie in das richtige Licht gerückt – Die Autostadt in Wolfsburg und die gläserne Manufaktur Dresden

Gunter Henn

1. Gebäude sind soziale Tatsachen, die sich räumlich formen
2. Licht – das unsichtbare architektonisches Element
3. Arbeit im richtigen Licht

1. Gebäude sind soziale Tatsachen, die sich räumlich formen
Wir sind es gewohnt, Architektur als Objekt, als Gebäude zu sehen und in visuellen Begriffen zu diskutieren. Architektur hat jedoch ihren weitreichendsten praktischen Effekt nicht auf der Ebene der äußeren Erscheinung, sondern auf der Ebene des Raumes, in dem wir unserer materiellen Welt Form und Gestalt verleihen. Die Architektur strukturiert das Raumsystem, in dem wir leben und uns bewegen. Indem sie das tut, hat sie nicht nur eine symbolische, sondern eine unmittelbare Beziehung zum sozialen Verhalten, denn Architektur liefert die Vorbedingungen für Muster der Bewegung, der Begegnung und der Vermeidung. In diesem Sinne durchzieht die Architektur unsere alltägliche Erfahrung weit stärker als es uns die vornehmliche Beschäftigung mit ihren sichtbaren Eigenschaften vermuten lässt.

Tom Peters hat in seinem Buch „Jenseits der Hierarchien/Liberation Management“ aus dem Jahre 1993 in diesem Zusammenhang festgestellt:
„In der Tat ist das Management von Raum vielleicht das am wenigsten beachtete – und wirksamste – Werkzeug, einen kulturellen Wandel herbeizuführen, Innovationsprojekte zu beschleunigen und den Lernprozess in weit verstreuten Organisationen zu fördern. Während wir uns endlos mit Ausrüstungsfragen, beispielsweise der Bürofläche, die den Mitarbeitern verschiedener Positionen zur Verfügung gestellt wird, herumquälen, beachtet keiner von uns die wichtigste strategische Frage – die Parameter des miteinander in Kontaktretens.“

Es ist daher wichtig, sich Gedanken darüber zu machen, wie Raumkonfigurationen soziales Verhalten initiieren und welche räumlichen Entsprechungen bestimmte soziale oder organisatorische Tatsachen bewirken. Jede soziale, organisatorische Tatsache hat eine räumliche Dimension und jeder Raum oder jede Raumkonfiguration hat eine soziale, organisatorische Dimension.

Diese Tatsache durchzieht die Architektur von Anbeginn bis heute. Man kann das sehr anschaulich bei Klosteranlagen studieren. Klöster waren früher die wichtigen geistigen Zentren. Die beiden Parameter der geistigen Tätigkeit sind

Prof. Dr.-Ing. Architekt Gunter Henn
Henn GmbH
Augustenstraße 54
D-80333 München

Konzentration und Kommunikation. Die räumlichen Entsprechungen dieser beiden Verhaltensweisen sind räumlich umgesetzt in der Klosterzelle für die Konzentration und dem Kreuzgang für die Kommunikation. Auch wenn wir heute besonders frühere Bauten hauptsächlich in ihrer äußeren Erscheinung, den Materialien und den Proportionen diskutieren und empfinden, müssen wir uns immer wieder klar machen, daß Gebäude soziales Verhalten initiieren und daraus entstanden sind.

Wenn heute Unternehmen nicht nur Produktionsorte darstellen, sondern sich zu Innovationszentren gewandelt haben, muß man darauf auch räumlich reagieren. Tom Allen vom MIT hat in einer Langzeitstudie festgestellt, daß 80 % aller innovativen Gedanken durch persönliche Kommunikation entstehen. Es gilt, in Unternehmen Wissensdesign zu betreiben, d.h. auf der Basis von Informationen durch unmittelbaren kommunikativen Austausch neue Gedanken zu generieren. Gerade bei der Perfektionierung der technischen Kommunikationsmittel wird der Wert der sozialen Face-to-Face-Kommunikation immer höher – die Parameter des miteinander in Kontakttretens. „Information ist allenfalls der Mist auf dem Wissen wachsen kann“ – hat einmal sehr anschaulich Konrad Lorenz gesagt.

Es gilt, die Innovationsmuster, Wissensstrukturen, Organisationsstrukturen in einem Unternehmen zu entwickeln und zu gestalten und dafür die entsprechenden räumlichen Konfigurationen zu entwerfen.

2. Licht – das unsichtbare architektonische Element

Auch eine falsche, unpassende Lichtgestaltung drückt nicht nur eine andere soziale Tatsache aus, sondern behindert das als notwendig erkannte und angestrebte soziale Verhalten. So gilt es, ein Bauwerk nicht nur als Masse, als Skulptur, als Konstruktion oder als Gefüge unterschiedlicher Materialien anzusehen, sondern Licht als Gestaltungsmittel einzusetzen. Jede Architektur, jede Form und jedes Material spiegelt und reflektiert Licht, lenkt es, absorbiert es, saugt es auf und bringt es zum Strahlen. Licht lehrt, die gewohnte Trennungslinie zwischen Energie und Stofflichkeit zu überwinden.

Licht muß in der Architektur, möglichst vom Beginn des Entwurfsprozesses an, als integraler Bestandteil eines Gebäudes behandelt werden. Die drei Dimensionen des Lichts – Quantität, Qualität und Ausdruck – müssen optimal miteinander verbunden werden. Gute Lichtarbeit in diesem Sinne ist ein hervorragendes Zusammenwirken von Raum, Form und Material. Erst das Licht verleiht der Architektur eine Identität. Licht inszeniert Architektur.

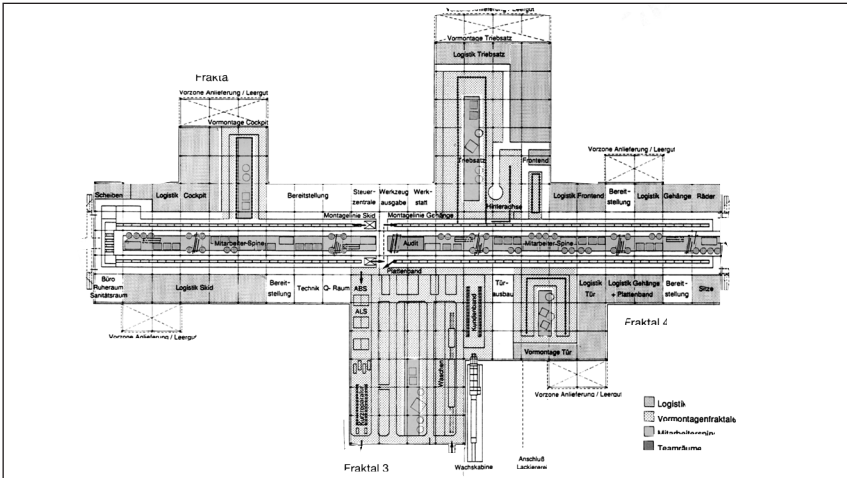
3. Arbeit im richtigen Licht

Der Optimierung des Tageslichteinfalls ist in zunehmendem Maße Bedeutung beizumessen. Insofern wird im Zusammenspiel zwischen Kunst- und Tageslicht in Zukunft Tageslicht auch aus ökologischen Gründen eine wesentlich größere Bedeutung erhalten.

Licht wird sich in Zukunft den veränderten Arbeitsverhältnissen anpassen müssen. Es geht darum, tageslichtdurchflutete außenraumähnliche Bereiche zu

schaffen. Beleuchtung muß integrativer Bestandteil der architektonischen Planung sein. Konstruktionen und Akzente sind so zu beleuchten, daß Form und Inhalt Wichtigkeit erhalten, nicht die Konstruktion der Beleuchtung ist wichtig.

Das Montagewerk Škoda sieht nicht aus wie eine Fabrik, sondern gleicht eher einem High-Tech-Großlabor oder Atelier. Die vollkommen in Glas aufgelösten Giebelwände sind Ausdruck von Transparenz nach außen. Wo das Tageslicht nicht über die großflächige Giebelfassade dringt, wird es über eine doppelte



© HENN

Abbildungen 1 und 2

Oberlichtreihe in den Raum geführt. In der hellen Fabrik stellt sich so eine freundliche Atmosphäre ein, die die Qualität der Montage fördert. (Abb.1–2)

Neben der Transparenz der Giebelfassaden bestimmen im wesentlichen die Oberlichtreihen im Bereich des Spine den Tageslichtcharakter der Fabrik im Innern und erhöhen so gleichzeitig dessen Bedeutung. Die Mitte tritt als hellste Zone, vergleichbar einer Mall als architektonischer Bereich deutlich hervor, diese Überhöhung des Menschen brachte der Fabrik auch den Namen „Die Kathedrale von Mlada Boleslav“ ein. Das Licht ist hier wie bei einer Mall eingesetzt, um einen Anreiz zu schaffen als grundlegende Voraussetzung menschlicher Kommunikation an diesem Ort.

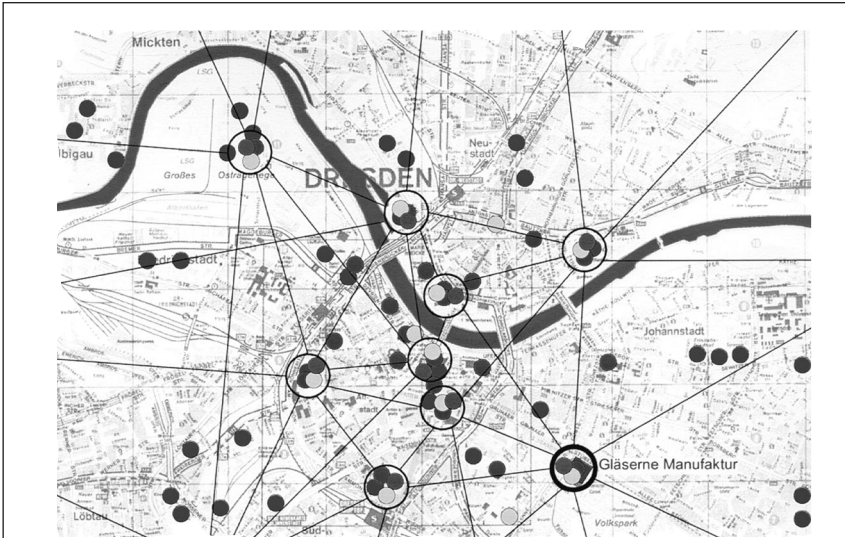
Entgegen dem traditionellen Industriebau, der im fassadennahen Bereich die größte Helligkeit besitzt und mit zunehmender Vertiefung in das Gebäude an Dunkelheit zunimmt, wird hier das umgekehrte Ziel angestrebt und entsprechend umgesetzt.

Neben der entwurflichen Betonung führt dies auch zu einer gleichmäßigen Ausleuchtung der Mittelzone als Voraussetzung für die Anordnung von Arbeitsplätzen im Sinne der Arbeitsstättenrichtlinien. So wird beispielsweise in der Mittelzone ein Tageslichtquotient von 10 wirksam, das entspricht etwa einer lux-Zahl von 900–3000lux in Abhängigkeit von der Wettersituation, für einen normalen Büroarbeitsplatz sind ca. 500 lux erforderlich, der Montagebereich weist immer noch einen Tageslichtquotienten von 6 auf, während im traditionellen Industriebau von Tageslichtquotienten von 1 bis 2 ausgegangen wird und damit immer Kunstlicht erforderlich ist.

Die Glasfassade der in Dresden zur Zeit entstehenden Gläsernen Manufaktur ermöglicht es, Tageslicht bis in die Tiefe des Gebäudes zu leiten. So wird die interne Kommunikation über die Geschosse hinweg gefördert und die internen Abläufe nach außen transparent gemacht. Die gläserne Haut gibt dem Bau ein je nach Tageslicht immer wieder neues Licht-Gesicht. (Abb.3–6)

Tages- und Kunstlicht gehen hier eine überzeugende Symbiose ein. Der winkelförmige Gebäudekomplex zur Endmontage von Luxuslimousinen ist durch die verglasten Flächen natürlich beleuchtet. In der Nacht gehen Außen und Innen des erleuchteten Baus ineinander über. Die in das Foyer eingestellten farbig angestrahlten Kuben schimmern wie eine getönte Häuserfront und machen diesen Bereich zu einer spannungsvollen Abfolge unterschiedlicher Raumerlebnisse. Kräftige Farbtöne verstärken die kubische Architektursprache und das Raumerlebnis. Das Licht unterstützt die Funktionen des Gebäudekomplexes und hilft, die großen Fassadenflächen richtig zu akzentuieren.

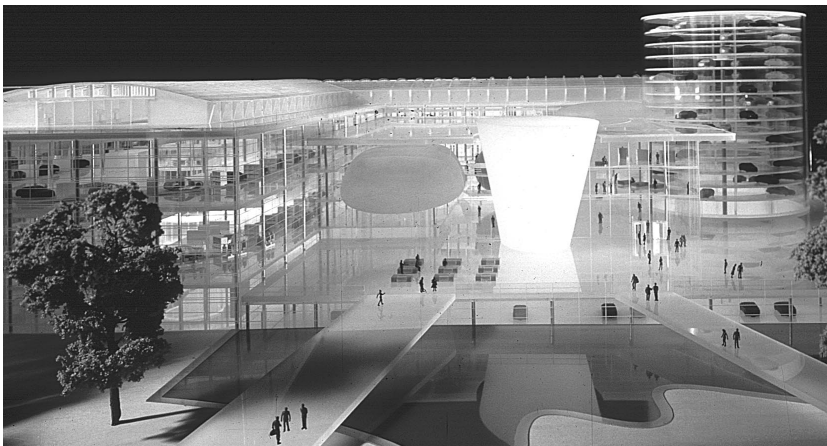
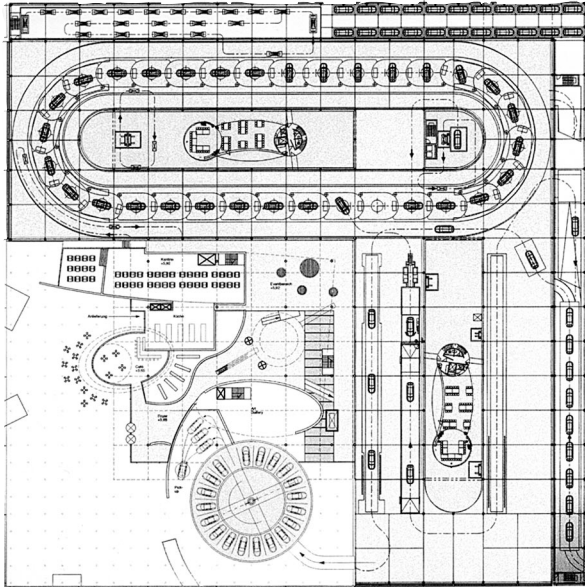
Die Transparenz vermittelt, daß sich der Gebäudekomplex zur Endmontage und Übergabe des Autos an die gesamte Öffentlichkeit wendet. Das architektonische Konzept, die internen Produktionsprozesse der Montage nach außen sichtbar zu machen, folgt dem Modell der „Gläsernen Frau“, die nur einige hundert Meter stadteinwärts im Hygiene-Museum ausgestellt ist. So wie bei dem anatomischen



© HENN

Abbildungen 3 und 4

menschlichen Modell die eigentliche Körpermasse immaterialisiert ist, um direkt die normalerweise verborgenen inneren Organe, Blut- und Nervenbahnen zu präsentieren, verschwindet auch in der „Gläsernen Manufaktur“ die Grenze zwischen innen und außen. Die „überbelichtete Stadt“ Paul Virlios in jenem Doppelsinn der Exposition von Ausstellung und „Belichtung“) manifestiert sich hier als mögliche Matrix einer zukünftigen urbanen Lebensrealität. Dieser Wandel der städtischen Kultur präsentiert sich vor dem Hintergrund tiefgreifender Veränderungen in Politik, Wirtschaft und Kultur. Die Lichtplanung als integraler Bestand-



© HENN

Abbildungen 5 und 6

teil der Architektur hilft dies zu vermitteln und wird in seiner Form-, Farb- und Materialwahl den hohen Design- und Detailansprüchen, die im gesamten Haus deutlich werden, gerecht.

Die gezielte Abstimmung der Beleuchtungselemente schafft unverwechselbare Identität – Architektur wird so zur urbanen Attraktion.

Emotion und Sensation, Licht in der Erkenntnis unserer Zeit

Karl-Heinz Petzinka

Dieser Beitrag ist auf den Seiten
898 - 905
abgesetzt, da das Manuskript die Druckerei
erst nach Redaktionsschluß erreichte.

Prof. Dipl.-Ing. Karl-Heinz Petzinka
Petzinka, Pink und Partner
Cecilienallee 17
D-40747 Düsseldorf

Visualisierung – ein Gestaltungsmittel für die Architekturbeleuchtung

Andrea Guschera

Im folgenden wird computergestützte Lichtsimulation und -visualisierung als ernstzunehmende Alternative zu Bemusterungsräumen und Modellfotografie vorgestellt.

Auf der Grundlage eines dreidimensionalen CAD-Modells können mit geeigneter Software sehr realitätsnahe Bilder erzeugt und Berechnungen vorgenommen werden. Der größte Aufwand besteht dabei in der Generierung der 3D-Daten.

Zweidimensionale CAD-Programme werden bereits flächendeckend eingesetzt, denn die sich daraus ergebenden Vorteile sind erheblich.

Erleichterungen und Effizienzsteigerung in der Planung durch:

- hohe Präzision
- die Möglichkeit, Zeichnungen ohne größeren Aufwand dem aktuellen Planungsstand anzupassen und Veränderungen nachträglich einzuarbeiten
- Automatisierung häufig vorkommender Arbeitsschritte und Vereinfachung vieler Berechnungen
- die Möglichkeit, Elementbibliotheken zu nutzen, die eine große Anzahl vorgefertigter, standardisierter Zeichenelemente beinhalten, die meist individuell angepaßt werden können

Diese Argumente gelten im Grunde genommen auch für das dreidimensionale computergenerierte Modell. Seine Verwendung ist vor allem sinnvoll in der Entwurfsphase und als Präsentationsmittel.

Einsatz im Entwurf:

- Überprüfung räumlicher Qualitäten und Oberflächenausbildungen im Gesamtzusammenhang und – besonders wichtig – aus verschiedenen realistischen Betrachterperspektiven (gestaltet sich beim traditionellen Modell schwierig); schneller, einfacher Perspektivwechsel zu beliebigen Perspektiven beim einmal vorhandenen Geometriemodell
- Integrativer Einsatz des CAD im Zusammenspiel mit traditionellen Entwurfsmethoden – die computergestützte Technik dient hier vor allem als Validierungswerkzeug für die Vorstellungen des Entwerfers: Kontrolle von Proportionen, Entfernungen und Sichtlinien, Überprüfung des Lichtdesigns zu verschiedenen Tageszeiten, Prüfung von Materialkombinationen und Farben, vor allem auch im Zusammenspiel mit der Beleuchtung

Einsatz für Präsentationen:

- Entwurf kann überzeugend und leicht verständlich präsentiert werden
- Intentionen des Entwerfers werden auch dem architektonischen Laien unmißverständlich vermittelt
- Bauherr gewinnt mehr Sicherheit für seine Entscheidungen
- Visualisierung kann bei korrekter Ausführung (Simulationsanspruch) im Vorfeld Probleme vermeiden; d.h. angewendet auf Licht in Gebäuden: es können Planungsfehler erkannt werden, Unwägbarkeiten (insbes. bei Tageslicht) werden ausgeschlossen, umfangreiche 1:1-Bemusterungen lassen sich ersetzen

Bei der Wahrnehmung räumlicher Strukturen spielt die Beleuchtung in Kombination mit den Umgebungsfarben eine entscheidende Rolle. Licht macht die Umgebung überhaupt erst sichtbar. Unterschiedliche Beleuchtungen an einer gleichbleibenden räumlichen Situation können völlig verschiedene Raumwirkungen erzeugen.

Licht und Beleuchtung läßt sich im zeichnerischen Entwurf nur sehr schwer darstellen. Es ist natürlich möglich, eine ungefähre Stimmung zu skizzieren, wie z.B. direkten Lichteinfall, aber eine als Arbeitsmittel wirklich hilfreiche Darstellung der realen Lichtverteilung, insbesondere bei mehreren verschiedenen Lichtquellen, ist eine vielschichtige und sehr komplexe Angelegenheit. Die Lichtberechnungsprogramme der Hersteller beschneiden stark die Möglichkeiten zur Berechnung von Licht in komplexer Raumgeometrie und liefern schematische Outputs, die zwar Aufschluß darüber geben, ob angestrebte Beleuchtungsstärkewerte rechnerisch auf einer Nutzebene erreicht werden, sich jedoch über die visuelle Erscheinung dieser Beleuchtung ausschweigen.

Deshalb ist die richtige Darstellung von Beleuchtung ein besonders wichtiger Punkt in der Visualisierung von gebautem Raum; von der korrekten Lichtverteilung ist unmittelbar auch die richtige Erscheinung der Farb Stimmung und Schattenverteilung (von entscheidender Bedeutung für eine real erscheinende Darstellung) abhängig.

In Bildbeispielen wird ein Raum mit verschiedenen Lichtformen beleuchtet; die Ergebnisse zeigen, wie Licht die Raumaussage verändern kann – und daß es sinnvoll ist, anhand eines 3D-Modells im Vorfeld damit zu experimentieren.

Die Visualisierung eines Gebäudes verläuft – ähnlich wie eine Objektvisualisierung – in mehreren Abschnitten.

1. Generierung des 3D-Modells

- auf Basis von 2D-Daten oder zeichnerischen Vorgaben
- dabei sollte kein Entwerfen, sondern nur Umsetzen – Visualisieren – von Entwurfsschritten erfolgen (die derzeit verfügbaren Softwarepakete sind nicht ausreichend interaktiv ausgelegt, um effizient entwerfen zu können – herkömmliche Werkzeuge sind da flexibler)
- Qualitätsgrad des Endergebnisses hängt entscheidend vom Detailgrad des 3D-Modells ab

2. Transport der Daten in eine geeignete Rendersoftware
 - der Einsatz von unterschiedlichen Programmen für Modellierung und Rendering des Modells ist oft sinnvoll, da dann für jede Anwendung die ideale Applikation gewählt werden kann
 - 3D-fähige CAD-Programme besitzen zwar meist ein integriertes Rendermodul („photorealistische Darstellung“), das aber weder besonders leistungsfähig ist, noch dem Anwender viele Freiheiten bei der Oberflächengestaltung läßt
 - Programme mit leistungsfähigen Renderroutinen besitzen häufig Schwächen in der Modelling-Funktionalität
 - Empfehlung: parallele Arbeit mit mehreren Softwarepaketen, Abgleich der Export-/Import-Schnittstellen auf ihre Funktionalität vor Beginn der Arbeit
3. Zuweisen der Oberflächenqualitäten
 - Verwendung entweder von integrierten Materialprozeduren, die die Software anbietet oder Erstellung von individuellen Texturen unter Verwendung eingescannter und entsprechend nachbearbeiteter Fotos
 - Kombination beider Varianten ist meist sinnvoll
4. Beleuchtungseinstellungen
 - sind abhängig von der Art der verwendeten Renderroutine (abweichende interne physikalische Modelle zur Ermittlung der Helligkeitswerte)
 - empfehlenswert sind Renderer, die mit lichttechnisch validierten Routinen rechnen – die Definition der Beleuchtungsquellen erfolgt über lichttechnische Werte, die Ergebnisse eignen sich zur Simulation sehr realitätsnaher Beleuchtungsplanung (gleichbedeutend mit einem photorealistischen Bild)
5. Rendering
 - Berechnung der Bilder
 - Zeitdauer abhängig von der Renderroutine
 - Hochqualitative Bilder benötigen gemeinhin auch sehr lange Renderzeiten

Einteilung der Verfahren zum Rendern von 3D-Modellen

Scanline Rendering

- benutzt ein stark vereinfachtes physikalisches Modell zur Licht- und Farbverteilung auf den Flächen, schnelle Ergebnisse bei geringer Qualität („schattierter Modus“)
- Beleuchtungsquellen sind sog. Punktlichtquellen (ungerichtetes Licht nach allen Seiten), Spotlights (gerichtetes Licht in einem definierbaren Ausfallswinkel), Directional Lights (flächiges Licht ohne definierte Austrittsquelle, das eine Richtung besitzt) und Ambiente Lights (Grundhelligkeit ohne sichtbare Lichtrichtung), sie lassen sich über Intensitäts- und Farbwerte steuern, sowie ggf. die Weichheit der Lichtbegrenzung
- Scanline Rendering beherrscht keine Reflexionen und Refraktionen, keine korrekten Schattenwürfe
- Geeignet nur zur Vorbewertung von Sichtlinien und Volumina

Radiosity

- basiert auf lichttechnischen Berechnungsmodellen
- realistische Beleuchtungs- und Schattendarstellung, da das an den Umgebungsflächen reflektierte Indirektlicht in die Berechnung einfließt

- Beleuchtungsquellen orientieren sich an lichttechnischer Realität (Flächen mit diffuser Lichtabstrahlung oder die Verwendung von LVKs zur Steuerung der Lichtberechnung); Lichtquellen werden wie in der Planung eingesetzt und mit lichttechnischen Parametern eingestellt – Licht kann dadurch nicht nur visualisiert, sondern tatsächlich simuliert werden
- beherrscht keine Reflexionen und Refraktionen (das Modell setzt eine vollkommen diffuse Lichtreflexion als Standard, wie sie in der Realität aber kaum auftritt), die Ergebnisse wirken flach, ohne Räumlichkeit und Brillanz

Raytracing

- Strahlenverfolgung, ausgehend von Betrachterstandpunkt (Kamera)
- Die Modelle der Lichtquellen sind mit den unter Scanline Rendering beschriebenen identisch
- Korrekte Berechnung von Reflexionen und Refraktionen, Schattenwürfe auch an komplizierten Geometrien (z.B. Gitterstrukturen) – dadurch wirken Raytracing-Bilder sehr brillant
- Keine korrekte Lichtsimulation möglich: Indirektanteil des Lichts bleibt unberücksichtigt, berechnete Schatten sind zu hart; realistisch wirkende Bilder werden ebenso wie beim Scanline Rendering durch viele versteckte Lichtquellen mit z.T. abenteuerlichen Einstellungen erkauf

Ideal ist eine Kombination aus Raytracing und Radiosity; dabei werden lichttechnisch korrekte Lichtquellen und die entstehenden Indirektanteile berechnet, Schattenwürfe, Refraktion und Reflexion werden richtig dargestellt. Die erzielten Ergebnisse liegen tatsächlich sehr nahe an der Realität.

Von der Quantität zur Qualität – Über neue Wege in der Architekturbeleuchtung

Harald Hofmann

1. Einleitung

Lichtplanung ist die Planung der visuellen Umwelt des Menschen; ihr Ziel ist die Schaffung von Seh- und Wahrnehmungsbedingungen, die einerseits ein effektives Arbeiten, andererseits aber Sicherheit und Wohlbefinden vermitteln.

Sucht man nach Planungskriterien für die Beleuchtung von Innenräumen, stößt man in der qualitativen Beleuchtungsplanung auf drei Aspekte:

- a) den sehorientierten, funktionalen Aspekt des Beleuchtens
- b) den wahrnehmungsorientierten, gestalterischen Aspekt des Beleuchtens und schließlich
- c) den architektonischen, gestalterischen Aspekt der Anlagenplanung selbst.

Der Schwerpunkt konventioneller, quantitativer Planung liegt heute noch überwiegend auf dem sehorientierten, funktionalen Sektor; diese Art der Planung orientiert sich an lichtphysikalischen Kriterien wie der räumlichen Verteilung von Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte und bezieht ihre Bedeutung und Rechtfertigung aus Normen und Richtlinien.

Neue Wege in der Architekturbeleuchtung können aber nur beschränkt werden, wenn einerseits eine Erweiterung des Planungsansatzes in Richtung wahrnehmungsorientierter und gestalterischer Planung erfolgt und eine quantitative Planung im Hinblick auf qualitative Kriterien erweitert wird, wie im folgenden näher erläutert wird.

2. Sehorientierter, funktionaler Aspekt der Beleuchtungsplanung.

Dieser Planungsansatz geht davon aus, daß eine Sehaufgabe Merkmale aufweist, deren Erkennen von lichtphysikalischen Größen abhängt.

Solche Merkmale einer Sehaufgabe können z.B. ihre relative Größe oder räumliche Lage sein; ebenso die Frage, ob die Sehaufgabe ortsfest oder beweglich ist, ob kleine Details oder geringe Kontraste zu erfassen sind, und inwieweit das Erkennen von Farben, Oberflächenstrukturen bzw. Geometrien die wesentlichen Merkmale der Sehtätigkeit sind.

Aus den typischen Merkmalen der Sehaufgabe, z.B. dem Erkennen von Symbolen und Zeichen, dem Unterscheiden von Farben und dem Auffinden von Details, lassen sich wiederum Beleuchtungsbedingungen ableiten, unter denen sich die Sehaufgabe lösen läßt.

Prof. Dr.-Ing. Harald Hofmann
ERCO Leuchten GmbH
Brockhauser Weg 80-82
D-58507 Lüdenscheid

Die Zusammenhänge zwischen dem Schwierigkeitsgrad der Sehaufgabe und den dafür erforderlichen lichtphysikalischen Werten von z.B. Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten sind inzwischen ausreichend erforscht und dokumentiert; diese Zusammenhänge bilden die Basis für beleuchtungstechnische Regelwerke, wie sie sich auch in Normen niederschlagen; Normenvorgaben sind derzeit bei der Planung von Beleuchtungsanlagen von zentraler Bedeutung.

3. Wahrnehmungsorientierter, gestalterischer Aspekt der Beleuchtungsplanung.

Der sehorientierte, funktionale Ansatz der Beleuchtungsplanung bemisst die lichtphysikalisch quantitativen Größen wie Beleuchtungsstärke und Lichtrichtung, wie Lichtfarbe und Farbwiedergabe; also Größen, die mit der visuellen Verarbeitung der Sehaufgabe in Verbindung stehen. Quantitative, lichttechnische Daten reichen aber grundsätzlich nicht aus, um den Bedarf an visueller Information vollständig zu beschreiben. Über den aus der jeweiligen Tätigkeit hergeleitenden funktional quantitativen Lichtbedarf hinaus gibt es noch einen weiteren Lichtbedarf, der aus dem natürlichen Wunsch resultiert, ständig visuelle Informationen aus dem individuellen Umfeld aufzunehmen.

Während also durch die Schaffung optimaler Beleuchtungsbedingungen z.B. im Sehfeld des Arbeitsplatzes zuverlässiges Arbeiten ermöglicht wird, hängt von der Befriedigung des visuellen Informationsbedarfs, den sogenannten „biological needs“, das individuelle Wohlbefinden ab.

Im Bereich des funktionalen Sehfeldes können wir uns an fundierten Planungswerte der Lichtphysik orientieren; diese fehlen im Bereich der Wahrnehmung weitestgehend. Es ist nämlich sinnlos, die komplexe Wahrnehmungswelt auf einzelne Sehaufgaben zu reduzieren, um daraus Schlüsse für die lichttechnische Dimensionierung des Wahrnehmungsfeldes herzuleiten. Forschungsansätze, die auf diesem Sektor immer wieder gesucht werden, führen grundsätzlich ins Leere.

Um die Rolle von Beleuchtung beim Wahrnehmungsprozess besser verstehen zu können, gilt es, Gesetzmäßigkeiten der Wahrnehmung aufzuspüren:

Ein für den Laien verblüffender Wahrnehmungsmechanismus besteht darin, dass der Mensch aus wechselnden Helligkeitsverteilungen auf der Netzhaut zwischen konstanten Objekteigenschaften von Reflexionsgrad bzw. Farbe und veränderbaren Eigenschaften wie der Leuchtdichteverteilung bzw. Beleuchtungssituation unterscheiden kann. Diese spezielle Wahrnehmungsleistung wird in der Psychologie als Phänomen der Helligkeits- und Farbkonstanz bezeichnet.

Für den Bereich der qualitativen Lichtplanung ist das Konstanzphänomen besonders bedeutend. Zeigt dieses Phänomen doch, das für die Wahrnehmung unserer Umwelt die lichtphysikalische Größen eine relativ geringe Rolle spielen, bzw. daß sie sich nicht unabhängig von den Wahrnehmungsinhalten betrachten lassen.

Die Fähigkeit, auf Grund der Konstanzleistung die visuelle Umgebung bei unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen und damit unabhängig von Leuchtdich-

ten spontan zu erkennen, zeigt sich, wenn uns Räume sowohl bei Kerzenschein als auch bei Tageslicht als identisch erscheinen. Andere Beispiele zeigen, daß auch bei unterschiedlichen Lichtfarben das Erkennen einer Oberflächenfarbe auf Grund von Konstanzleistung möglich ist: Unter blauem Nordlichthimmel wie unter direktem Sonnenlicht sehen Körperfarben grundsätzlich gleich aus.

Daraus erkennt man, daß auf Grund des Konstanzphänomens Beleuchtungsverhältnisse beim Wahrnehmen unserer gegenständlichen Welt ausgeblendet werden und Licht zum Medium der Wahrnehmung, aber nicht zum quantifizierbaren Inhalt des Sehens wird.

Dies Tatsache verdeutlicht die Fragwürdigkeit des Versuchs, allgemein gültige, quantifizierbare Beleuchtungsregeln außerhalb des unmittelbaren Tätigkeitsfeldes am Arbeitsplatz zu definieren. Bereits eine allgemeine, situationsunabhängige Leuchtdichtedefinition für das Auftreten psychologischer Blendung scheitert an der mangelnden Einbeziehung des Informationsgehalts der Blendquelle: nicht das Fenster mit Ausblick auf die besonnene Landschaft mit relativ hoher Leuchtdichte blendet, sondern – trotz geringerer Leuchtdichte – die Opalglasscheibe, falls sie den Ausblick verwehrt.

Es wäre falsch, aus diesen Sachverhalten auf eine geringe Bedeutung der Planung einer wahrnehmungsorientierten Architekturbeleuchtung zu schließen. Wahrnehmungsorientierte Beleuchtung wird zwar weniger durch Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten beschrieben als vielmehr durch architektonisch gestalterische Parameter der Beleuchtung, die dafür verantwortlich sind, daß räumliche Strukturen erkannt, Raumzonen gegliedert, Räume erweitert werden, daß Blicke gelenkt, die visuelle Aufmerksamkeit gerichtet und damit die Wahrnehmung gesteuert wird.

Welches sind nun die spezifischen Ansprüche, die an die Qualität einer wahrnehmungsorientierten Beleuchtung gestellt werden?

3.1 Anforderungskriterien an eine wahrnehmungsorientierte Beleuchtung

Von den Beleuchtungsverhältnissen eines Raumes hängen Befindlichkeit der Nutzer und damit die Akzeptanz der Raumsituation ab. Besonders in weniger vertrauter Umgebung sucht man nach visueller Orientierung; dabei kann Beleuchtung helfen, die Informationsflut eines Raumes zu ordnen. Eine exakte Beschreibung dessen, was Beleuchtung in diesem Zusammenhang vermag, ist nicht möglich; dafür ist das Zusammenspiel von Licht, Raum und Wahrnehmung zu komplex. Zumindest versagt der herkömmliche Ansatz einer Planung nach Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten; die Zahl der Beleuchtungslösungen ist so vielfältig wie die der architektonischen Gestaltungsvarianten. Trotzdem gibt es Kriterien, nach denen sich eine qualitative Beleuchtungsplanung orientieren sollte.

Bezug zur Außenwelt:

Diese wird durch Blickkontakt zur weiteren Umgebung einschließlich Außenwelt sichergestellt, um damit Informationen über Tageszeit, Jahreszeit und Wetter

unmittelbar zu erhalten. Dazu empfiehlt es sich, Fensterflächen ausreichend zu dimensionieren und blickgerecht zu plazieren; Arbeitsplätze blickgünstig anzuordnen und dafür zu sorgen, daß weder Verglasung, Sonnenschutz oder Blendenschutz oder Elemente einer Tageslichtsteuerung den Ausblick einschränken.

Orientierung im Raum:

Wahrnehmungsorientierte Lichtplanung unterstützt in diesem Zusammenhang die Orientierung und verbessert die Informationsstruktur eines Raumes: es werden mit Licht und Beleuchtung Wege markiert. Leuchtenanordnungen und Helligkeitsmuster weisen Wege, kennzeichnen Anlaufpunkte und definieren Raumzonen. Vertikale Beleuchtungsstärken oder akzentuierende Beleuchtung auf den Raumbegrenzungen differenzieren Räume, heben Strukturen hervor und machen Materialeigenschaften wie Glanz, Transparenz und Textur sichtbar.

Charakterisierung der Architektur:

Auch Raumfunktion und Nutzungsart lassen sich über eine qualitative Lichtplanung kommunizieren. Die Beleuchtung einer Produktionshalle wird sich - nicht nur quantitativ - deutlich von der eines Kirchenraumes unterscheiden und das Licht eines Supermarktes von dem einer Hotellobby. Hier spielen kulturelle Konventionen und Erwartungshaltungen ebenso eine Rolle wie formal architektonische Regeln.

Generell lassen sich Raumklima und Raumcharakter durch Leuchtentyp und architektonische Anordnung sowie durch Lichtqualität und Lichtführung verdeutlichen.

3.2 Planungspraxis

Im Bereich der wahrnehmungsorientierten Planung spielt folglich die Lichtphysik in Form von quantitativer Planung nicht die dominierende Rolle. Es sind andere Kriterien, die hier in den Vordergrund der Planung treten:

Lampentyp:

Die Entscheidung für einen bestimmten Lampentyp wird in der Regel von wirtschaftlichen Kriterien, aber auch durch die geplante Lichtwirkung bestimmt: dies trifft auf Beleuchtungswirkungen wie Brillanz und Modellierung, aber auch auf Lampeneigenschaften wie Farbwiedergabe und Lichtfarbe zu.

Leuchtentyp:

Die Auswahl von Leuchten richtet sich einerseits nach der Auswahl des Lampentyps; die Vorentscheidung für einen Lampentyp engt also die Leuchtenauswahl ein. Generell sind in einer qualitativ orientierten Planung Beleuchtungswirkung und Sehkomfort die wichtigsten Auswahlkriterien, denen formale Kriterien und Effizienzkriterien unterzuordnen sind: wenn es gilt, eine Wandfläche gleichmäßig zu beleuchten, kann allein die Leuchtenfunktion und nicht der Wirkungsgrad ein Auswahlkriterium der Leuchte sein. In diesem Zusammenhang sind Leuchten Werkzeuge und für jede Beleuchtungsaufgabe gilt es, das passende Werkzeug zu finden.

Auch die Entscheidung für eine architektonisch integrierte oder konstruktiv additive Beleuchtung nimmt Einfluß auf die Leuchtauswahl; ebenso die Entscheidung für den Montageort, sei es die Wand oder die Raumdecke.

Lichtsteuerung:

Der Einsatz von Lichtsteuerungen ist im Rahmen einer qualitativ hochwertigen Lichtplanung heute eine generelle Forderung; ermöglicht sie doch die Anpassung der Beleuchtung an individuelle Anforderungen, insbesondere am Arbeitsplatz; mit Lichtsteuerungen lassen sich nutzungsabhängige Beleuchtungssituationen realisieren, wie z.B. in Konferenz- oder Seminarräumen; hier wird bevorzugt mit einer programmierbaren, szenischen Steuerung gearbeitet. Schließlich ist eine Lichtsteuerung auch ein Werkzeug zur Lichtgestaltung, mit dem zeitliche Lichtsequenzen bis hin zu einer Tag-Nacht-Inszenierung eines Gebäudes geplant werden. Dabei amortisieren sich Investitionen häufig durch mögliche Energieeinsparungen in kurzer Zeit, insbesondere in Verbindung mit tageslichtabhängiger Steuerung.

4. Architektonisch gestalterischer Aspekt der Anlagenplanung

Zusätzlich zu einem wahrnehmungsorientierten Lichtkonzept stellt sich bei der Architekturbeleuchtung die Forderung, Strukturen und charakteristische Merkmale einer Architektur durch die gestalterische Wirkung von Beleuchtungswirkung und Leuchten zu verdeutlichen. Gesucht werden dabei Konzepte, welche die Formensprache eines Gebäudes, seine Gestaltungsmerkmale und Raumgliederungen formal aufnehmen und u.U. verstärken.

Beleuchtungsanlagen sind als Teil des architektonischen Gesamtentwurfs zu sehen, die auch über Form und Anordnung Einfluß auf die Akzeptanz einer Raumsituation nehmen. Beleuchtung definiert sich dabei formal als gestalterisches Element durch Leuchten- und Anordnungsgeometrie. Es liegt in der architektonisch planerischen Verantwortung des Architekten, unter Berücksichtigung von wahrnehmungspsychologischen „Gestaltgesetzen“ Leuchtenformen, Leuchtenanordnung und deren Lichtwirkung so aufeinander abzustimmen, daß Architektur nicht nur betont, sondern möglichst auch an Aussagekraft gewinnt.

5. Zusammenfassung

Lichtplanung im umfassenden Sinn dieses Vortrags hat großen Einfluß auf die Akzeptanz einer architektonischen Umgebung.

Sie unterstützt und ermöglicht das funktionale Sehen durch die Bemessung lichtphysikalischer Größen, insbesondere Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte, zur Durchführung spezifischer Sehaufgaben.

Neben dieser konkreten Nutzungsfunktion der Beleuchtung muß sich eine qualitativ wahrnehmungsorientierte Beleuchtungsplanung mit visuellen Informationsbedürfnissen und Erwartungshaltungen befassen.

Planungsziel ist dabei, das gesamte Wahrnehmungsumfeld adäquat zu beleuchten, die charakteristischen Eigenschaften von Raum und Raumobjekten

angemessen zu inszenieren und zielgerichtet Wahrnehmungshierarchien aufzubauen.

Beleuchtung definiert sich schließlich als ein formal-gestalterisches Element, sowohl durch die Geometrie der Leuchten als auch durch deren Anordnung. Die Beleuchtungsanlage selbst wird zum Architekturdetail und trägt zum Gesamtbild einer Architektur bei.

Innovative Lichtlenktechnologie verändert das Gesicht der Bürolandschaft

Paola Belloni, Sonja Ferdows

Noch nie in der Vergangenheit hat der Wandel in unserem Büroumfeld so rasant und schnell stattgefunden, wie gerade jetzt. Wo gestern noch Schreibmaschinen, Karteikarte, Stenogramm oder Zeichenstift dominierten, setzen wir heute Multi-mediatechniken, Datenbanken und CAD/CAE-Technologien ein. Der Weg geht zum Dokumenten-Management, einer computergesteuerten Verwaltung gescannter Dokumente im Büro ohne Papier. Für die zukünftige Bürowelt würde dies bedeuten: der gesamte Arbeitstag wird am Bildschirm verbracht. Es erfolgt damit eine zunehmende Belastung des Sehapparates, da die Dokumente sich im Regelfall visuell ungünstiger darstellen, als ihre Originale.



Abb. 1: Das moderne Büro wandelt sich mehr und mehr. Neue Kommunikationsmittel und Flexibilität setzen ein neues Maß und neue Anforderungen für die Gestaltung der Beleuchtung.

Diese revolutionären Umwälzungen im Bürobereich haben unmittelbar Auswirkungen auf die Gebrauchstauglichkeit moderner Lichtsysteme. Die Beleuchtung muß im Lebensraum Büro für mehr individuelle Mobilität durch flexible Anordnung, für Blendfreiheit und absolut verbesserte Sehbedingungen sorgen. Die übliche Lichtlenktechnologie mittels Spiegelrastern hat den Nachteil, daß sie eine wenig flexible Anordnung der Leuchten erlaubt, möchte man Reflexblendung vermeiden.

In der Tat ergeben sich folgende Einschränkungen in der Lichtplanung (Abb. 2):

- Leuchten müssen parallel zur Blickrichtung und Fensterfront angeordnet werden
- Leuchten dürfen nicht direkt über dem Arbeitsplatz angeordnet werden

Dr. rer.nat. Paola Belloni und Bachelor o.S. Sonja Ferdows
SITECO Beleuchtungstechnik
Ohmstraße 50
D-83301 Traunreut

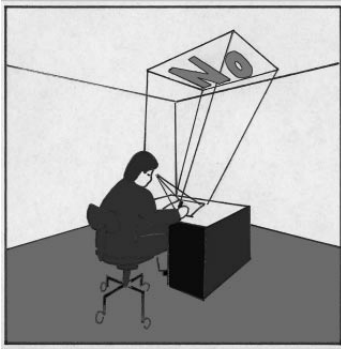


Abb. 2: Die zwei Beleuchtungssituationen zeigen die eingeschränkte Flexibilität herkömmlicher Leuchten. Dies verursacht weiterhin, daß das Erscheinungsbild eines Büroraumes mit Bildschirmarbeitsplätzen fast überall das gleiche ist.

Vor diesem Hintergrund ist die ELDAICON®-Technologie entstanden, als Antwort an die steigenden Anforderungen an die Sehbedingungen am Arbeitsplatz. ELDAICON® ist eine Lichtlenktechnologie, bei der das Licht in einer Leuchte über Mikroprismenstrukturen in den Raum gelenkt wird (Abb. 3). Die hoch präzise Fertigung dieser Mikroprismen garantiert exakte, normgerechtere rundum entblendete Lichtlenkung. Um ein optimales Verhältnis zwischen angenehmer Lichtstimmung und hohe Lichtauskopplungseffizienz zu erreichen, sind spezielle Prismenstrukturen für verschiedene Einsatzmöglichkeiten entwickelt worden. Damit ist die ELDAICON®-Technologie auch für direkt strahlende Anwendungen geeignet (Abb. 4). Außerdem wirkt das eingesetzte transparente Acrylglas-Material (PMMA) leicht und durchlässig und gibt der Leuchte eine außergewöhnliche Ästhetik.

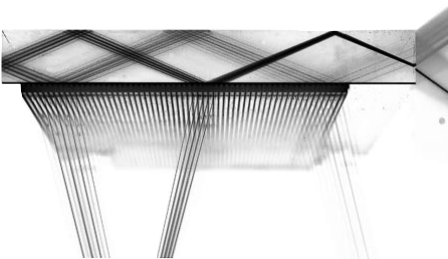


Abb. 3: Strahlengang in der ELDAICON®-Komponente. Die Darstellung zeigt die präzise Lichtlenkung über die Mikroprismenstrukturen.

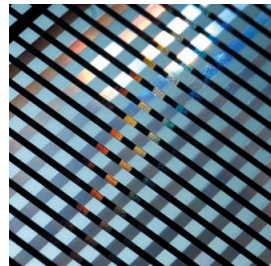


Abb. 4: Durch den Einsatz von Mikroprismen mit hoher geometrischen Genauigkeit und Oberflächenqualität werden Streueffekte minimiert und eine hohe Auskopplungseffizienz erreicht.

Die Hauptmerkmale der innovativen Lichtlenkphilosophie von ELDAICON® sind zusammengefaßt:

- **Völlige Blendfreiheit**
Durch ELDAICON® wird das Licht völlig blendfrei und höchst ergonomisch auf die Arbeitsfläche gelenkt. Reflex- oder Direktblendung auf Bildschirmen oder Displays werden vermieden (Abb. 5 und 6). ELDAICON® bietet ergonomisch sinnvolle Verbesserungen der Arbeitsbedingungen und ist zukunfts-sicher bezüglich Normen und Vorschriften.



Abb. 5: Reflexblendung auf einer Arbeitsunterlage



Abb. 6: Reflexblendung mit Bildschirm. Störende Reflexe auf Bildschirmen verursachen Informationsverluste und unnötige Umadaptationen.

- **Geeignet für den Einsatz mit innovativem Leuchtmittel**
Die ELDAICON®-Technologie ist besonders geeignet für den Einsatz mit Lampen mit hohen Leuchtdichten (T5, Kompaktleuchtstofflampen), denn der Blick auf das Leuchtmittel ist nie gegeben (Abb. 7). Da der Lichtstrom über eine große leuchtende Fläche ausgekoppelt wird, wird die Intensität der Leuchtdichten reduziert. Die niedrigen und gleichmäßigen Leuchtdichten vermeiden jegliche Reflexblendung.
- **Weiche Helligkeitsübergänge und beklagte Höhleneffekt auf, weil oberhalb des Grenzausstrahlungswinkels der Raum nur wenig aufgehellt wird.**
- **Neue Freiheit bei der Lichtanordnung**
Durch die spezielle Lichtlenkung der Mikropismenstrukturen kann eine Leuchte völlig frei im Raum angeordnet werden. Es gibt keine ungeeignete Anordnung zum Licht. Das eröffnet gerade Architekten und Lichtplanern völlig neue Gestaltungs- und Handlungsspielräume, z.B. Lichtlösungen senkrecht zur Fassade. Lichtgestaltung gewinnt wieder an Individualität.
- **Extreme flache, transparent wirkende Leuchten**
Nach fast 20 Jahren Bürobeleuchtung mit Spiegelrasterleuchten gibt es fast keine Designform, die nicht ausprobiert worden ist. ELDAICON® und seine geometrischen Eigenschaften eröffnen eine komplett neue Gestaltungswelt

für Produktdesign. Charakteristisch für ELDAICON®-Produkte sind besonders flache Bauhöhen, Transparenz und Leichtigkeit durch erhöhten Einsatz lichtdurchlässiger Materialien. Somit tritt das technische Produkt mehr in den Hintergrund und gewinnt an gestalterischen Merkmalen.

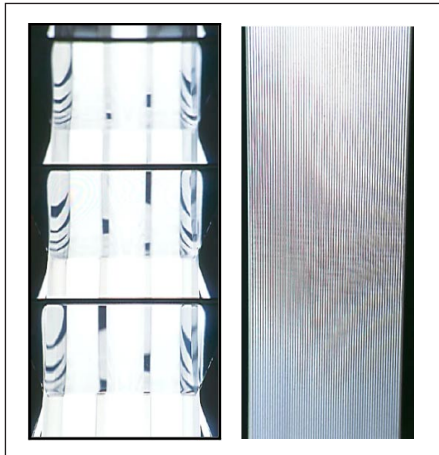


Abbildung 7: Vergleich zwischen dem Einblick in eine Rasterleuchte und eine ELDAICON®-Leuchte, beide mit T5-Lampen bestückt. In Rasterleuchten bestehen extreme Leuchtdichteunterschiede während bei ELDAICON® die Leuchtaustrittsfläche eine gleichmäßige Leuchtdichte aufweist.

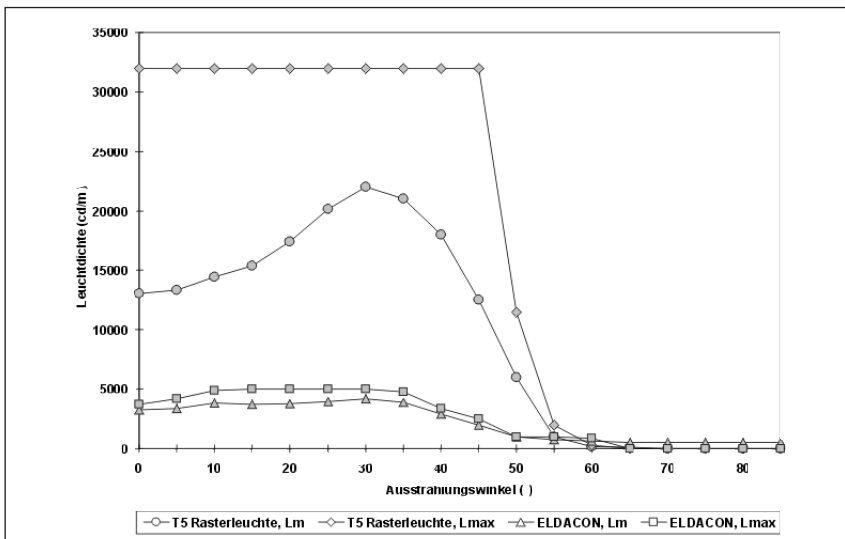


Abb. 8: Vergleich zwischen mittleren und maximalen Leuchtdichten in Rasterleuchten und Leuchten mit ELDAICON®, beide mit T5-Lampen. Rasterleuchten haben circa 6fach höhere Leuchtdichten, die das Auge verarbeiten muß gegenüber ELDAICON® mit $L_{max} = 5000 \text{ cd/m}^2$.

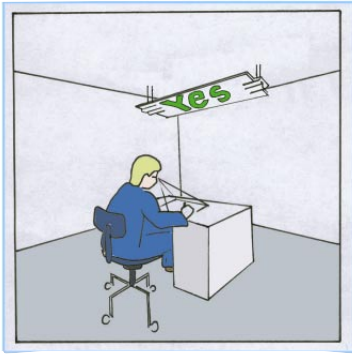


Abb. 9: Das Anwendungsbeispiel zeigt die Flexibilität der ELDACON®-Technologie. Alle Arbeitsplatz-Anordnungen sind uneingeschränkt realisierbar.



Abb. 10: ORBITER verkörpert die direkte/indirekte Lichtanwendung mit ELDACON®. Dieses Produktdesign unterstreicht die neuen Designfreiheiten durch ELDACON®. Die transparenten, lichtlenkenden Elemente schweben frei in den Raum hinein.



Abb. 11: Die QUADRATURE Leuchtenfamilie wurde für direkt strahlende Anwendungen z.B. niedrige Räume und abgehängte Decken, konzipiert. Mit einer Bauhöhe von nur 37 mm ist die Quadrature die flachste BAP 60°-Leuchte am Markt.

Lichtkonzept einer Bank am Beispiel Sparda-Bank, Münster

Hella Dee

Das Lichtkonzept für die besonderen Bereiche in der neuen Hauptverwaltung der Sparda-Bank in Münster wurde in enger Zusammenarbeit mit den Architekten entwickelt.



Abbildung 1

Die futuristische Gebäudeform wird im Außenbereich durch die Unterleuchtung des Dachüberstandes und im Innenbereich des fast fünf Meter hohen Erdgeschosses durch einen, die Gebäudeform nachvollziehenden, Lichtschlitz und opale Glaslichtstelen im Hallenbereich betont.

Diese reduzierte Verwendung von Licht und Beleuchtungselementen läßt die Architektur ungestört, unterstreicht ihre wesentlichen Formen und Aussagen.

Kaum wahrnehmbar wurde auch die Glasdachbeleuchtung in der Halle gestaltet. HIT-Reflektorlampen mit kleinstem Durchmesser ermöglichen die zierliche Zylinderform der Leuchten. Zwischen Stahlseilverspannungen unter den Glassprossen befestigt, werfen sie ein brillant strahlendes Licht durch die Glasstufen der Treppe hindurch auf die Nutzebene.

Auch die Flure der Büroetagen haben keine sichtbaren Beleuchtungskörper in den Decken. Leuchtstofflampen in asymmetrischen Reflektoren auf den Büroschränken beleuchten die Flurdecken durch die Glasoberlichter hindurch. Einige im Boden verteilte Bodeneinbauleuchten sorgen für einen kleinen direkten Lichtanteil.

Auch die Rampe zum Vorstandssitzungssaal wird einseitig von einem Lichtschlitz im Boden begleitet.

Dipl.-Ing. Hella Dee – Innenarchitektin
Dinnebier-Licht GmbH
Schloß Lüntenbeck
D-42327 Wuppertal

Im Sitzungssaal dagegen tritt der Leuchter bewußt hervor, die Assoziation mit einem „Ufo“ ist gewollt. Eine aus Einzelsegmenten bestehende Acrylscheibe in elliptischer Grundform unterteilt und begleitet von Lichtprofilen erfüllt diese Aufgabe und gibt in unterschiedlichen Schaltmöglichkeiten direktes und indirektes Licht für die verschiedenen Nutzungsvarianten ab.



Abbildung 2

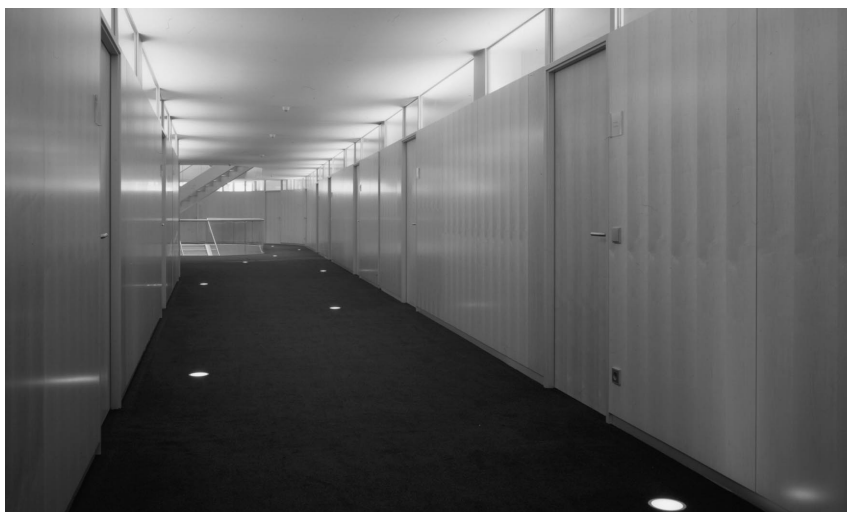


Abbildung 3



Abbildung 3

Lichtgestaltung mit Umlenksystemen (Spiegel/Werfer-Systeme)

H.-Otto Flach

1. Allgemeines

Eine andere Art der Beleuchtung von Räumen ist die Verteilung und Ausrichtung des Lichts durch das Zusammenwirken von Lichtwerfern und Umlenkspiegeln. Vornehmlich in hohen Räumen kommen diese Lichtkonzepte zum Einsatz. Als erste, naheliegende Gründe für dieses Beleuchtungsprinzip werden sehr oft wirtschaftliche Merkmale angeführt:

- zentrale, zugängliche Werferposition
- leichter Lampenwechsel, geringe Wartungskosten
- und damit leicht zugängliche Montageposition der Werfer selbst.
- geringe Leitungswege, etc.

Diese Punkte bewerten die wirtschaftlichen Aspekte und Merkmale. Im folgenden sollen die lichttechnischen und gestalterischen Merkmale näher erläutert werden.

2. Werfer

Als Lichtquelle für Spiegelsysteme werden Lichtwerfer benötigt, die das austretende Licht eng bündeln. Es werden hauptsächlich Reflektoren mit extrem engen Ausstrahlwinkeln verwendet. Durch diese Reflektortechnik wird annähernd paralleles Licht erzeugt. Je enger dieser Lichtstrahl, desto exakter kann er auf den jeweiligen Spiegel ausgerichtet werden. Dies ist einer der Hauptfaktoren für den Gesamtwirkungsgrad des Spiegel-Werfer-Systems. Bei dieser Art der Beleuchtung ist Streulicht unerwünscht und würde sich eher kontraproduktiv auf das Beleuchtungsergebnis auswirken. Unter Streulicht versteht man diejenigen Lichtanteile, die direkt vom Leuchtmittel ausgehen und nicht über den Reflektor gelenkt werden. Zur Verhinderung oder zumindest zur Verringerung des Streulichtanteils wird das Leuchtmittel in Ausstrahlrichtung mit einem Abschatter abgedeckt. Zur optimalen Feineinstellung der drei Bauteile Reflektor, Leuchtmittel und Abschatter empfiehlt es sich, durch Verschieben des Lichtschwerpunktes des Leuchtmittels das System zu fokussieren und durch Einstellen des Abschatters die Direktblendung (Streulicht) zu minimieren.

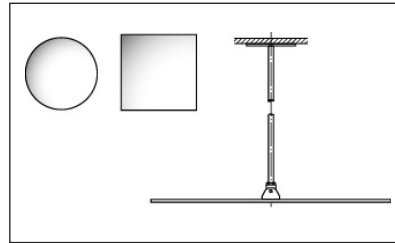
3. Spiegel

Wir unterscheiden hier die verschiedenen Systeme nach der Bauart der Spiegel. In jedem Fall wird eng gebündeltes Licht gezielt auf Spiegeloberflächen gerichtet. Die jeweilig gewünschte Aufweitung wird erreicht durch unterschiedliche Spiegeltechniken.

H.-Otto Flach
Ansorg GmbH
Solinger Str. 19
D-45481 Mühlheim a. d. Ruhr

3.1 Planspiegel

Planspiegel besitzen eine plane Oberfläche und sind in ihrer Wirkungsweise einem herkömmlichen Glasspiegel am nächsten. Das auftreffende Licht wird prinzipiell 1:1 reflektiert und in die Nutzebene gelenkt. Durch die Verwendung von unterschiedlichen Oberflächenqualitäten wird eine begrenzte Aufweitung des Lichtkegels erzielt.



Es gilt:

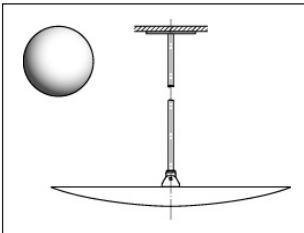
- glatte, glänzende Oberfläche – kleiner Abstrahlwinkel
- matt, strukturierte Oberfläche – grosser Abstrahlwinkel

Planspiegel werden eingesetzt, um spotartig zu beleuchten. Es werden zonierte Lichtabbildungen erreicht, die vom Charakter her an „Sonnenstrahlen“ erinnern. /Abb. 01/

3.2 Wölbspiegel

Werden Spiegel linsenförmig ausgebildet spricht man von Wölbspiegeln. Wölbspiegel weisen in der Regel eine konvexe Krümmung ihrer Oberflächen auf. Mit dem Wölbradius wird die Lichtkegelaufweitung festgelegt:

- kleiner Wölbradius – geringe Aufweitung
- großer Wölbradius – große Aufweitung



Zusätzlich gilt auch hier die Abhängigkeit von der gewählten Oberflächenqualität.

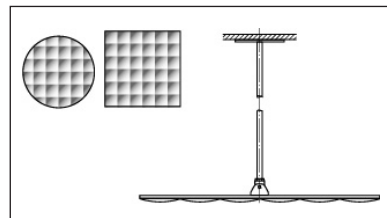
Gerade zur Grundbeleuchtung großer zusammenhängender Flächen sind Wölbspiegel besonders geeignet. Bedingt durch den in aller Regel hohen Montageort der Spiegel ist das Auftreten von Direktblendung nahezu ausgeschlossen. Es entsteht eine gleichmässige Grundbeleuchtung, die

den Lichtverhältnissen an einem leicht bedeckten Sommertag gleicht. /Abb. 02/

3.3 Parzellenspiegel

Parzellenspiegel sind Wölbspiegel, die in viele kleinere Spiegeleinheiten aufgeteilt – parzelliert – sind.

Die Leuchtdichte eines Spiegels konzentriert sich immer im Zentrum der Lichtstrahlachse, und wird auch nur in dieser wahrgenommen. Der Effekt der Parzellierung bewirkt, dass sich diese Leuchtdichte auf die Anzahl der Parzellenspiegel aufteilt und damit reduziert.



Wenn zusätzlich jede der Parzellen unabhängig voneinander ausrichtbar ist, kann innerhalb der Grundbeleuchtung noch eine gewisse leichte Zonierung erzielt werden. /Abb. 03/

4. Gebaute Beispiele

4.1 Magic Entertainment Center, Bad Oeynhausen

Der zweiteilige Gebäudekomplex beheimatet einen Kinopalast mit 9 Lichtspielsälen, das Spielcasino Oeynhausen, Spielothek und Gastronomie sowie eine Discothek. Erschlossen werden die Bereiche des Vergnügens über ein Foyer im Erdgeschoß und im 1. Obergeschoß. /Abb. 04/

Die beiden Gebäudekomplexe sind im 1. Obergeschoß durch ein großzügiges Foyer miteinander verbunden. Hier liegen die Kinosäle. Dieses Foyer wird durch zwei in leichter Stahlbauweise gebaute Gangways gegliedert. Sie öffnen sich nach zwei Seiten in Form einer lichtdurchfluteten Glasfassade. Die den Raum durchziehende Lüftungspipe verleiht dem Gesamtkomplex eine technische Ästhetik. Zusammen mit der prägnanten klaren Farbgestaltung und dem teilweise auch farbig hinterleuchteten Interieur ist ein spannungsvolles Raumerlebnis zu erfahren. /Abb. 05/



Lichtplanung und Ausführung

Ziel der Planung war es, dieses Raumerlebnis zu verstärken und zu einem Szenarium zu gestalten, das sowohl Spannung als auch eine Vorfreude auf das bevorstehende Vergnügen erzeugt. Die Grundbeleuchtung wurde durch eine Lichtumlenktechnik realisiert. 10 Spiegelgruppen, mit jeweils 3 Planspiegeln unter der Decke abgependelt, werden pro Gruppe von einer Werferbatterie mit 4 Strahlern angestrahlt. Das reflektierte Licht erzeugt eine tageslichtähnliche Wirkung mit reduzierten Leuchtdichten. Durch die Einstellung der Spiegel entsteht eine gewollte Lichtkonzentration und Schattigkeit. Hierdurch erfahren bestimmte Bereiche/Zonen eine Akzentuierung. Eine leichte Überstrahlung der Spiegel erzeugt ein interessantes Schattenspiel unter der Decke und hellt diese noch zusätzlich auf. Diese „Indirektkomponente“ wird durch die exakte Fokussierung der Werfersysteme eingestellt. /Abb. 06/



Die Werfergruppen sind ausnahmslos in „wartungsfreundlichen“ Höhen positioniert. Zusätzlich sind an den Fassadenelementen Lichtwerfer mit eng eingestelltem Lichtkegel eingesetzt. Diese zeichnen die vertikalen Tragelemente nach und heben diese hervor. Farbige Neonsysteme betonen Konturen und legen farbige Reflexe auf spiegelnde Materialien. An der Lüftungspipe angebrachte Strahler setzen zusätzliche Akzente auf Ausstellungsdisplays und Dekorationen. Vor den gläsernen Stirnseiten des Foyers schließen abgependelte Schirmleuchten den gesamten Raum gestalterisch ab. Sie erzeugen mit ihrem warmtonigen Licht einen fröhlichen Kontrast zum übrigen Farbenspiel und transportieren zusätzlich die Stimmung nach außen.

Eingesetzte Technik:

Umlenkspiegel: Planspiegel \varnothing 1000 mm in 3er Gruppe formiert, abgependelt mit Kugelgelenk dreh- und schwenkbar. Oberfläche: brillant-finish eloxiert, Aufweitung 12° . Abstand UK-Spiegel bis Boden ca. 16 m (20 m).

Befuerung: Werfer Beam 4 Stück pro Spiegelgruppe, jeweils mit einer Halogenmetallhdampfdrucklampe HIT 150 W bestückt. Ausstrahlwinkel: $7 - 14^\circ$. Versorgungseinheit integriert. Abstand Werfer zum Spiegel ca. 6 m und 3,5 m.



4.2 Kesting Galerie, Düsseldorf

Im Zuge der Revitalisierung dieser Einkaufsgalerie an der Königsallee Düsseldorf wurde die Fassade komplett neu gestaltet. Es galt, eine angenehme, einladende und anziehende Lichtatmosphäre zu schaffen. Störende Lichtemissionen zu Mietern und Nachbarn (Wohnungen und Büros) waren zu vermeiden. Ein hoher Eingangsbereich und eine niedrige Passage erschließen den sich nach oben öffnenden Galeriebereich, der mit einer spitzwinkligen verglasten Stahlkonstruktion überdacht ist. Die Fassade bilden die Schaufensterauslagen und darüber liegende Räumlichkeiten, deren Fenster den Ausblick in die Galerie gewähren. Der Boden ist mit hellgrauem, polierten Granit belegt. (Abb. 07/



Die Grundbeleuchtung wurde über schwenkbare Umlenkspiegel realisiert, die an der Dachkonstruktion befestigt wurden und mit je 2 Lichtwerfern bestrahlt werden. Die Werfer zu den Spiegeln wurden wartungsfreundlich montiert. Zu vermeiden war der direkte Einblick in die Lichtquellen. Störendes Streulicht wird durch den Einsatz von Abschattern verhindert. Diese sind so eingestellt, daß Licht nur kontrolliert über den Reflektor abgestrahlt wird. Zusätzlich sind die Leuchten so fokussiert, daß fast ausschließlich die Spiegelflächen angestrahlt werden. Ergänzend zur Grundbeleuchtung werden die vertikalen Fassadenvorsprünge durch Streiflicht hervorgehoben. Hierzu wurden engbündelnde Lichtwerfer eingesetzt. In den Decken- und Erkeruntersichten wird dieses Lichtkonzept ergänzt durch Downlights mit flutender und engbündelnder Charakteristik. /Abb. 08/

Eingesetzte Technik

Umlenkspiegel: Planspiegel Ø 600 mm, Oberfläche: Aluminium brillant-mattfinish eloxiert, Kugelgelenk; Abstand UK-Spiegel bis Fußboden ca. 8 m.

Befuerung: Werfer Beam für Halogenmetalllamp-Hochdrucklampe HIT 150 W. Pro Spiegel 2 Werfer, Ausstrahlwinkel 7–4°. Versorgungseinheit integriert. Abstand Werfer zum Spiegel ca. 6 m.

Downlights: Cavea und Solaris für Halogenmetalllamp-Hochdrucklampe HIT 70 W/150 W.

Spiegel-Werfer-Systeme als effektive und anspruchsvolle Beleuchtungslösung

Tobias Schiebold

Spiegel-Werfer-Systeme gewinnen durch ihr anspruchsvolles Erscheinungsbild und ihre fast unendlichen Möglichkeiten einen immer höheren Stellenwert in der Beleuchtung. Die Anwendungsbereiche sind hierbei im Außenbereich und Innenraum gleichermaßen zu finden.

Das Funktionsprinzip der Spiegel-Werfer-Systeme ist folgendes: Von einem engbündelnden Hochleistungsscheinwerfer wird Licht nach oben auf einen Spiegel

gerichtet. Der Spiegel reflektiert dieses Licht und lenkt es auf die zu beleuchtende Ebene. Dabei wird die rotationsförmige, enggebündelte Ausstrahlung des Scheinwerfers durch den Spiegel in eine für die Beleuchtungsaufgabe optimale Lichtverteilung transformiert.



Abb. 1: Die Straßenleuchte GALAXSiE. Eine Spiegel-Werfer-Leuchte mit ellipsoidförmigem Werferreflektor

1. Spiegel-Werfer-Systeme als effektive Beleuchtungslösung
Im ersten Schritt sollen die Spiegel-Werfer-Systeme in Hinblick auf eine effektive Beleuchtungslösung untersucht werden. Dazu betrachten wir zuerst die Komponenten:

Komponente 1 – Werfer:

Der Werfer hat die Aufgabe, das Licht der Lampe auf den Spiegel zu konzentrieren, der in einem bestimmten Abstand zum Werfer angebracht ist. Dazu ist eine möglichst gute Bündelung erforderlich. In Frage kommen somit hauptsächlich Parabolreflektoren. Ellipsoidreflektoren und andere Formen können in besonderen, auf den Sekundärspiegel abgestimmten Lichttechniken, zum Einsatz kommen; sie bilden aber die Ausnahme (Abb. 1).

Dipl.-Ing. Tobias Schiebold
Siteco Beleuchtungstechnik GmbH
Ohmstraße 50
D-83301 Traunreut

Wesentlich für die Lichtbündelung ist die Brennergröße der verwendeten Lampe und die Reflektorgröße. Es gelten dabei die bekannten Gesetze der Optik: je größer der Reflektor und je kleiner der Lampenbrenner desto besser die Lichtbündelung.

Neben der hohen Bündelung ist natürlich ein hoher Wirkungsgrad erforderlich. Besonders effektive Werfer besitzen einen Leuchtenbetriebswirkungsgrad von nahezu 90 %.

Dem Wirkungsgrad entgegen spricht die oft gestellte Forderung nach Entblendung. Der Wunsch kommt zum einen immer dann auf, wenn Beobachterstandpunkte vorhanden sind, von denen die Freiausstrahlung des Werfers wahrgenommen werden kann. Zum anderen wird eine Entblendung gewünscht, wenn das Streulicht ungewollte Aufhellungen, z.B. an einer Fassade, bewirkt. In solchen Fällen wird normalerweise eine Blende in oder an den Werfer integriert. Diese Blenden verhindern einen Einblick in die Lampe und eliminieren das störende Licht. Damit haben sie den Nachteil, daß sie den Wirkungsgrad verringern. Eine andere Möglichkeit der Entblendung wird durch den Primärfokusreflektor realisiert (Abb. 2). Mit diesem lichttechnischen Einsatz in den Werfer wird das störende Licht der Lampe nicht ausgelöscht, sondern in den Kernstrahl reflektiert. Ein Werfer, der mit einem solchen Primärfokusreflektor ausgestattet ist, hat gegenüber einem baugleichem Werfer ohne Entblendung keinen relevanten Wirkungsgradverlust. Auf diese Weise kann bei einem Werfer trotz Entblendung ein hoher Wirkungsgrad bei sehr guter Bündelung realisiert werden.

Einige Werfer bieten zusätzlich die Möglichkeit einer Fokussierung. Dies ist aber nicht unbedingt erforderlich. Wenn der Werfer schon gut gebündelt ist, braucht er nicht nachfokussiert zu werden. Durch die Fokussierung kann zwar nach einem Lampenwechsel bei eventuellen Abweichungen der Brennerlage im Lampenkolben eine Korrektur durchgeführt werden, in der Praxis wird dies allerdings kaum genutzt.

Komponente 2 – Spiegel:

Die Spiegel, oft als Kombination von Spiegel-Facetten ausgeführt, reflektieren das vom Werfer auf sie gerichtete Licht auf die zu beleuchtende Fläche. Ihre Aufgabe ist es also, das Licht passend für die Beleuchtungsaufgabe aufzustreuen. Es läßt sich daher auch als Transformation des Lichtes verstehen: der enggebündelte Strahl des Werfers wird durch die Spiegel in eine für die Anwendung optimale Lichtverteilung umgewandelt. Damit dies auch funktioniert, wird eine hochpräzise und hochglänzende Oberfläche benötigt. Die Verwendung einer matten oder seidenmatten Oberfläche hat zur Folge, daß Licht unkontrol-

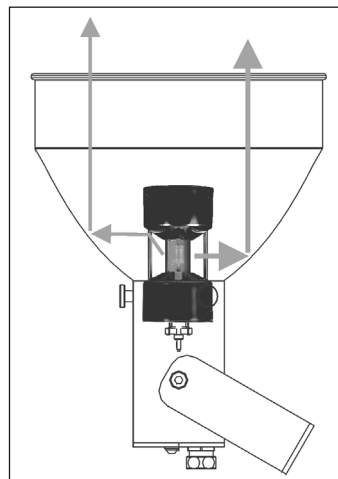


Abb. 2: Funktionsweise des Primärfokusreflektors

liert aufgestreut wird und somit der Spiegel in eventuell kritischen Blickrichtungen eine unerwünscht hohe Leuchtdichte aufweist.

Bei präzise geplanten Anlagen ist eine Begrenzung der Lichtstärkeverteilung eines Spiegels so möglich, daß BAP-Bedingungen (oder auch für den Außenbereich entsprechend KB1 oder KB2) eingehalten werden. Hier ist von einer Blendfreiheit im konventionellen Sinne zu sprechen. Sieht der Betrachter nun innerhalb des Ausstrahlungsbereiches in den Spiegel, so erscheint (durch die Aufspaltung des Werfers in viele kleine Abbildungen) ihm dies angenehmer, als wenn er direkt in den Werfer blicken würde. In diesem Fall spricht man von einer Blendungsreduzierung durch Lichtpunktzerlegung.

Die Lichtwirkung in der Anlage eines Spiegel-Werfer-Systems funktioniert also so, daß durch das auf den Spiegel reflektierte Licht ein definierter Bereich beleuchtet wird. Außerhalb dieses Bereiches wird kein Licht gestreut. Hier unterscheiden sich konventionelle Beleuchtungssysteme – seien es Downlights, Rasterleuchten oder Straßenleuchten – relevant von den Spiegel-Werfer-Systemen: die Freiausstrahlung der Lampe entfällt (Abb. 3).

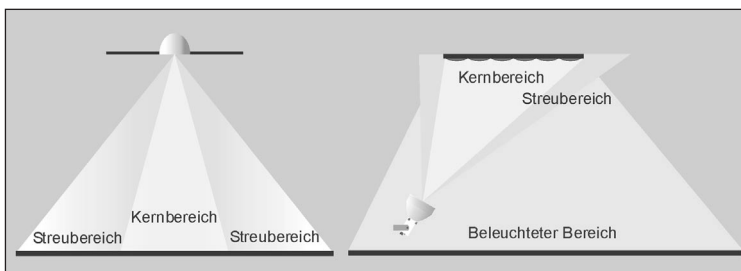


Abb. 3: Freiausstrahlung/Streulicht konventioneller Beleuchtung und Spiegel-Werfer-System

Weitere Gesichtspunkte sprechen für Spiegel-Werfer-Systeme als effektive Beleuchtungslösungen:

- Einfachere Wartung. Der Werfer als wartungsrelevantes Element kann dort angebracht werden, wo er einfach gewartet werden kann. Zum Beispiel an einer Galerie. Im Außenbereich zeichnen sich die Spiegel-Werfer-Systeme dadurch aus, daß die Werfer in relativer Bodennähe angeord-

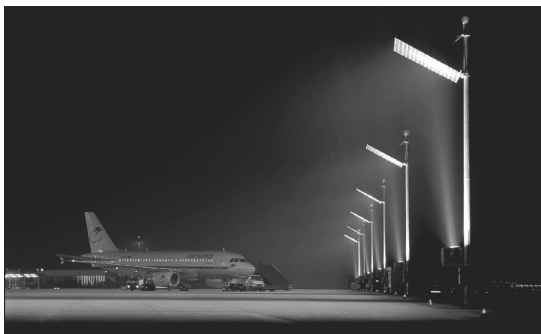


Abb. 4: Vorfeldbeleuchtung über Spiegel-Werfer-System am Flughafen Salzburg

net werden und so normalerweise mit einem kleinem Steiger erreicht werden können. Auch ist hier die Verwendung einer begehbaren Bühne zur Aufnahme der Werfer möglich.

- Weniger Lichtpunkte. Spiegel-Werfer-Systeme kommen normalerweise mit weniger Lichtpunkten aus. Dadurch wird der Installationsaufwand reduziert. Auch der Platzbedarf für Masten im Außenbereich wird verringert.
- Geringere Masthöhe. Durch die Lichtumlenkung der Spiegel konnte die Masthöhe bei Vorfeldsystemen von 30 m auf unter 20 m reduziert werden (Abb. 4). Dies hat auf die Statik und so auf den Preis Einfluß.
- Schaltbarkeit. Werden mehrere Werfer auf einen Spiegel gerichtet, so läßt sich die Beleuchtungsstärke (in Abhängigkeit von der Anzahl der Werfer) ohne Einbuße in der Gleichmäßigkeit schalten. Im Innenbereich wird dies z.B. bei der Beleuchtung von Mehrzweckräumen genutzt, um je nach Tätigkeit der Nutzer die erforderliche Beleuchtungsstärke einschalten zu können (siehe unten Abb. 10).

2. Spiegel-Werfer-Systeme als anspruchsvolle Beleuchtungslösung

Die gestalterischen Möglichkeiten, die sich durch die räumliche Trennung von Werfer und Spiegel ergeben, sind sehr vielfältig. Es sind Beleuchtungslösungen realisierbar, die mit konventionellen Beleuchtungen nicht vorstellbar wären.

Spiegel-Werfer-Systeme sind nahezu beliebig skalierbar. Die kleinsten Systeme (z.B. eine Stehleuchte, mit einem Direktanteil über ein Spiegel-Werfer-System (Abb. 5)) beginnen bei einer Lichtpunkthöhe von unter 2 m, einer Facettengröße von 9,7 mm und einer Werferbestückung von HIT-CRI 35 W. Eines der größten Systeme ist eingesetzt für die Beleuchtung der Donaubrücke in Budapest. Die Masten sind 35 m hoch, die einzelnen Facetten haben eine Kantenlänge von über 350mm und die Werfer sind mit HIT-DE 1000W-Lampen bestückt. Es konnte ein Lichtpunktabstand von 100 m erreicht werden. Mit konventioneller Beleuchtung wäre bei dieser Anlage die Blendung der Schiffe auf der Donau ein Problem gewesen. Die Freiausstrahlung hätte durch Zusatzmaßnahmen begrenzt werden müssen. Durch das Spiegel-Werfer-System konnte das Licht ausschließlich auf die Brücke gelenkt werden. In Abb. 6 ist das eindrucksvolle Erscheinungsbild der Brücke zu sehen.

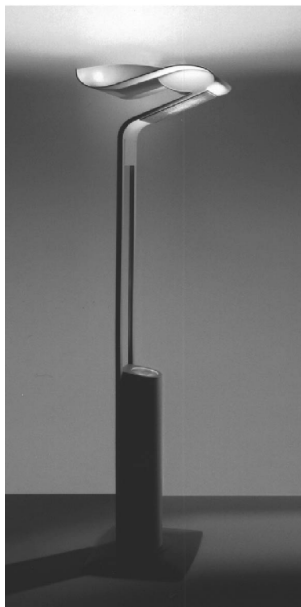


Abb. 5: Spiegel-Werfer-Beleuchtung als Direktanteil der Stehleuchte Es-Line

In Berlin wurden die Büros der Kreditanstalt für Wiederaufbau mit Spiegel-Werfer-Systemen beleuchtet. In einer Symbiose mit Tageslicht versorgen Werfer, die im Fensterbrüstungsbereich angeordnet sind, über plan in der Decke integrierte Spiegel die Arbeitsflächen mit blendfreiem Licht (Abb. 7). Das Besondere an den Spiegeln ist, daß je nach Raumtiefe, also horizontalem Abstand zum Werfer, un-



Abb. 6: Beleuchtung der Lagymanyos-Donaubrücke in Budapest

terschiedlich geformte Facetten eingesetzt werden. So besteht ein Spiegel in der Regel aus 35 unterschiedlichen Facettenformen. Der Effekt ist, daß das Licht des Werfers unter Berücksichtigung des Einfallswinkels exakt auf den Arbeitsbereich gelenkt wird. In Abb. 8 ist dies schematisch dargestellt.



Abb. 7: Kreditanstalt für Wiederaufbau, Berlin

In der Regel werden die Systeme so ausgeführt, daß die Komponenten frei einstellbar sind. Dadurch kann die Lichtwirkung der Anlage angepaßt werden. Ein Beispiel dafür, daß es auch ohne Einstellungsmöglichkeiten funktioniert, zeigt Abb. 9: die Beleuchtung der Ankunfts- bzw. Abflughalle des Airport Istanbul. Hier

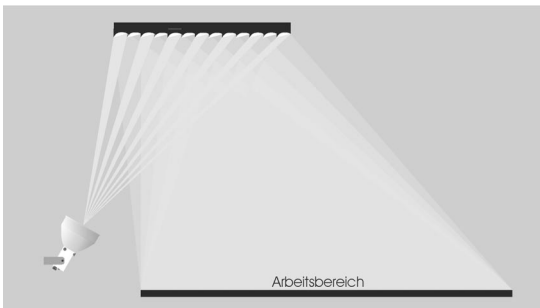


Abb. 8: Spezielle Lichtlenkung des Spiegels für die Kreditanstalt für Wiederaufbau, Berlin

war die vorhandene Beleuchtungsanlage zu modernisieren. Die Halle besteht aus streng geometrisch aneinander angeordneten Dreiecken. Das Licht soll der Halle einen freundlicheren Eindruck geben. Dazu wurden in jedem Teildreieck der Halle an der Decke drei Drachenvierecke zu einem Spiegel kombiniert und mit drei Werfern beleuchtet.

Der Spiegel ist eine fixe Schweißkonstruktion. Über eine exakte Planung wurde vorab die genaue Geometrie bestimmt. Das Streulicht der Werfer wird dazu genutzt, die dunkle Decke aufzuhellen. Diese Beleuchtungslösung wertet das Erscheinungsbild der Halle auf und verschafft ihr ein neues Flair.

Die Fachhochschule München wollte eine ehemalige Kapelle zu einem Multifunktionsraum umgestalten. Die historische Bausubstanz sollte durch die Be-



Abb. 9: Ankunfts- bzw. Abflughalle des Airport Istanbul



Abb. 10: Früher: Kapelle.
Heute: Multifunktionsraum
der FH Pasing

leuchtungsanlage nicht beeinträchtigt werden. Erschwerend kam noch hinzu, daß an der Raumdecke Kunstglassegel befestigt waren. Daher war eine Installation von Leuchten an der Decke nicht möglich. Als Lösung wurden Spiegel-Werfer-Systeme zwischen den Rundbögen installiert. Je drei Werfer bringen ihr Licht auf einen Spiegel. Dadurch erreichen wir eine dreistufige Schaltbarkeit des Beleuchtungsniveaus, ohne Einbußen in der Gleichmäßigkeit in Kauf nehmen zu müssen. Damit kann der 12 m x 14 m große Raum für die verschiedensten Nutzungen direkt und reflexblendungsfrei ausgeleuchtet werden (Abb. 10).

Spiegel-Werfer-Systeme erfüllen die Anforderung nach einer effektiven und wirtschaftlichen Beleuchtung und bieten darüber hinaus unendliche Möglichkeiten, eine anspruchsvolle Beleuchtungslösung zu gestalten.

Anwendungsmöglichkeiten für Beleuchtungssysteme mit Lichtrohren

Rienk Visser

Die Möglichkeiten zur Beschränkung des Energieverbrauches für Kunstlichtbeleuchtungssysteme in Innenräumen ist grundsätzlich das Tageslicht. Eine gute Möglichkeit für das Leiten und Zerstreuen von Tageslicht bietet die Verwendung von sogenannten Lichtrohren in Kombination mit Heliostaten und/oder anidolische Tageslichtsystemen. Auch kann die Nutzung von Lichtrohren aus anderen Gründen für energie-effiziente künstliche Beleuchtung erwünscht sein.

Im Auftrag von Novem, der Niederländischen Organisation für Energie und Umwelt hat Technical Management die heutigen Anwendungsmöglichkeiten erforscht.

1. Lichtrohre für Tageslichtsysteme

Die Anwendung von Lichtrohren für das Leiten von Tageslicht eventuell in Kombination mit Kunstlichtquellen erschien zuerst kaum unbegrenzte Möglichkeiten zu bieten, unter anderem um Energieeinsparung zu erreichen. Besonders das Leiten von Tageslicht in Räume, worin das bisher nicht möglich war, kann jetzt wohl realisiert werden.

Die verhältnismäßig große Anzahl Artikel über dieses Thema und Forschungen, die weltweit durch verschiedene Institute und Universitäten gemacht worden sind, zeigen das. In diesem Zusammenhang zu nennen sind unter anderem das Arthelio-Projekt der Technischen Universität Berlin, das Projekt des Fraunhofer-Institutes für Solare Energiesysteme in Freiburg, eine Forschung durch die Schule für Architektur der Universität Liverpool und eine Evaluationsuntersuchung durch Lighting Research Center in den Vereinigten Staaten.

Die Ergebnisse der Forschungen, die bis jetzt sind erreicht, sind aber derartig, daß sicher in Kürze keine kommerziellen Anwendungen zu erwarten sind. Die meisten Forschungen werden ausgeführt mit Heliostaten. Besonders in Ländern worin viele Tagen mit Bewölkung vorkommen, können möglicherweise anidolische Systeme, womit diffuses Tageslicht konzentriert werden kann, bessere Perspektiven eröffnen. In bezug auf Anwendungen aus der Praxis muß bemerkt werden, daß die Bopparthof-Schule in Sankt Gallen in der Schweiz sofern bekannt, das einzige Projekt ist wo Lichtrohre für die Leitung von Tageslicht in Kombination mit Kunstlicht verwendet worden sind.

Rienk Visser
Technical Management
Postbus 68
NL-3800 AB Amersfoort

Eine Anzahl der Forschungen basiert auf der Anwendung der vor einigen Jahren entwickelten Schwefellampe. Diese Lampe ist aber jetzt nicht mehr zu erwerben. Hierdurch werden für neue Anwendungen meistens ganze Metalldampflampen benutzt. Ein Nachteil dieses Lampentypes ist aber, daß er nicht oder wenig dimmbar ist und die Farbtemperatur sich hierbei meistens ändert.

In der Praxis hat sich aber durch Forschung gezeigt, daß in derartiger Weise das Beleuchten von Räumen, von wo keine Sicht nach außen möglich ist, insbesondere bei wechselnden Wetterverhältnissen, als unangenehm empfunden wird. Dies wird hauptsächlich verursacht durch die Tatsache, daß die immer in Intensität wechselnde Tageslichtbeleuchtung genauso eine defekte Kunstbeleuchtung erfahren wird, weil keine Beziehung mit Bewölkung gelegt werden kann.

Beleuchtungsstärkewechsel kommen auch vor bei dynamischen Heliostaten, wenn es stark weht. Das geschieht, weil Heliostaten im allgemein empfänglich sind für Wind und dadurch eine bewegende Spiegelung der Sonne verursachen.

In bezug auf das Erlebnis von Räumen kann weiter bemerkt werden, daß bei niedrigen Beleuchtungsstärken außen, zum Beispiel bei einem bedeckten Himmel, innen sehr niedrige Beleuchtungsstärken hinzukommen mit einer relativ hohen Farbtemperatur. Das wird in vielen Fällen weniger natürlich oder sogar un natürlich empfunden.

2. Lichtrohre für Kunstlichtsysteme

Bei nahezu allen Anwendungen in der Praxis wird das Lichtrohr nur benutzt, um Kunstlicht zu leiten und in Räume zu streuen, beispielweise in Tunnel, U-Bahnhöfen, Atrien, Clean Rooms, Kühl- und Tiefkühlräumen, Sport- und Aufenthaltsräumen, Postsortierräumen, Museen, Industrieräumen und dekorativen Anwendungen.

Diese Projekte sind unter anderem zu finden in Deutschland, England, Italien, den Niederlanden, Rußland, den Vereinigten Staaten und Schweden.

Bedeutende Gründe, um sie anzuwenden, sind besonders die einfache Wartung und die Möglichkeit, um für die Lampen ein derartigen Platz zu wählen, daß sie unter allen Umständen einfach zu wechseln sind. Außerdem bieten sie Einschränkung der Wärmeentwicklung in Räumen und Vitrinen, keine physiologische Blendung, die Möglichkeiten für Begleitung in Verkehrszonen und für architektonische und dekorative Anwendungen.

Die Zahl der erhältlichen Ausführungen steigt regelmäßig. So sind mittlerweile Systeme für Metalldampflampen als Lichtquelle zu bekommen in Längen von 4 bis 20 Meter, ein Durchmesser von 100 und 250 mm und eine Apertur von 90°, 120° und 180°.

Es sind aber noch sehr wenig genaue Daten bekannt über Energie-Effizienz, Erlebnis, Investierungs- und Betriebskosten im Vergleich zu mehr gängigen Beleuchtungssystemen.

3. Angewendete Lampentypen

Eine große Anzahl der Systemen die einige Jahren her angewendet worden sind, haben als Lichtquelle die sogenannte Schwefellampe, mit einer Leistung von 1000 W und einer Systemleistung von 1425 W. Durch der sehr hohe Lichtstrom von etwa 140.000 Lumen wird die sehr günstige Lichtausbeute von etwa 100 Lumen/Watt erreicht. Der Farbwiedergabe-Index R_a ist 79 und die Farbtemperatur 6000 K.

Es hat sich aber gezeigt, daß diese hohe Farbtemperatur besonders bei niedrigen Beleuchtungsstärken im Großen und Ganzen unnatürlich und dadurch auch als weniger angenehm erfahren wird. Diese Wirkung ist in der Vergangenheit unter anderem untersucht worden durch Kruithof und durch Bodmann, Söllner und Voit.

Auch bei diesen Untersuchungen hat sich gezeigt, daß Licht mit einer Farbtemperatur von 6000 K bei Beleuchtungsstärken geringer als 700 Lux kalt, fahl und/oder dämmerig bewertet werden.

Diese Wirkung wird noch weiter verstärkt, auch wenn andere Lampen mit einer geringen Farbtemperatur sichtbar ist. Das Licht des Schwefellampes wird dann noch mehr als unnatürlich und grünlich bewertet.

Diese Lampe wird aber vorerst nicht mehr herausgebracht.

Deswegen werden jetzt im Großen und Ganzen nur als Metaldampflampen angewendet. Die Lichtausbeute ist, abhängig von der Lampleistung, etwa 55 – 100 Lumen/ Watt.

Die Lampen haben sehr gute Farbwiedergabe-Eigenschaften und verschiedene Farbtemperaturen sind möglich.

Ein Nachteil dieses Lampentyps ist aber, daß sie nicht oder kaum zu dimmen sind. Der Regelbereich für einige Typen ist zunächst maximal 30 – 50 %. Auch brennen die Lampen nach Einschalten nicht sofort

Lampenleistung Watt	Lichtstrom*) Lumen	Lichtausbeute**) Lumen/Watt
35	3.400	70
70	5.000 - 6.400	55 - 75
100	1.000	90
150	1.000 - 13.500	65 - 80
250	17.000 - 20.000	55 - 70
400	32.000 - 38.000	65 - 85
1000	80.000 - 100.000	75 - 95
1800	155.000 - 160.000	80 - 85
2000	180.000 - 210.000	85 - 100
3500	320.000	90

*) Lichtstrom abhängig von Fabrikat und Lamptyp

**) Lichtausbeute abhängig von Fabrikat, Lamptyp und $e(VG)$

Tabelle: Übersicht Lichtstrom und Lichtausbeute von Metallhalogenidelampen

4. Schlussfolgerung und Empfehlungen

Alles im allem haben die Forschungsergebnisse bis heute noch nicht zu allgemein verfügbare Systeme geführt, die Leitung von Tageslicht und/oder Kunstlicht mit einer der wichtigsten Zielen des Energieverbrauchs zu begrenzen.

Doch es gibt immer noch gute Chancen dazu.

Möglicherweise bieten sogenannte anadolische Tageslichtsysteme gute Möglichkeiten, um auch diffuses Tageslicht zu konzentrieren. Es sind aber aus der Praxis keine Daten von derartige Systemen bekannt

Besonders bei regelmäßig wechselnden Wetterverhältnissen erscheint die Anwendung nur sinnvoll in Räumen, worin auch direkte Sicht nach außen möglich ist.

Für Planung in Projekten sind aber bisher noch immer viel zu wenig Daten verfügbar, besonders für komplexe Systeme mit Kupplungen und Abzweigungen und in bezug auf örtlich zu berechnende Beleuchtungsstärken.

Mittlerweile werden aber in zunehmendem Maße Standardsystemen für Kunstlicht auf den Markt gebracht und diese werden auch immer mehr angewendet.

An Hand der verfügbaren Informationen von Fabrikanten und aus die Literatur kann zunächst festgestellt werden, daß die Anwendung zur Energieeinsparung meistens nicht sinnvoll ist. Ausnahmen hierauf bilden in manche Fällen Anwendungen von Lichtrohren in Räumen mit sehr niedrigen Temperaturen, wie Kühl- und Tiefkühlräume und Kühlvitrinen. Auch auf andere Weise bieten sie aber sehr viel Möglichkeiten wie architektonische und dekorative Anwendungen und in Räumen mit sehr niedrigen Beleuchtungsstärken wie in Museen und Parkhäuser.

Literatur

New efficient light guide for interior illuminations - L. A. Whitehead, R.A. Nodwell en F.L. Curzon - Applied Optics, vol.21, nr.15, blz. 2755-2757, 1982

Passive optical solar tracking system - R. Mc. Cluney – Applied Optics, vol.22, nr.21, blz. 3433-3439, 1983

A demonstration of illumination with sunlight distribute in light pipes - L.A. Whitehead en J.E. Scott - Proceedings Intersol 85, Montreal 1 302-309 (New York: Pergamon), 1986

Progress in development of prism light guides - S.G. Saxe, L.A. Whitehead en S. Cobb Jr - SPIE Proceedings 692, blz 235-240, 1984

Distribution of light with prism light guides – L.A. Whitehead en J.E. Scott – Proceedings of the 1984 Annual Conference of the IESNA, 1984

Development and demonstration of selfaligning multy-store core daylighting system – B. Jork, J. de Vaal, L. Whitehead e.a. – Proceedings Conference Daylighting 90, Moskou, 1990

Scotch optical lighting film - 3M Applications Bulletin - 3M Austin, Texas, USA – 1990

Scotch optical lighting film - Photometrics - 3M Applications Bulletin – 1991

IHABS, Das ISE-Heliostaten-Arbeitsplatz-Beleuchtungs-System - eine Demonstrationsanlage – F. Sick - Informationsschrift des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme, 1993

Remote-source lighting – part 2 – Light tubes – Erik Jostes – International Lighting Review 4/1993, blz. 118-125, 1993

Remote-source lighting comes indoors – Hertie department store, Stuttgart – International Lighting Review 4/1993, blz. 126-131, 1993

3M Building, Maplewood, USA - A living showcase - International Lighting Review 4/1993, blz. 132-133, 1993

Grote Kerkplein, Zwolle, The Netherlands - An old square in a new light - International Lighting Review 4/1993, blz. 134-135, 1993

Hollow light guides based on prismatic total-internal-reflector film - J.B. Aizenberg en A.A. Korobko - Light and Engineering Volume 2, blz. 14-21, 1994

Daylighting: a case study of the 3M Divisional headquarters, Austin, Texas - R. Appeldorn - Light and Engineering Volume 2, nr.2, blz. 62, 1994

The Design and Evaluation of Three Advanced Daylighting Systems: Light Shelves, Light Pipes and Skylights - L.O. Beltrán, E.S. Lee, K.M. Papamichael en S.E. Selkowitz - Proceedings of the Solar '94 Conference- LBNL Report 34458 - 1994

Hollow light guide systems for introduction and redistribution of solar radiation in buildings - an effective Way of Energy Saving - Julian B. Aizenberg en Alexey A. Korobko - Proceedings Right Light 3, Volume 2, blz. 131-133, 1995

Hollow Light Guide Applications - Publication of CIE TC 3-30, 1995

Remote source electric lighting systems: A review - M.J. Ayers BEng MSc en D.J. Carter MSc PhD CEng MCIBSE - Lighting Research and Technology - Vol.27 No.1, blz. 1-15, 1995

Lighting high bay areas with electrodeless lamps - F. Florentine, L. Anderson, D. MacLennan en L. Whitehead - Journal of the IES26, no.1, blz. 27-34, 1995

Advanced Optical Daylighting Systems: Light Shelves and Light Pipes - L.O. Beltrán, E.S. Lee en S.E. Selkowitz - Proceedings of the 1996 IESNA Annual Conference, blz. 840-866, 1996

Ein Beleuchtungssystem mit hohlen Lichtwellenleitern für das richtigen Licht zum Lernen - J.B. Aizenberg en A.A. Korobko - Licht 6/97 blz. 509-515 en Licht 10/97 blz. 796-808, 1997

Principal New Hollow Light Guide system „Heliobus“ for Daylighting and Artificial Lighting of Central Zones of Multi Storey Buildings - J.B. Aizenberg en A.A. Korobko e.a. - Proceedings Right Light 4, Volume 2, blz. 239-243, 1997 en

Proceedings Lux Europa 1997, blz. 919-928, 1997

Technical Specifications for 3M Light Pipe Systems LPS1010 - 3M Specified Construction Products Department - Technical Bulletin, draft, 6 november 1997

Anidolic Ceiling: a new light-duct for side-daylighting in buildings - G. Courret, D. Fancioli, J.L. Scartezzini en J.J. Meyer - Daylighting '98, Ontario, Canada, Conference Proceedings, May 11-13, 1998

Measurement and modelling of a light pipe for energy efficient lighting - L. Shao, S.B. Rif-fat, et al - National lighting conference, Lancaster University, CIBSE, blz. 410-419, april 1998

Method for Estimating the Efficiency of Prism Light Guide Luminaires - Lorne A. Whitehead en Kristin Hoffmann - Journal of the Illuminating Engineering Society - blz. 13-18, 1998

Guiding light - efficient at times - J. Aizenberg en E. Mills - Ltg., vol.18, no.5, blz. 22-24, september 1998

Physikalische Grundlagen des Transports von Lichtströmen in Lichtrohren - K. Eder - Diplomarbeit Universität Innsbruck und Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, 1998

Architektonisch-functionelles Beleuchtungssystem bestehend aus einem Spaltlichtleiter für Fussgängerbrücken über die Moskauer Ringautobahn - J.B. Aizenberg, D. Albert, O.G. Korjagin, G.B. Kravez, U. Radde - Tagungsband Licht 98, blz. 555-557, 1998

Arthelio - Ein intelligentes und energie-optimiertes Beleuchtungssystem basierend auf der kombinierten Nutzung von Tageslicht und dem Kunstlicht der Schwefellampe - Dipl.-Ing. Thomas Müller en prof. dr. rer. nat. Heinrich Kaase - Tagungsband Licht 98, blz. 345-351, 1998

Tageslichtnutzung – Transport von konzentriertem Sonnenlicht in Lichtrohren – Cand. rer. nat. Karlheinz Eder, Dr. Manuel Goller en Dipl.-Ing. Jan Wienold – Tagungsband Licht 98, blz. 352-360, 1998

Innenraumbeleuchtung mit Heliostaten - Mag. W. Pohl, Mag. Ch. Anselm, Mag. Ch. Scheiring en Ch. Walsoe - Tagungsband Licht 98, blz. 375-379, 1998

Fussgängerbrücke über den Autobahnring – Paul W. Schmits – Licht (D) 10/98, blz. 868-871

Lichtgeleiding genereert energiebesparing – Rolf Elling – Elektro Magazine Installatie, blz. 73-74, november 1998

Geleiding en distributie van kunstlicht en daglicht via holle pijpen – Rienk Visser – Licht, blz. 15-17, december 1998

Artelio - Praktische toepassing van gecombineerd gebruik van daglicht en kunstlicht via holle geleiders - Rienk Visser – Licht, blz. 17, december 1998

To Capture the Sun and Sky - Rensselaer Polytechnic Institute – Lighting Fixtures, Volume 1 Number 4 – 1998

Light-pipe brengt licht op lastige plaats – Ad Tissink – Cobouw, nr.36, februari 1999

Natuurlijk licht in ondergrondse ruimten – Rienk Visser – TVVL magazine 5, 1999

Daglichtbeleving Ondergronds – Sociale veiligheid door licht en zicht – ir. Ita Luten, ir. Pim van der Vliet en ir. Sander Korz – ISBN 90 76250 20 0 – Senter, Technologie & Samenleving - november 1999

Arthelio – Ein Grossforschungsprojekt der Technischen Universität Berlin - Prof. Dr.-Ing. Heinrich Kaase, Dipl.-Ing. Sven Holger Kloss, Dr.-Ing. Thomas Müller, Dipl.-Ing. Alexander Rosemann en Dr.-Ing. Felix Serick - Licht 3/2000

Untersuchungen zur Frage der Bewertung von Lichtstärke und Leuchtdichte der leuchtenden Fläche bei unterschiedlichen Scheinwerfersystemen

Stephan Völker

1. Einleitung

Scheinwerfer lassen sich in Projektions- und Reflexionssysteme einteilen. Ihre Hauptaufgabe ist es, den Straßenraum optimal zu beleuchten ohne den Gegenverkehr dabei zu blenden.

Im realen Straßenraum ist dieses Ziel jedoch kaum in allen Verkehrssituationen zu erreichen. Licht, welches eigentlich der Beleuchtung dient, kann in ungünstigen Situationen auch zur Blendung führen. In diesem Wissen läßt der Gesetzgeber eine bestimmte Blendbeleuchtungsstärke pro Scheinwerfer am Auge des entgegenkommenden Kraftfahrers zu. Um die Blendung so gering wie möglich zu halten, ist vieles in den letzten Jahrzehnten geschehen. Vor gut 30 Jahren wurde das asymmetrische Abblendlicht eingeführt und vor 10 Jahren die automatische Leuchtweitenregelung. Es gab zahlreiche Versuche zur Einführung von Polarisationscheinwerfern und polarisierten Windschutzscheiben. Stets ging es um eine Reduzierung der Blendung.

2. Blendungsbegrenzung nach der ECE-Regelung

Will man in Europa für einen Scheinwerfer eine Zulassung erhalten, so muß der Scheinwerfer bestimmte ECE-Regelungen (Economic Commission for Europe) erfüllen. In diesen Regelungen sind beispielsweise maximale Blendbeleuchtungsstärken oberhalb der Hell-Dunkel-Grenze vorgeschrieben, siehe Abbildung 1.

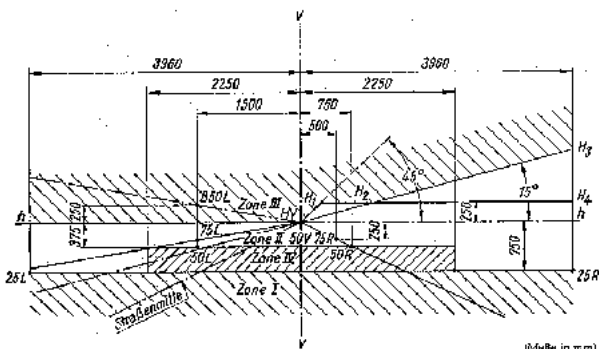


Abbildung 1: Meßschirm für einen europäischen Abblendscheinwerfer (Rechtsverkehr)

Dr.-Ing. Stephan Völker
Hella KG Hueck & Co.
Rixbecker Str. 75
D-59557 Lippstadt

Die Linie vom HV-Punkt durch den Punkt B50L zeigt die Linie, auf der sich das Auge eines entgegenkommenden Kraftfahrers bewegt.

Nach ECE wird eine Blendungsbegrenzung erreicht, durch

- a) die Hell-Dunkel-Grenze,
- b) die asymmetrische Lichtverteilung und
- c) maximale Blendbeleuchtungsstärken, die für den Punkt B50L und die Zone III festgelegt sind.

Wie man der Abbildung 1 entnehmen kann, bewegt sich das Auge oberhalb der HDG in Zone III. Für diese Zone gilt, daß die Beleuchtungsstärke in 25 m maximal 0,7 lx für H-Scheinwerfer (H4, H7 usw.) betragen darf. Das entspricht einer Lichtstärke von maximal 437,5 cd.

Da aus früheren Untersuchungen bekannt ist, dass die höchste Blendung bei Entfernungen um die 50 m auftritt, wurde für den Punkt B50L noch einmal eine deutlich niedrigere Blendbeleuchtungsstärke festgelegt, nämlich 0,4 lx in 25 m. Dies entspricht einer Lichtstärke von 250 cd.

Um Fußgänger auf dem Gehweg möglichst wenig zu blenden, ist für Gasentladungsscheinwerfer zusätzlich eine z-Lichtverteilung eingeführt wurden.

Diese Festlegungen wurden in den vergangenen Jahrzehnten von nationalen und internationalen Gremien immer wieder überarbeitet und verändert. Die Bestimmung der Lichtstärken über das Messen der Beleuchtungsstärken stellt bis heute die einzige allgemein anerkannte Meßvorschrift dar.

3. Problemdarstellung

Bekanntermaßen nimmt man Leuchtdichteunterschiede wahr und nicht die Beleuchtungsstärke bzw. die Lichtstärke (ausgenommen Lichtquellen, bei denen der Empfänger im Auge nicht voll ausgeleuchtet ist). Damit ist für das Blendempfinden auch die Leuchtdichte und nicht die Beleuchtungsstärke entscheidend. Zu Recht wird daher seit langem von einigen Lichttechnikern gefordert, Grenzwerte für die Leuchtdichte festzulegen und nicht für die Beleuchtungsstärke, um die Blendung wirksam zu begrenzen.

Warum dies nicht bereits geschehen ist, soll der vorliegende Beitrag zeigen. Zudem möchte er helfen, die Diskussion zu versachlichen und die Grenzen einer entsprechenden Leuchtdichtemessung aufzuzeigen.

4. Versuchsdurchführung

Es wurden 21 Scheinwerfersysteme aus dem aktuellen Produktprogramm verschiedener Hersteller in einem Lichtkanal zehn Versuchspersonen dargeboten. Tabelle 1 gibt die verwendeten Bauformen wieder.

	Halogenlampe	Gasentladungslampe
Reflexionssystem	11	2
Projektionssystem	2	6

Tabelle 1: Verwendete Bauformen

Die psychologische Blendung wurde über Fragebögen ermittelt. Die Versuchspersonen mußten ihr Urteil darüber abgeben, wie sie bei direktem Blick in die Scheinwerfer die Blendung aus 30 und 50 m Entfernung beurteilen. Es wurde die 9-stufige Skala nach de Boer verwendet:

Blendung: 9 ... unmerklich,
 7 ... merklich,
 5 ... erträglich,
 3 ... störend,
 1 ... unzumutbar.

5. Ergebnisse

Die Lichtstärke wurde für jeden Scheinwerfer über die Beleuchtungsstärke berechnet, welche am Auge des Beobachters mit einem LMT-Beleuchtungsstärke-meßgerät gemessen wurde. Zugleich wurden aus Beobachterposition entsprechende Leuchtdichtebilder aufgenommen. Mittels der Gleichung (1) wurde aus dem Leuchtdichtebild die Beleuchtungsstärke berechnet.

$$E = \int L \cdot d\Omega_p \quad (1)$$

Vergleicht man die berechnete und die gemessene Beleuchtungsstärke am Auge des Beobachters, so ergibt sich eine hohe Korrelation ($r^2 = 0,93$) zwischen diesen Werten, vgl. Abbildung 2.

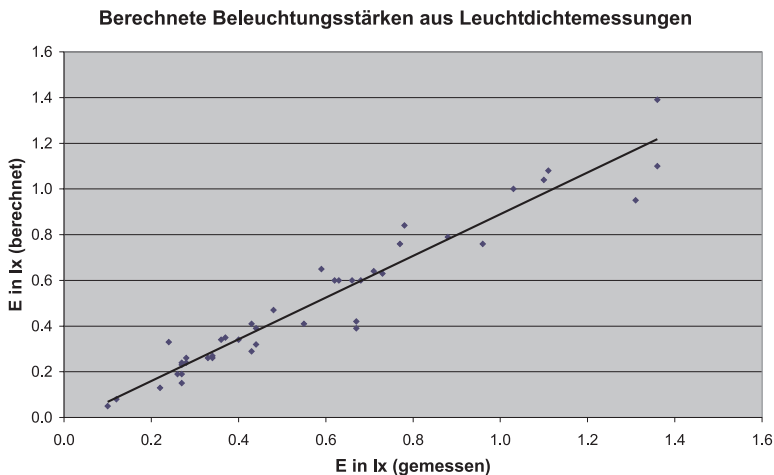


Abbildung 2: Vergleich von berechneter und gemessener Beleuchtungsstärke am Auge

Damit ist es möglich, ohne eine zusätzliche Beleuchtungsstärkemessung auf die Beleuchtungsstärke am Auge zu schließen. Zugleich ergibt sich eine einfache Kontrollmöglichkeit der Leuchtdichtemessung.

Die Größe der leuchtenden Fläche der Scheinwerfer wurde durch das Auszählen der Pixel bestimmt. Die so bestimmte Fläche hat nichts mit der geometrisch sichtbaren Fläche oder der Größe der Abschlussscheibe zu tun. Hier können erhebliche Differenzen auftreten.

Abbildung 3 zeigt das Leuchtdichtebild eines Scheinwerfers aus 7 m Entfernung (Leuchtdichte und Größe der leuchtenden Fläche wurden aus Beobachterentfernung bestimmt).

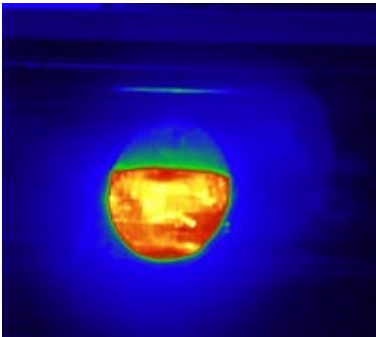


Abbildung 3: Leuchtdichtebild eines Scheinwerfers aus 7 m Entfernung

Für einen Vergleich von Lichtstärke und Leuchtdichte stellt sich nun die Frage, welche Leuchtdichte verwendet man. Da entsprechende Grundlagenuntersuchungen fehlen, wurde sowohl die maximale Leuchtdichte, als auch eine mittlere Leuchtdichte für die weitere Auswertung herangezogen.

Abbildung 4 zeigt die Abhängigkeit des Blendurteils von der maximalen Leuchtdichte. Es zeigt sich, daß kleine Scheinwerfer im unteren Viertel der maximalen Leuchtdichte liegen, während große Scheinwerfer deutlich höhere Leuchtdichten aufweisen.

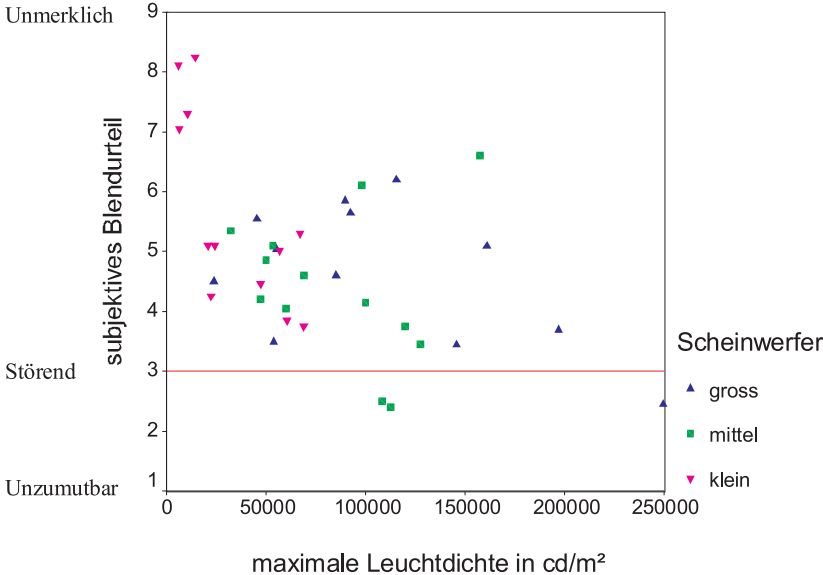


Abbildung 4: Subjektives Blendurteil als Funktion der maximalen Leuchtdichte

Ein Zusammenhang der maximalen Leuchtdichte mit dem Blendurteil kann jedoch aus den vorliegenden Daten nicht abgeleitet werden. Bei gleicher maximaler Leuchtdichte von beispielsweise 120.000 cd/m^2 findet man sowohl Geräte, deren Blendung als störend empfunden wird, aber auch Geräte, deren Blendung als gerade merklich empfunden wird.

Betrachtet man nicht die maximale Leuchtdichte, sondern die mittlere Leuchtdichte, so zeigen sich Tendenzen, die jedoch teilweise mit starken Streuungen verbunden sind. Bei gleicher mittlerer Leuchtdichte weisen kleine Scheinwerfer erwartungsgemäß eine höhere Blendung auf als große Scheinwerfer. Wie man allerdings an der starken Streuung der mittelgroßen Scheinwerfer sieht, gibt es neben der Leuchtdichte weitere Parameter, die die subjektive Blendung beeinflussen. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig.

Die geringsten Streuungen weist Abbildung 6 aus. Hier ist das subjektive Blendurteil über die Lichtstärke dargestellt. Die Größe der Scheinwerfer spielt keine Rolle. Unter 1000 cd trat keine störende Blendung auf. Beachtet werden muß jedoch, daß es sich hierbei um statische Versuche handelt. Dynamische Versuche sollen folgen.

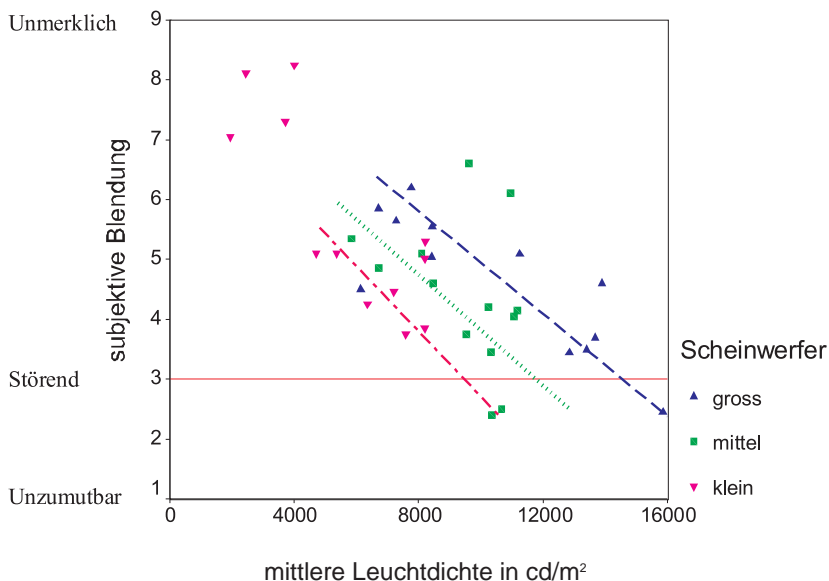


Abbildung 5: Subjektive Blendung als Funktion der mittleren Leuchtdichte

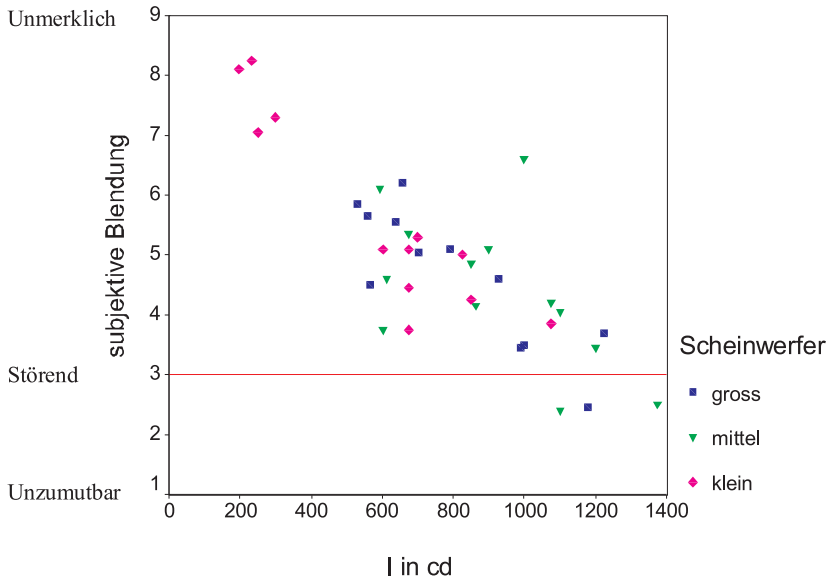


Abbildung 6: Subjektive Blendung als Funktion der Lichtstärke

6. Zusammenfassung

Aus den vorliegenden Untersuchungen kann man entnehmen, daß die alleinige Forderung von Grenzwerten für Leuchtdichten für Scheinwerfer nicht begründbar ist, wie die Festlegung von Grenzwerten für die Lichtstärke. Da die Lichtstärke einen sicheren Zusammenhang zwischen Blendurteil und einer lichttechnischen Größe liefert, ist die heute übliche Blendungsbegrenzung auf diesem Wege sinnvoll und zulässig.

Dennoch sollten weitere Anstrengungen im Sinne einer erhöhten Verkehrssicherheit unternommen werden, um differenzierter bestimmte Grenzen für einzelne Systeme festlegen zu können. Hierfür bietet sich die bildaufgelöste Leuchtdichtetechnik an. Gezielte Untersuchungen müssen die heute noch fehlenden Einflußparameter klären.

Blickerfassung von Kraftfahrern im dynamischen Straßenverkehr

Carsten Diem

1. Einleitung

Der Autofahrer nimmt ca. 90 % seiner zum Führen eines Fahrzeuges notwendigen Information mit Hilfe seiner Augen wahr. Bis heute ist es aber noch nicht geklärt, an welchen Objekten sich der Autofahrer im Verkehrsraum orientiert bzw. welche Objekte und deren Positionen unbedingt erforderlich und welche optimal wären, um ein Kraftfahrzeug sicher zu führen. Wenn diese Objekte und deren Lage bekannt wären, ergäben sich daraus eine ganze Reihe Möglichkeiten, den Straßenverkehr sicherer zu machen.

In der Literatur sind einige Untersuchungen zu den Blick- bzw. Fixationsverhalten von Kraftfahrern am Tage veröffentlicht, aber nur sehr wenige zum Orientierungsverhalten bei Nacht.

Um die Fragen zum Orientierungsverhalten besser beantworten zu können, ist eine Grundlagenuntersuchung zum Blickverhalten von Kraftfahrern gestartet worden, deren erste Ergebnisse hier vorgestellt werden.

2. Testbedingungen

Das Blickverhalten eines Kraftfahrers ist sehr vielen verschiedenen Einflußparametern unterworfen. Mögliche Einflußparameter sind die Verkehrsdichte, Fahrgeschwindigkeit, Umgebung, Witterung etc. Um Messungen der Augenbewegungen und der Fixationsverteilungen unter möglichst konstanten Bedingungen durchführen zu können, sind die ersten Untersuchungen auf einer Standard-Teststrecke gestartet worden. Diese Standardstrecke ist ein Rundkurs von 8 km Länge mit definierten Kurvenradien. Neben den geometrischen Anforderungen an die Strecke, durfte weder vorausfahrender, hinterherfahrender, noch entgegenkommender Verkehr auf der Teststrecke vorhanden sein, um sicher zu stellen, daß das Blickverhalten der Testpersonen durch zusätzliche Verkehrsteilnehmer abgelenkt wird. Die Untersuchungen sind bei relativ konstanten guten Wetterbedingungen durchgeführt worden.

Die zehn Testpersonen hatten eine Fahrerfahrung von mehr als 50.000 km und eine normale bzw. korrigierte Sehleistung. Das Blickverhalten der Testpersonen ist im ersten Versuchsabschnitt mit drei Variationen aufgezeichnet worden:

Tagfahrt: ohne Scheinwerfer

Nachtfahrt: mit Standard-Halogen-Scheinwerfern

mit Standard-Gasentladungs-Scheinwerfern (Xenon)

Dipl.-Ing. Carsten Diem
Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Lichttechnik
Hochschulstraße 4a
D-64289 Darmstadt

Als Blickerfassungssystem ist das Eye-Tracking-System (ETS) der Firma Dornier eingesetzt worden. Dieses System arbeitet auf dem relativen Infrarot-Cornea-Reflex. Es besteht aus zwei Infrarot-Scheinwerfern (Armaturenbrett rechts und links vom Lenkrad) mit unterschiedlichen Formen. Ein Kameramodul beobachtet das rechte Auge der Versuchsperson über ein Spiegelsystem. Durch Bildverarbeitungsprozesse werden die Spiegel so verstellt, daß sich die Pupille des rechten Auges immer in der Bildmitte befindet. Die Blickrichtung wird von der relativen Position der Pupille und der beiden IR-Reflexe auf der Cornea berechnet. Zusätzlich zur Augenkamera ist eine sogenannte Szenenkamera in der Nähe des Kopfes des Fahrers positioniert (Höhe $h = 1,17\text{ m}$).

Die berechnete Blickrichtung wird dem Bild der Szenenkamera überlagert und als weißes Fadenkreuz dargestellt und als x-y-Koordinaten relativ zu den Kalibrierpunkten aufgezeichnet.

3. Blickverteilung

Die mit dem Eye-Tracking-System auf der Teststrecke aufgezeichneten Blickverteilungen sind in Kombination mit den Fahrzeugdaten für spezielle Streckenabschnitte analysiert worden.

In diesem Bericht werden die Ergebnisse der Blickverteilungen beim Fahren auf gerader Strecke, in einer Links- und einer Rechtskurve mit einem konstanten Radius von $r = 110\text{ m}$ diskutiert.

Die Darstellung der Fixationen beim Fahren durch einen Straßenabschnitt ist exemplarisch in Abbildung 1 dargestellt. Im Teil a) sind die Fixationen über die Wegstrecke dargestellt (Vogelperspektive). Im Teil b) sind diese Fixationen aufintegriert worden und als eine Fixationsfläche aus der Sicht des Fahrers dargestellt (perspektivische Darstellung). Bei dieser Integration über die Zeit werden die Orte der häufigsten Fixationen festgestellt.

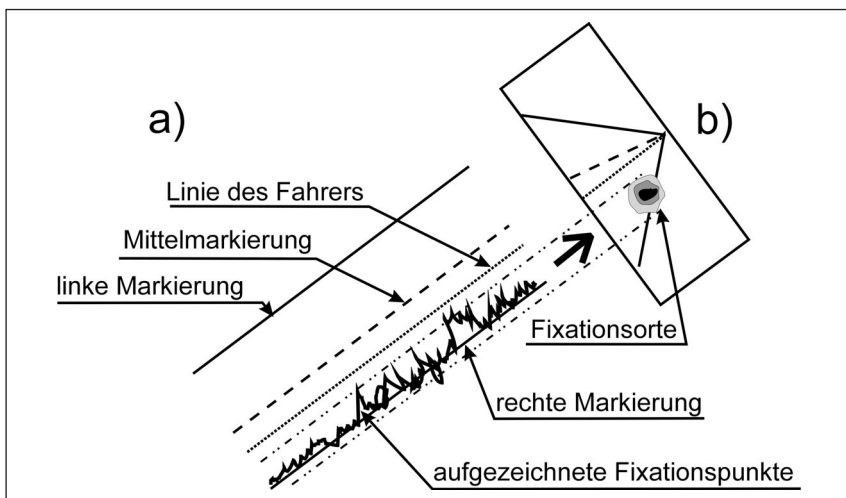


Abb. 1: Beispiel für die Blickverteilung bei Fahrten auf einer geraden Straße
a): Vogelperspektive – b): Perspektive aus Sicht des Fahrers

Die x-y-Koordinaten des ETSSystems werden in Blickwinkel-Koordinaten (α , β) umgerechnet. Der Ursprung des Koordinatensystems wird dabei in den Mittelpunkt des Kopfes des Fahrers gelegt. Diese umgerechneten Daten sind beispielhaft in Abbildung 2 dargestellt. In dieser und in den folgenden Abbildungen sind die einzelnen Meßwerte auf den Punkt mit der größten Häufigkeit normiert worden, um die Ergebnisse vergleichen zu können (weiß kein Fixationsort [$H = 0\%$], schwarz häufigster Fixationsort [$H = 100\%$]). Zusätzlich sind die Bereiche, in denen 90 % bzw. 50 % der Fixationen enthalten sind, in den Bildern gekennzeichnet. Um einen Eindruck über die Straßengeometrie zu bekommen, ist der Verlauf der Fahrbahnmarkierungen und Linien in verschiedener Entfernung vor dem Fahrzeug eingezeichnet. Der Punkt mit der maximalen Häufigkeit ist mit gestrichelten Linien markiert.

Um die Streuung der einzelnen Blicke bzw. Meßwerte um den Punkt maximaler Häufigkeit (PmH) herum bewerten zu können, ist ein Flächenfaktor A_{f50} definiert. Dieser Faktor beschreibt das Verhältnis zwischen dem kompletten Gesichtsfeld des Fahrers ($\alpha = \pm 20^\circ$; $-6^\circ < \beta < +1^\circ$) und der Fläche, die 50 % der Fixationen umschreibt (siehe Abbildung 2: 50 % Fläche). In jedem Bild sind jeweils für eine Person, die mehrmals die gleichen Streckenabschnitt durchfahren hat, mehr als 3000 einzelne Meßwerte dargestellt.

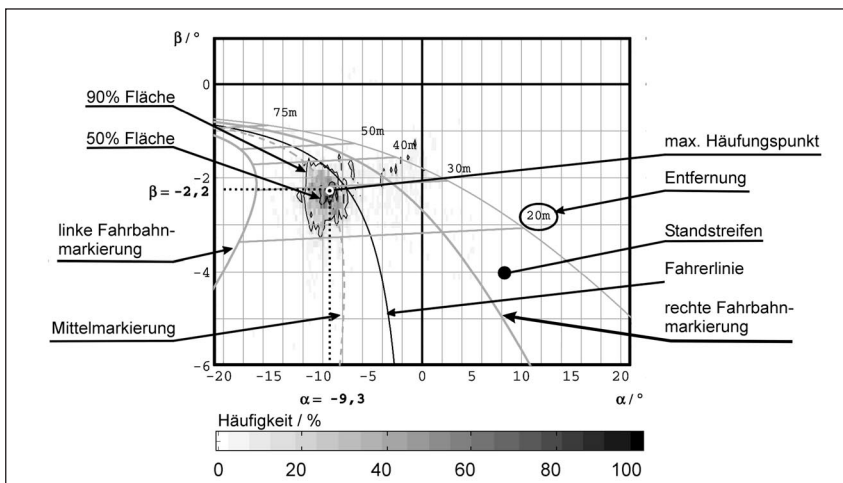


Abb. 2: Beispiel der Darstellung der aufintegrierten Fixationsorte eines Fahrers für die Durchfahrt einer Kurve

3.1 Testfahrten am Tage

Diese Untersuchungen sind auf einer geraden zweistreifigen Straße mit einem Standstreifen am Tage ohne zusätzlichen Verkehr, ohne Gegenverkehr und bei konstanten Bedingungen durchgeführt worden. Der Punkt maximaler Häufigkeit der Fixations (PmH) liegt in einer großen Entfernung (90-100 m) vor dem Fahrzeug. Die kleine Streuung um den PmH kann der Abbildung 3 entnommen werden.

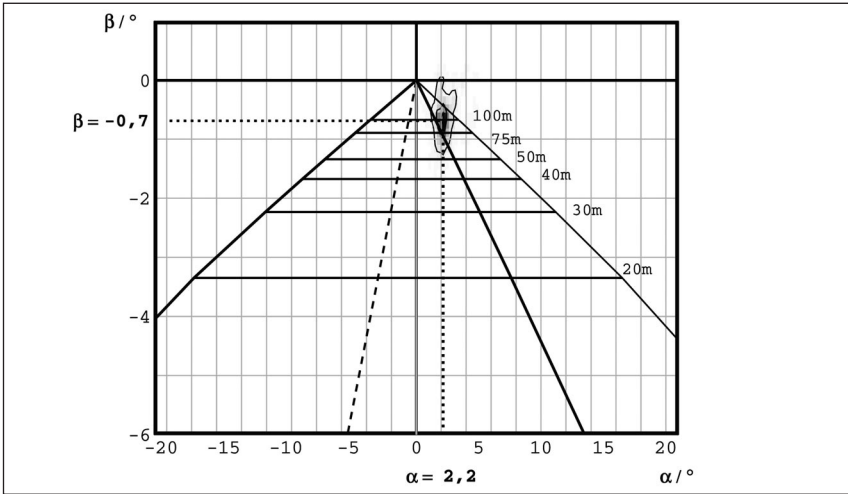


Abb. 3: Fixationsort bei Fahrt auf einer geraden Straße bei Tag:
 Fixationsrichtung: $\alpha = 2,2^\circ$ $\beta = -0,7^\circ$
 EPMH: $d = 95,8 \text{ m}$
 Flächenfaktor: $A_{f50} = 0,10$

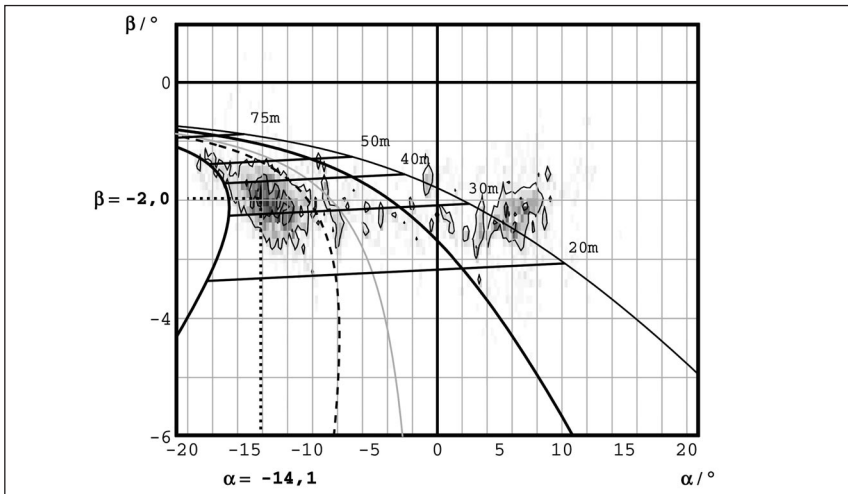


Abb. 4: Fixationsorte beim Durchfahren einer Linkskurve bei Tage
 Kurvenradius: $r = 110 \text{ m}$
 Fixationsrichtung: $\alpha = -14,1^\circ$ $\beta = -2,0^\circ$
 EPMH: $d = 34,6 \text{ m}$
 Flächenfaktor: $A_{f50} = 0,81$

EPMH: Entfernung des Punktes maximalere Häufigkeit vor dem Fahrzeug

Das Blickverhalten verändert sich beim Einfahrt in eine Kurve drastisch. Der Fahrer beginnt seine Information am Rand der Fahrbahnen zu suchen. In Kurven versucht der Fahrer die Informationen über den zukünftigen Straßenverlauf sowohl von der Innenseite der Kurve als auch von den äußeren Rändern der Fahrbahn zu erhalten. Die Entfernung des PmH reduziert sich in Linkskurven auf $d = 34,6$ m (Abbildung 4) und in Rechtskurven auf $d = 38,2$ m (Abbildung 5). Die Abbildungen 5 und 6 zeigen zusätzlich das Scann-Verhalten der Augen als Voraussetzung für eine optimale Durchfahung der Kurve. Für die Linkskurven ist der PmH auf der Mitte der Gegenfahrspur; für die Rechtskurve am rechten Straßenrand.

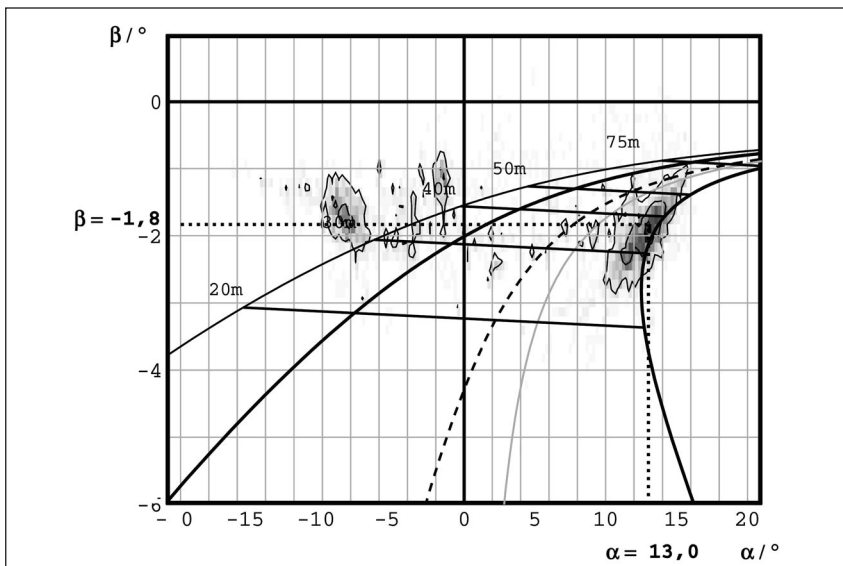


Abb. 5: Fixationsorte beim Durchfahren einer Rechtskurve bei Tage

Kurvenradius: $r = 110$ m
 Fixationsrichtung: $\alpha = 13,0^\circ$ $\beta = -1,8^\circ$
 EPmH: $d = 38,2$ m
 Flächenfaktor: $A_{f50} = 0,71$

3.2 Testfahrten bei Nacht mit Standard-Abblendlicht

3.2.1 Halogen-Scheinwerfer

Das Blickverhalten verändert sich deutlich durch die Reduzierung des Informationsgehaltes bei Nacht. Die Entfernung des PmH reduziert sich auf geraden Straßen um ca. 50 % auf eine Entfernung von ca. $d = 47,9$ m. Dieser Ort des Häufungspunkt liegt, wie erwartet, in einer Entfernung kurz unterhalb der Hell-Dunkel-Grenze des Scheinwerfers auf der Straße.

Beim Durchfahren von Kurven mit ECE-konformen Scheinwerfern (Standard-Abblendlicht) können zwei Effekte beobachtet werden. Die Reduzierung der Beleuchtungsstärke auf der Straßenoberfläche führt zu einer deutlichen Reduzierung der Blickweite des Fahrers (Reduzierung des Abstandes PmH-Auto). Der

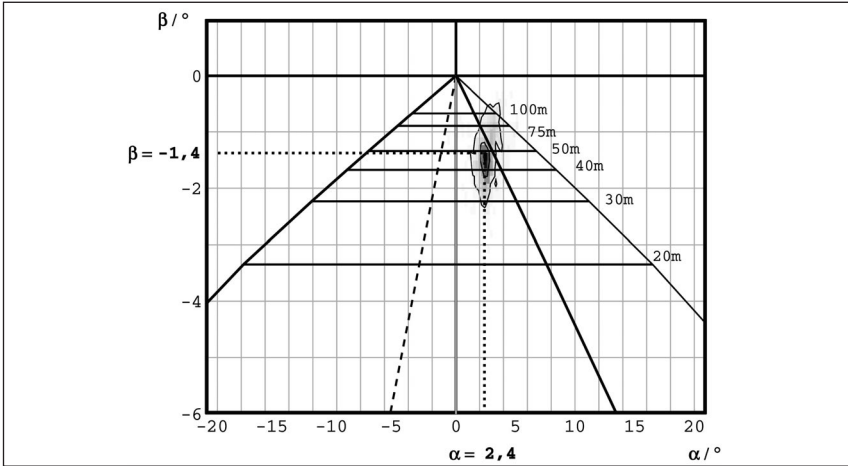


Abb. 6: Fixationsorte beim Fahren auf einer geraden Straße bei Nacht
 Scheinwerfersystem: Standard-Halogen-Abblendlicht
 Fixationsrichtung: $\alpha = 2,4^\circ$ $\beta = -1,4^\circ$
 EPMH: $d = 47,9$ m
 Flächenfaktor: $A_{f50} = 0,14$

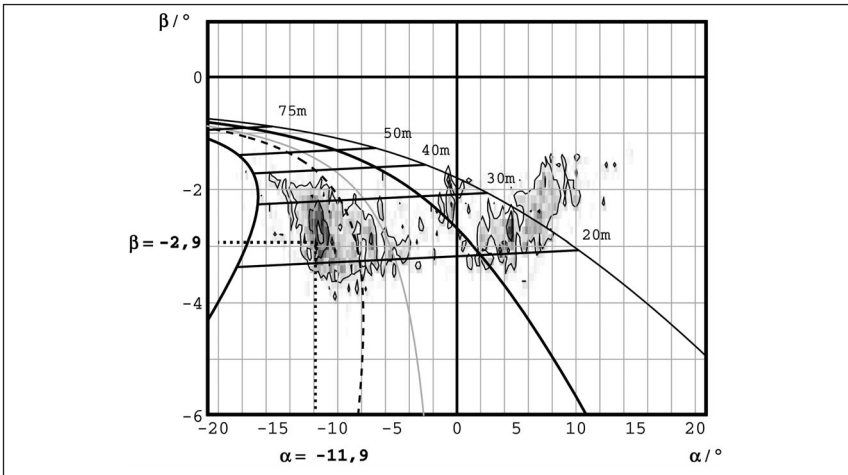


Abb. 7: Fixationsorte beim Durchfahren einer Linkskurve bei Nacht. Die Reduzierung des Informationsgehaltes führt zu einer deutlichen Vergrößerung der Fixationsflächen (zwei PmHs links und rechts) in einer kürzeren Entfernung.
 Scheinwerfersystem: Standard-Halogen-Abblendlicht
 Kurvenradius: $r = 110$ m
 Fixationsrichtung: $\alpha = -11,9^\circ$ $\beta = -2,9^\circ$
 EPMH: $d = 23,6$ m
 Flächenfaktor: $A_{f50} = 0,88$

zweite Effekt ist die Vergrößerung der Streuung um den Häufungspunkt herum. Der Fahrer sammelt mehr Informationen auch von dem Straßenrand (siehe Abbildung 7).

Die Blickverteilung beim Fahren mit Halogen-Scheinwerfern ist in Rechts- und Linkskurven ähnlich. Durch die Reduzierung des sichtbaren Umfeldes sucht der Fahrer seine zum Fahren notwendigen Informationen in einer wesentlich kürzeren Entfernung vor dem Fahrzeug. Die Verteilung der Fixationen steigt von einem Flächenfaktor $A_{f50} = 0,14$ zu einem Flächenfaktor von $A_{f50} = 0,88$ an. Es entstehen zwei Häufungspunkte. Einer am rechten Rand der Fahrbahn und der zweite an der linken Fahrbahnmarkierung. Beide Häufungspunkte liegen in einer Entfernung von ca. $d = 25,4$ m vor dem Fahrzeug. Die Bilder zeigen, daß der Fahrer zum Spurhalten beim Durchfahren der Kurve mit einem Halogen-Scheinwerfersystem zwei Fixationsschwerpunkte benötigt, denn der Fahrer muß sowohl den rechten als auch den linken Straßenrand beobachten. Diese zweiseitige Beobachtung bedeutet eine wesentliche höhere Anzahl von Augenbewegungen, die gleichzeitig eine frühzeitigere Ermüdung der Augenmuskulatur nach sich ziehen können.

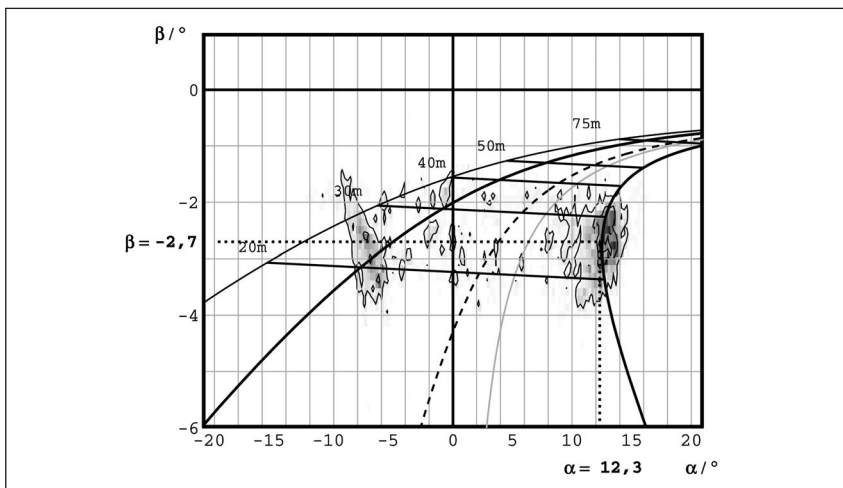


Abb. 8: Beim Durchfahren einer Rechtskurve bei Nacht mit Standard-Halogen-Abblendlicht sind zwei PmH deutlich zu erkennen.

Scheinwerfersystem: Standard-Halogen-Abblendlicht

Kurvenradius: $r = 110$ m

Fixationsrichtung: $\alpha = -12,3^\circ$ $\beta = -2,7^\circ$

EPmH: $d = 25,4$ m

Flächenfaktor: $A_{f50} = 0,64$

3.2.2 Gasentladungs-Scheinwerfer

Es ist allgemein bekannt, daß zum einen der Lichtstrom von Gasentladungs-Scheinwerfer (GDL) ca. dreimal größer ist, und zum anderen auch die Lichtverteilungsunterschiede im Vergleich zu Halogen-Scheinwerfern aufweist. Das Vor-

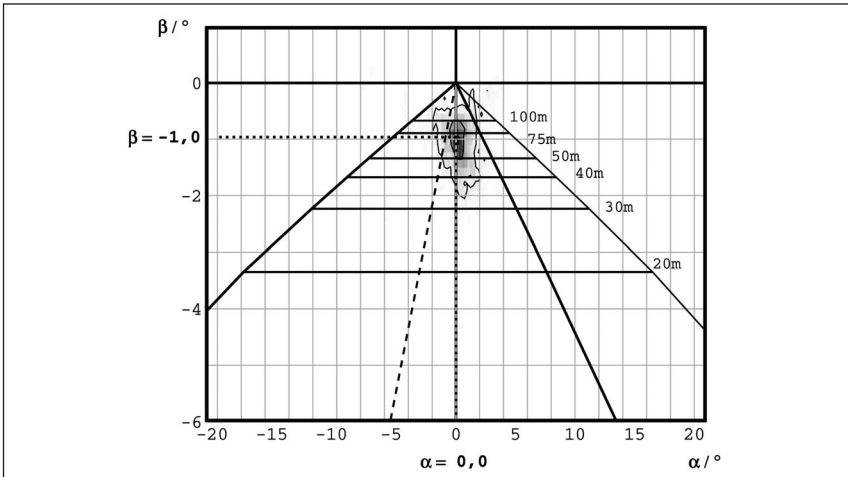


Abb. 9: Fixationsort beim Befahren einer geraden Straße bei Nacht mit GDL-Scheinwerfern

Scheinwerfersystem: Standard-Gasentladungs-Scheinwerfer
 Fixationsrichtung: $\alpha = 0,0^\circ$ $\beta = -1,0^\circ$
 EPMH: $d = 67$ m
 Flächenfaktor: $A_{f50} = 0,22$

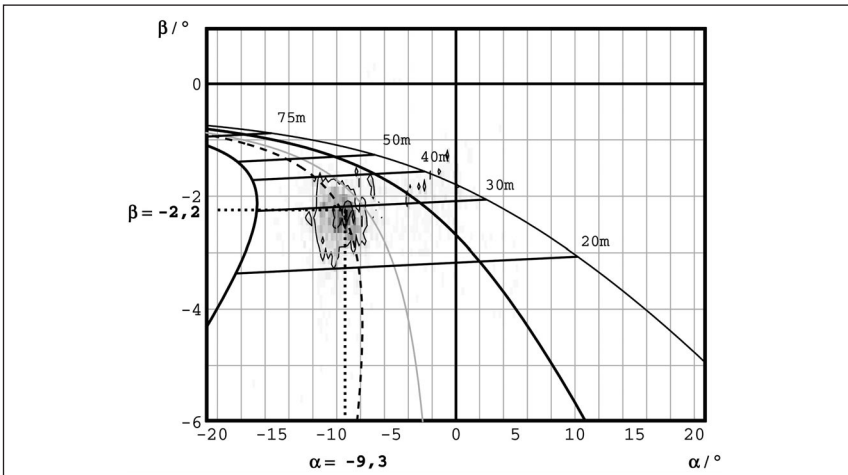


Abb. 10: Darstellung der Fixationsfläche beim Durchfahren einer Linkskurve bei Nacht mit Standard-Gasentladungs-Abblendlicht

Scheinwerfersystem: Standard-Gasentladungs-Scheinwerfer
 Kurvenradius: $r = 110$ m
 Fixationsrichtung: $\alpha = -9,3^\circ$ $\beta = -2,2^\circ$
 EPMH: $d = 30,9$ m
 Flächenfaktor: $A_{f50} = 0,34$

feld vor dem Fahrzeug ist in der Regel heller und die Lichtverteilung erheblich breiter. Das hellere Vorfeld verändert das Adaptationsniveau des Fahrers und auch die Kontraste auf der Straße bzw. am Fahrbahnrand. Beides hat Einfluß auf das Blickverhalten des Fahrers. Beim Fahren auf gerader Straße bei Nacht mit GDL-Scheinwerfern ist der Häufungspunkt in einer größeren Entfernung vor dem Fahrzeug und wandert in die Fahrstreifenmitte (siehe Abbildung 9).

Die Vergrößerung der Entfernung des maximalen Häufungspunktes der Fixationen bei GDL-Scheinwerfern ist auch beim Durchfahren von Kurven nachweisbar. So wandert der Häufungspunkt in Linkskurven in den Bereich der Mittellinienmarkierung (siehe Abbildung 10) und für Rechtskurven in den Bereich der rechten Fahrbahnrandmarkierung (siehe Abbildung 11). Im Vergleich zu Halogen-Scheinwerfer ist zu beobachten, daß hier je Kurve nur ein Häufungspunkt vorkommt.

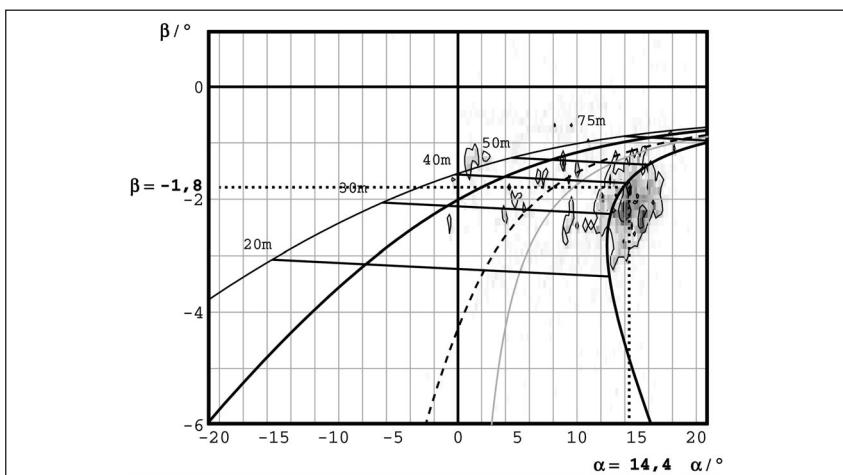


Abb. 11: Darstellung der Fixationsfläche beim Durchfahren einer Rechtskurve bei Nacht mit Standard-Halogen-Abblendlicht

Scheinwerfersystem: Standard-Gasentladungs-Scheinwerfer
 Kurvenradius: $r = 110 \text{ m}$
 Fixationsrichtung: $\alpha = 14,4^\circ$ $\beta = -1,8^\circ$
 EPMH: $d = 38,5 \text{ m}$
 Flächenfaktor: $A_{f50} = 0,55$

Literatur

- [1] Albrecht, R.; e. a.
Sicht aus Kraftfahrzeugen – Literaturstudie – Einfluß eingefärbter Scheiben bei Dunkelheit, Forschungsprojekt 7717; BAST, Bergisch Gladbach 1979
- [2] Bengler, K.; Bernasch, J. H.; Löwenau, J. P.
Comparison of Eye Movement Behaviour during Negotiation of Curves on Test Track and in BMW Driving Simulator
Annual Meeting of the Europe Chapter of the Human Factors and Ergonomics Society, Groningen, The Netherlands 7.–8. Nov. 1996

- [3] Biehl, B.
Probleme bei der apparativen Messung der Blickbewegungen in konkreten Verkehrssituationen
Universität Mannheim, Mannheim 1980
- [4] Cohen, A. S.; Studach, H.
Eye Movements while driving Cars around Curves
Perceptual and Motor Skills. No. 44, pp 683-689, 1977
- [5] Cohen, A. S.
Augenbewegungen des Autofahrers beim Vorbeifahren an unvorhersehbaren Hindernissen und auf freier Strecke
Zeitschrift für Verkehrssicherheit 22, No. 12, pp 68–76, 1976
- [6] Diem, C.; Schmidt-Clausen, H.-J.; Löwenau, J.; Bernasch, J.
Analysis of Eye-Movement Behavior Using Moveable Headlamps
Proceedings of Conference Progress in Automobile Lighting - PAL 99, Volume 5; pp 185–207; Utz-Verlag; München; 1999
- [7] Land, M.F.; Lee, D.N.
Where do we Look when we Steer
Nature, 369, pp. 742-744, 1994
- [8] Schmidt-Clausen, H.-J.; Rosenhahn, E.-O.; Dietz, S.
Criteria for the Visibility of Road Markings
Darmstadt University of Technology, Darmstadt 1998
- [9] Zwahlen, H.T.
Driver Eye Scanning Behaviour on Straight Roads and on Curves at Night
In Fourth European Congress on Eye Movements, pp. 169–171, Göttingen 1987
- [10] Zwahlen, H. T.
Eye Scanning Rules for Drivers – How Do They Compare with Actual Observed Eye Scanning Behavior
Transportation Research Records 1403, Athens, Ohio, USA 1992

Ambiente Innenraumbeleuchtung von Kraftfahrzeugen

Peter Löbig

In fast allen heute auf dem Markt erhältlichen Serienfahrzeugen ist eine Permanentbeleuchtung des Fahrzeuginnenraums bei Nachtfahrten nicht vorgesehen. Dadurch ergibt sich zwangsläufig ein von Grund auf unterschiedliches Erscheinungsbild des Fahrzeuginnenraumes während Fahrten bei Tage bzw. bei Dunkelheit. Die auftretenden Defizite reichen von fehlendem Raumgefühl über eingeschränkte Orientierungsfähigkeit im Innenraum bis hin zur unsicheren Bedienung von Funktionselementen aufgrund fehlender Erkennbarkeit der Wirkungsweise. Oft ist es nicht möglich, den hinterleuchteten Symbolen von Bedienelementen eine eindeutige Funktion zuzuordnen. Zur Optimierung dieser Situation ist eine Tag-/Nachtähnlichkeit des Erscheinungsbildes im Wageninneren anzustreben.

Licht tritt als aktives Gestaltungselement zum gezielten Hervorheben einzelner Bereiche im Kraftfahrzeug bisher nur in sehr geringem Maße auf. Da das Fahrzeugdesign sowohl im Innenraum als auch in der Karosseriegestaltung immer stärkere Bedeutung gewinnt, kann durch eine hochwertige Fahrzeugbeleuchtung dieser Designaspekt gezielt unterstützt werden.

Die im Fahrzeug vorkommenden Beleuchtungsaufgaben lassen sich in vier Gruppen aufteilen. Die Anforderungen an die jeweils einzusetzenden Leuchten sind dabei sehr unterschiedlich. Folgende Einteilung wurde vorgenommen:

1. Ein- und Ausstiegsbeleuchtung
2. Beleuchtung zur Orientierung im Fahrzeug und zum Bedienen von Schaltern während der Fahrt
3. Ambiente Grundbeleuchtung
4. Arbeitsplatzbeleuchtung im Fond

Anhand der vorgenommenen Einteilung der Beleuchtungsaufgaben können die jeweils zu erfüllenden Kriterien festgelegt werden. Idealerweise können verschiedene Aufgaben mit den gleichen Leuchten erfüllt werden. Dies ist wirtschaftlich sinnvoll und reduziert die Anzahl der benötigten Bauteile. Eine Grundvoraussetzung für alle Teilaufgaben ist die geforderte Blendarmut für alle Fahrzeuginsassen, insbesondere für den Fahrer. Sowohl physiologische als auch psychologische Blendungserscheinungen sind durch die Gestaltung und Anordnung der Leuchten zu vermeiden.

1. Ein- und Ausstiegsbeleuchtung

Die Fahrzeugbenutzung beginnt nicht erst mit dem Öffnen des Wagens oder dem Drehen des Zündschlüssels, sondern bereits mit der Annäherung an das Fahr-

zeug. Dabei soll den Passagieren eine Beleuchtung der unmittelbaren Umgebung des Wagens die Möglichkeit geben, Hindernisse, wie z. B. Pfützen, rechtzeitig zu erkennen. Für den Einstiegsvorgang sollen den Passagieren die Türgriffe sowohl in ihrer Position als auch in der Art der Betätigung kenntlich gemacht werden.

Zum Einsteigen sind die größten Hindernisse Schweller, Sitz, Lenkrad und Pedale zu beleuchten. Hat der Fahrer seine Sitzposition eingenommen, sind häufig Einstellmaßnahmen an Sitz und Spiegeln durchzuführen. Diese Schalter sollen während der Einstellphase besonders gekennzeichnet bzw. beleuchtet sein.

2. Orientierungsbeleuchtung

Zu den Aufgaben, die mit der Orientierungsbeleuchtung abgedeckt werden sollen, zählen unter anderem:

- das Orientieren im Fahrzeug unmittelbar nach dem Einsteigen
- die Möglichkeit zur Suche nach heruntergefallenen Gegenständen
- das Erkennen der verschiedenen Bedienelemente auf dem Armaturenbrett

Zur Unterscheidung der verschiedenen Schalter ist ein Mindestkontrast zwischen dem eigentlichen Objekt (Schalter) und der Umgebung nötig. In vorangegangenen Arbeiten am Fachgebiet Lichttechnik erwies sich die Darstellung von Konturen zur Steigerung der Erkennbarkeit von Objekten als sehr hilfreich [2]. Bisher sind den Schaltern durch hinterleuchtete Pictogramme die verschiedenen Funktionen zugeordnet. Diese Zuordnung ist aber nicht immer eindeutig bzw. selbsterklärend. Bedingt durch ihre geringe Größe und die hohe Anzahl auf der gesamten Armaturentafel ist die Übersichtlichkeit für den Fahrer gering. Noch schlechter stellt sich die Situation in fremden Fahrzeugen (z. B. Mietwagen) aufgrund der ungewohnten Situation dar. Gefährlich wird die Suche nach Schaltern während der Fahrt. Muß der Blick des Fahrers für mehrere Sekunden vom Verkehrsgeschehen abgewendet werden, steigt das Unfallrisiko erheblich. Die Erhöhung der Erkennbarkeit des Schalters als Betätigungselement einer Funktion, z. B. der Heckscheibenheizung, und die Unterscheidung zwischen verschiedenen zu bedienenden Schaltern, z. B. Drucktaster und Wippschalter, dienen auch der Steigerung der aktiven Fahrsicherheit.

3. Ambiente Grundbeleuchtung

Das Hauptanliegen der Untersuchungen war die Erzeugung einer ambienten Atmosphäre im Fahrzeuginnenraum unter physiologisch sinnvollen Bedingungen für den Fahrer. Die ambiente Beleuchtung soll den Insassen einen Eindruck von den Dimensionen des Fahrzeuges auch bei Dunkelheit vermitteln und außerdem die Orientierung im Fahrzeug verbessern. Im Idealfall läßt sich eine ausgeprägte Tag- / Nachtähnlichkeit im Wageninneren erzeugen. Dabei sollen in erster Linie relevante Informationen dargestellt werden. Als Beispiel sind hier die Türöffner zu nennen, die unbeleuchtet nur nach langwieriger, tastender Suche zu finden sind. Durch Beleuchtung der Türverkleidungen kann das nächtliche Erscheinungsbild dem Tageseindruck angenähert werden und das Auffinden der in den Türverkleidungen plazierten Türöffner wird wesentlich einfacher. Auch die Darstellung der verwendeten hochwertigen Materialien (Holz, Velours, Chrom usw.) stellt für den Fahrer eine Tag-/Nachtähnlichkeit her.

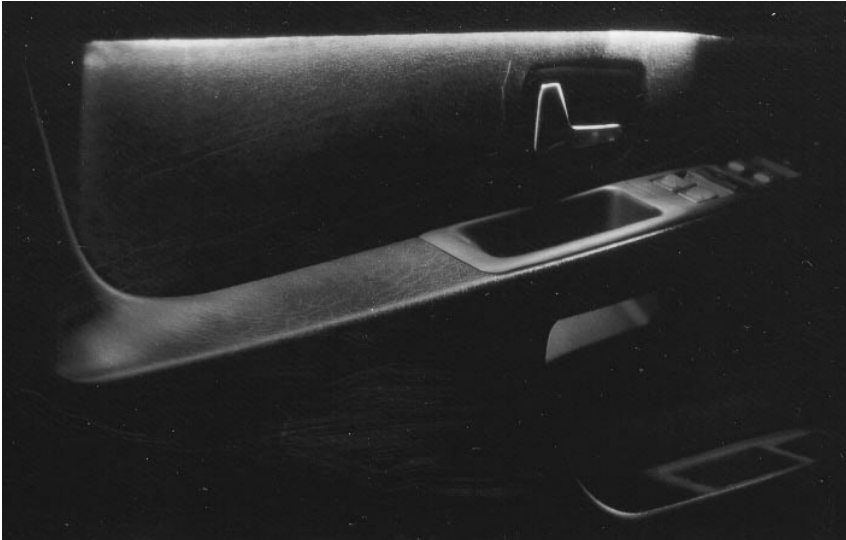


Abbildung 1: Beleuchtete Türverkleidung

Um heruntergefallene Gegenstände leichter auffinden zu können, sollen die Fußräume in geeigneter Weise beleuchtet werden. Dabei ist darauf zu achten, die Anleuchtung unter einem möglichst flachen Winkel zu realisieren. Bei steiler Anleuchtung erscheinen helle Kleidungsstücke oder Schuhe sehr störend („weiße Socken Effekt“).

4. Arbeitsplatzbeleuchtung im Fond

Fahrzeuge aus dem Oberklassensegment werden häufig als mobile Büros genutzt. Dabei ist das Arbeiten an tragbaren PCs oder Lesetätigkeiten über mehrere Stunden keine Seltenheit. Um ein ermüdungsfreies Arbeiten auch über längere Zeiträume zu ermöglichen, ist eine ergonomische Arbeitsplatzbeleuchtung zu gestalten. Bisher sind mit den durch Glühlampe und Streuscheibe realisierten Leseleuchten Beleuchtungsstärken von $E = 60 \dots 80 \text{ lx}$ in der Arbeitsebene erreichbar (Audi A8, BMW 7-er Reihe). In den Richtlinien zur Arbeitsplatzgestaltung ist für Büroräume ein minimaler Wert von $E = 500 \text{ lx}$ angegeben [3]. Im Kraftfahrzeug ist die Situation eine andere als im Büro, eine Übertragung dieses Wertes ist daher sicher nicht uneingeschränkt möglich. Die Beeinträchtigung des Fahrers durch reflektiertes Streulicht ist auf einem vertretbaren Niveau zu halten. Die Formgestaltung der beleuchteten Arbeitsfläche ist entscheidend für den Aufbau der Leseleuchte. Soll eine scharf begrenzte Fläche beleuchtet werden, ist der Einsatz eines abbildenden Systems sinnvoll. Die Anordnung der Leseleuchte hat entscheidenden Einfluß auf die von ihr ausgehende Blendwirkung. Die Möglichkeit des direkten Blicks in die Lichtquelle muß ausgeschlossen werden. Eine denkbare Lösung ist z. B. der zurückversetzte Einbau der Leuchte in einem Verkleidungsteil, z. B. in der C-Säule. Die Arbeitsebene muß trotz dieser Ein-

schränkungen beim Einbau vollständig beleuchtet werden. Nach Möglichkeit sollte eine solche Leseleuchte keine harten Schlagschatten erzeugen. Denkbar wären die Verwendung von mehr als einer Leuchte pro Arbeitsplatz oder der Einsatz einer großflächigen Leuchte.

5. Laboruntersuchungen

Zur Ermittlung zulässiger Leuchtdichtewerte im Bereich der Armaturentafel und zur Bestimmung nötiger Mindestkontraste für Bedienelemente diente eine Nachbildung des Cockpits im Labor. In den durchgeführten Versuchen sollten die Auswirkungen verschiedener Kombinationen von Straßenleuchtdichte L_S und Konsolenleuchtdichte L_K auf die Readaptationszeit t_{RE} des Fahrers überprüft werden. Die Readaptationszeit dient dabei als Maß des Störeinflusses der Innenraumbeleuchtung auf das Adaptationsniveau des Fahrers. Zur Erzeugung eines möglichst realitätsgetreuen Eindrucks der Fahrsituation wurde eine beleuchtete Fahrbahn mittels eines Diaprojektors auf eine schwarze Wand vor dem Fahrer projiziert. Ein zweiter Projektor erzeugte auf der Mittelkonsole des Armaturenbretts variable Leuchtdichten. Ein dritter Projektor diente zur Erzeugung des Sichtziels, welches einem in 50 m Entfernung aufgestellten $20 \times 20 \text{ cm}^2$ großen Quadrat am rechten Fahrbahnrand entspricht. In den durchgeführten Untersuchungen war die Instrumentenbeleuchtung jeweils eingeschaltet und auf das höchste Niveau eingestellt. Die Testpersonen hatten in den durchgeführten Versuchen die Aufgabe, ein dargebotenes Sichtziel zu erkennen. Das Sichtziel wurde von den Testpersonen vor Versuchsbeginn auf die jeweilige Schwellenleuchtdichte eingestellt. Aufgrund der individuellen Sehfähigkeiten kommt es dabei zu starken Schwankungen. Die Schwellenleuchtdichte ist dabei diejenige Leuchtdichte, die bei der Erhöhung der Leuchtdichte des Sichtziels von der Testperson gerade wahrgenommen wird.

In den Versuchsreihen wurden den Testpersonen in willkürlicher, aber immer gleicher Reihenfolge unterschiedliche Leuchtdichtewerte für Straße und Mittelkonsole dargeboten. Für Straßen unter nächtlichen Bedingungen gelten Leuchtdichten von $L_S = 0,1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ als realistisch für Kfz-eigene Beleuchtung, bei Nässe reduziert sich die Straßenleuchtdichte auf $L_S = 0,01 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Für Bereiche mit Straßenbeleuchtung können Werte von $L_S \geq 1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ angenommen werden. Als Straßenleuchtdichten im Versuchsaufbau wurden daher Werte von $L_S = 1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, $L_S = 0,1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ und $L_S = 0,01 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ verwendet. Für die erzeugten Leuchtdichten auf der Mittelkonsole wurde entsprechend der gleiche Wertebereich verwendet. Im Versuchsablauf fixierten die Versuchspersonen das Sichtziel über der projizierten Straße mit der jeweils vorgegebenen Straßenleuchtdichte. Nach Ertönen eines Signaltons sollte auf die beleuchtete Mittelkonsole fixiert werden. Die Blickverweildauer auf der Konsole lag zwischen $t_B = 2 \dots 10 \text{ s}$. Nach einem zweiten Signalton sollte der Blick zurück auf die Straße gerichtet werden, um nach dem Wiedererkennen des Sichtziels durch Drücken eines Tasters ein Signal an die mitlaufende Stoppuhr zu geben. Die ermittelte Readaptationszeit t_{RE} dient als Maß für die Adaptationsbeeinflussung eines Objektes. Zu jeder Straßenleuchtdichte L_S wurde zu Beginn der Versuchsreihe je Testperson ein Nullversuch durchgeführt, d. h. die Konsolenleuchtdichte L_K wurde nicht durch zusätzliche Beleuchtung verändert und die entsprechende Zeit t_{Null}

bis zum Wahrnehmen des Sichtziels gemessen. Dieser Nullversuch soll Effekte wie Blickbewegungsdauer und Reaktionszeit, die als konstant angenommen werden, eliminieren. Die Blickverweildauer während des Nullversuchs lag bei $t_B = 6$ s. In den anschließenden Messungen mit einer erzeugten Leuchtdichte auf der Mittelkonsole ergaben sich zum Teil kürzere Zeiten t_{Mess} bis zum Wiedererkennen des Sichtziels. Die als Vergleichsgröße unterschiedlicher Konsolenleuchtdichten verwendete Readaptationszeit t_{RE} errechnet sich als Differenz zwischen der gestoppten Zeit t_{Mess} und der im Nullversuch bestimmten Zeit t_{Null} .

$$t_{\text{RE}} = t_{\text{Mess}} - t_{\text{Null}} \quad (1)$$

6. Ermittelte Leuchtdichten

Wie bereits zuvor erwähnt, resultieren aus der angewendeten Meßmethode teilweise negative Readaptationszeiten. Mit dieser Vorgehensweise wurde versucht, die unterschiedlich hoch eingestellten Leuchtdichteschwellen der Testpersonen zu kompensieren. Auffällig war die durchweg deutlich überschwellige Einstellung des Sichtziels in der Personengruppe der ca. 50 bis 60-jährigen Versuchsteilnehmer. Für die beiden realistischen nächtlichen Straßenleuchtdichten von $L_S = 0,01 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ (nasse Fahrbahn) und $L_S = 0,1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ergeben sich kleine Readaptationszeiten, die in den praktisch vorkommenden Blickzuwendungsdauern von maximal $t_B = 2 \dots 4$ Sekunden sogar überwiegend negativ sind. Das würde bedeuten, daß in diesen Leuchtdichtebereichen eine Beleuchtung des Fahrzeuginnenraums, hier speziell der Mittelkonsole, eine positive Auswirkung auf den Umadaptationsvorgang von der Fahrbahn auf den Innenraum und umgekehrt hat.

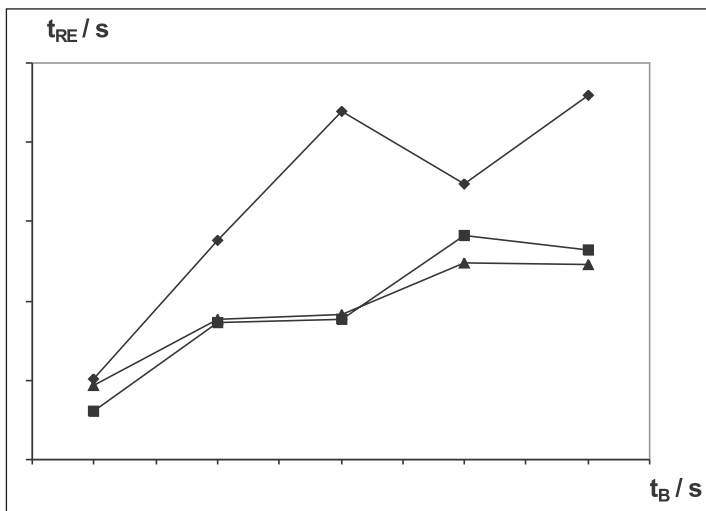


Abbildung 2: Readaptationszeit t_{RE} über der Blickzuwendungsdauer t_B auf die beleuchtete Mittelkonsole mit der Fahrbahnleuchtdichte $L_S = 0,1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ und variabler Konsolenleuchtdichte L_K

◆: $L_K = 1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$

■: $L_K = 0,1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$

▲: $L_K = 0,01 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$

7. Bewertungsfahrten mit einem Versuchsträger

Neben den Untersuchungen im Labor wurden auch Versuche in einem speziell ausgerüsteten Versuchsfahrzeug im öffentlichen Straßenverkehr durchgeführt. Die aus den Bewertungsfahrten hervorgegangenen bevorzugten Leuchtdichtewerte sind nach den Laborversuchen als unbedenklich einzustufen. Ein negativer Einfluß einer derartigen Innenraumbelichtung auf das Adaptationsniveau des Fahrers ist in den ermittelten Bereichen nicht festzustellen.

Die Versuchsteilnehmer waren aufgefordert Leuchtdichteniveaus in den verschiedenen Fahrzeugbereichen anzugeben, von denen sie sich während der Fahrt gestört fühlten. Als Störung galt dabei eine Ablenkung oder Irritation während der Erfüllung der Fahraufgabe durch die Innenraumbelichtung. Untersucht wurden sämtliche Bereiche im Fahrzeug, angefangen vom direkten Blickfeld des Fahrzeugführers, z. B. das Armaturenbrett oder die vorderen Fußräume, bis zu Bereichen, die nur kurzzeitig erfaßt werden, z. B. der rückwärtige Fahrzeugraum beim Schulterblick. Die Angaben zu den Störniveaus schwanken erheblich, die im Diagramm eingezeichneten Werte errechnen sich als arithmetischer Mittelwert der Einzelangaben.

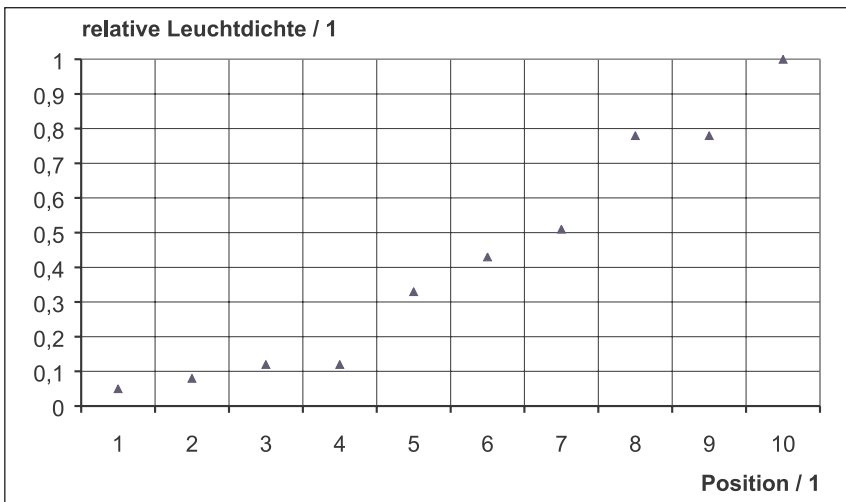


Abbildung 3: Leuchtdichte Störschwellen für verschiedene Fahrzeugbereiche

- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| 1: Handschuhkasten | 6: Beifahrerfußraum |
| 2: Gangwählhebel | 7: rechte Fondtürverkleidung |
| 3: Mittelkonsole | 8: Fahrertürverkleidung |
| 4: Fahrerfußraum | 9: Beifahrertürverkleidung |
| 5: Fußraum Fondpassagiere | 10: linke Fondtürverkleidung |

8. Zusammenfassung

Die durchgeführten statischen Readaptationszeitmessungen und die dynamischen Bewertungsversuche mit einem ausgerüsteten Versuchsfahrzeugs brachten als Ergebnis die Unbedenklichkeit gegenüber einer Permanentbeleuchtung des Innenraums bei Leuchtdichten $L \leq 0,1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ im Wageninneren. Der Gewinn

an aktiver Sicherheit durch Erhöhung der Erkennbarkeit und Bediensicherheit von Schaltern wird begleitet von einer merklichen Komfortsteigerung für alle Fahrzeuginsassen.

Literaturverzeichnis

- [1] Hentschel, H.-J.: Licht und Beleuchtung, 4. Auflage, Hüthig Verlag, Heidelberg, 1994
- [2] Finsterer, H.-J.: Optimale Kenntlichmachung von LKW für reale Verkehrssituationen, Projekt Nr. 1.9103, Technische Hochschule Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik, 1992
- [3] Schmidt-Clausen, H.-J.: Skriptum zur Vorlesung „Grundlagen der Lichttechnik“, Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik, 1997
- [4] M. Grimm, P. Löbig, Ambiente Innenraumbeleuchtung für Kraftfahrzeuge, Forschungsbericht, TU Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik, 1998
- [5] M. Grimm, Drivers' Physiological Needs for an Interior Lighting of Vehicles, Progress in Automobile Lighting, Volume 5, Utz Verlag München, 1999

Verkaufsförderung durch moderne Beleuchtungslösungen

Andreas Hilbert

Die Welt des Einzelhandels ist durch scharfen Wettbewerb geprägt. Der Erfolg eines Geschäftes hängt in hohem Maße davon ab, ob das richtige Image geschaffen wird. Dadurch können die jeweiligen Produkte optimal positioniert werden. Die Beleuchtung kann dabei eine wichtige Rolle spielen. Eine hochwertige Beleuchtung zieht Kunden an und schafft eine Atmosphäre, die die Kunden in Kaufstimmung versetzt; sie läßt die Waren im besten Licht erscheinen. Sie führt die Kunden durch das Geschäft und sorgt für eine angenehme und sichere Umgebung für Kunden und Mitarbeiter gleichermaßen.

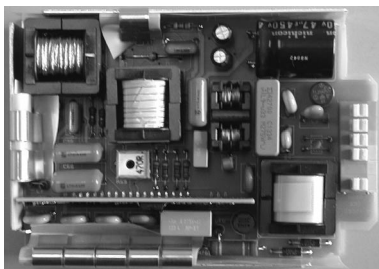
Der Markt in der Verkaufsbeleuchtung teilt sich in zwei Segmente: einen High-End-Bereich und einen Nutzen-orientierten Bereich.

Der High-End-Bereich ist durch

- Emotionales Einkaufen
- Shop in Shop
- Mega Stores

geprägt und fordert eine repräsentative Beleuchtung.

Die Lampen und Komponenten müssen dem anspruchsvollen Design bei optimaler Lichtqualität gerecht werden. Miniatisierung und Lichtregelung sind Forderungen für diese Anwendungsbereiche.



Im Nutzen-orientierten Verkaufsraum stehen flexible und funktionsgerechte Gestaltung im Vordergrund mit dem Schwerpunkt einer wirtschaftlichen Beleuchtung.

Die verwendeten Lampen und Komponenten werden nach funktionsgerechter Lampenqualität, Wartungs- und Installationsfreundlichkeit bewertet. Eine über-



Abb. 1 Elektronische Vorschaltgeräte für Metallhalogenlampen)

Andreas Hilbert
Philips Licht, UB der Philips GmbH
Steindamm 94, D-20099 Hamburg

spitzte Formulierung könnte lauten: Lampen- und Komponenten-Lebensdauer sind die Leuchten-Lebensdauer.

Für die HID-Lampen-Betriebsgeräte zeigt die Entwicklung der elektronischen Vorschaltgeräte ein starkes Wachstum. Ein breites Angebot steht dem Markt zur Verfügung.

Die im Verkaufsbereich eingesetzten Lampen reichen von der Normallampe, über die Halogenlampe bis zur leistungsstarken Metalldampfhalogen-Lampe. Die folgende Graphik zeigt die Leistungsmerkmale der verschiedenen Lampen.

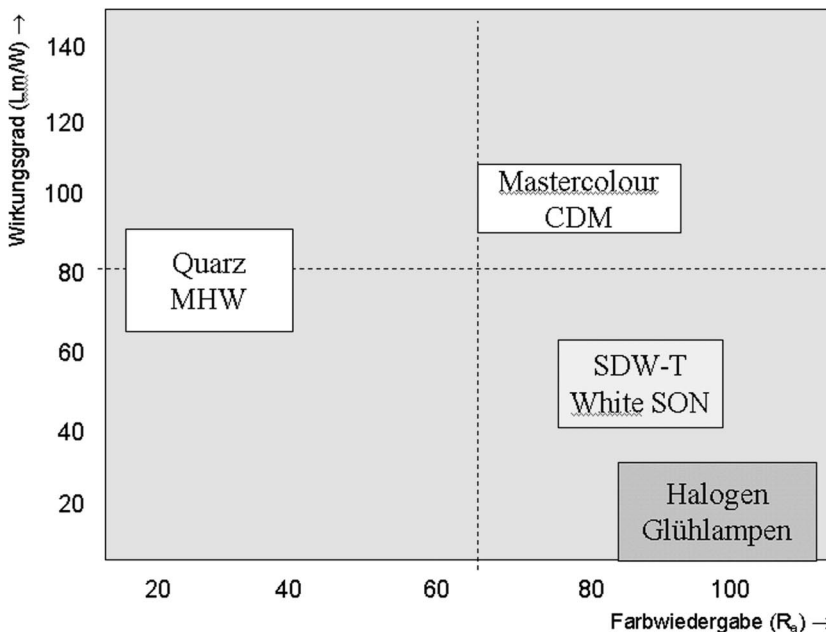


Abb. 2: Lampenvergleich in Abhängigkeit der Farbwiedergabe (Ra) zum Wirkungsgrad (lm/W)

Als wirtschaftliche Lösung für den Ersatz der PAR-Glühlampen ist die SDWT White SON mit ihrer brillianen Farbwiedergabe besonders im Rotbereich ein fester Bestandteil in der anspruchsvollen Ladenbeleuchtung.

Die Metallhalogendampf-Lampe in Keramik-Technologie, die 1994 zum ersten Mal auf der Hannover-Messe vorgestellt wurde, mit dem Anspruch, die Nachteile der Quarztechnik zu beseitigen, hat ihr Versprechen gehalten.

- Lange Lebensdauer
- Hohe Effizienz
- Brillante Farbwiedergabe
- UV Block-Filter
- Konstante Lichtfarbe über die Lebensdauer.

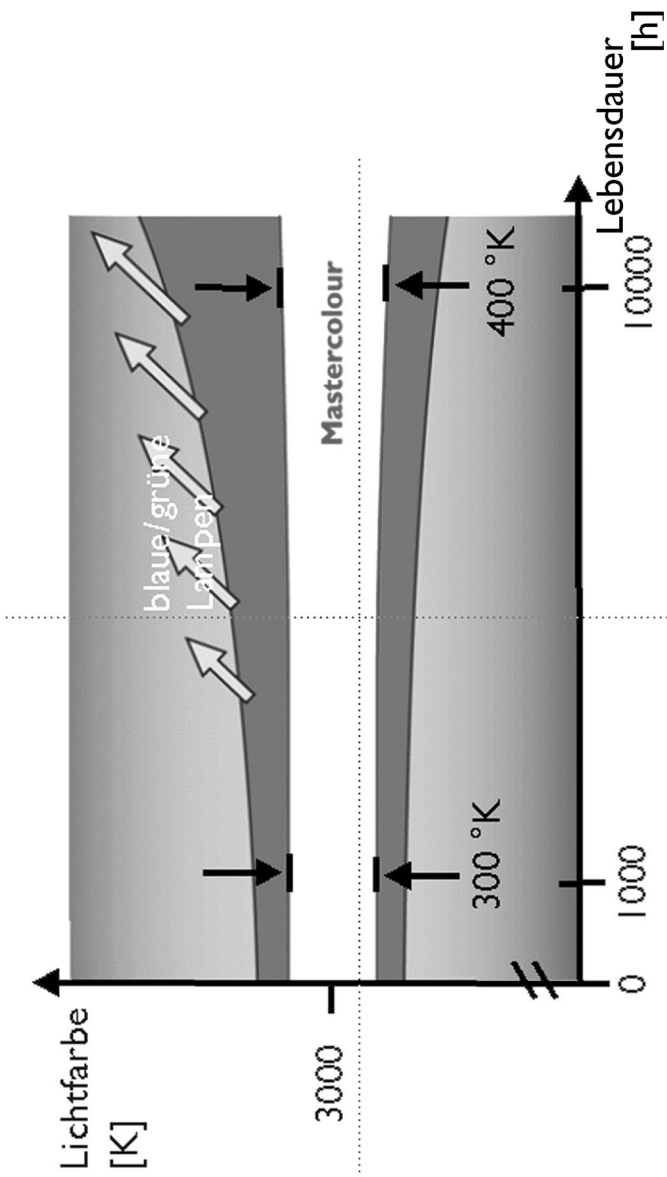


Abb. 3: Farbdrift der Metallhalogendampf-Lampe in Abhängigkeit der Lebensdauer

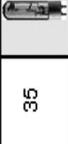






















Type Wattage	2500K					3000K					4000K					
	SDW-T	CDM-TC	CDM-T	CDM-TD	CDM-R PAR20 /830	CDM-R PAR30L /830	CDM-TP /830	CDM-T /942	CDM-TD /942	CDM-TP /942	CDM-T /942	CDM-TD /942	CDM-TP /942	CDM-TP /942	CDM-SA /942	
35																
50																
70																
100																
150																
250																

Abb. 4: Übersicht der verfügbaren Lampentypen in Keramiktechnologie

Für die Verkaufsraumbeleuchtung ist die Keramiktechnologie die Lampe mit dem höchsten Kundennutzen.

Ein komplettes Programm dieser Lampen ermöglicht für jede Anwendung die richtige Lichtfarbe und Lampenform auszuwählen.

3 neue Lampentypen sollten an dieser Stelle erwähnt werden:

Die Kleinste CDM-TC

- Ideal für Shop, Akzentbeleuchtung
- Die kompakteste CDM
- Effizientes System mit EVG
- Ermöglicht Konzepte für kleine Leuchten



Abb. 5: Master-colour CDM-TC

Für offene Leuchten CDM-TP

- Kein Schutzglas notwendig
- Leuchtdesign wie bei SDW-T möglich
- Alle Vorteile der Keramiktechnik
- Lichtfarbe 3200K und 4200K



Abb. 6: Mastercolour CDM-TP

Für hohe optische Ansprüche
CDM-SA Optical

- Bessere Nutzung optischer Systeme durch kurzen Lichtbogen
- Höherer Wirkungsgrad der Leuchte
- Alle Vorteile der Keramiktechnik
- Lichtfarbe 4200K



Abb. 7: Mastercolour CDM-SA Optical

Neue Möglichkeiten in der Beleuchtung: Leuchtdioden

P.J.M.van der Burgt, R. Sexton, B. Kock

In den vergangenen 10 Jahren wurden rasche Fortschritte in Bezug auf die Farbskala, Lichtausbeute und Leistung bei Leuchtdioden (LEDs) erzielt.

Zur Zeit sind alle Farben zwischen rot und blau verfügbar. Orangefarbene und rote LEDs mit Lichtausbeuten von über 20 lm/W werden zur Zeit in der Standardfertigung hergestellt. Unter Laborbedingungen sind bereits orangefarbene Leuchtdioden mit einer Lichtausbeute von über 100 lm/W produziert wurden, also innerhalb absehbarer Zeit ist mit weiteren Verbesserungen zu rechnen. Dank dieser Verbesserungen der Lichtausbeute und der höheren Leistung einzelner LEDs bis über 1W gibt es jetzt neue Anwendungsmöglichkeiten. Weißes Licht in guter Qualität lässt sich entweder mit Hilfe einer Kombination aus roten, grünen und blauen LEDs erzeugen oder durch den Einsatz von LEDs, die ein blaues Licht ausstrahlen, das anschließend mit Hilfe von Leuchtstoffe im Innern in weißes Licht umgewandelt wird. Für beide Methoden zur Erzeugung von weißem Licht wird für die Lichtausbeute ein Anstieg auf 35–40 lm /W innerhalb der nächsten 5 Jahre prognostiziert.

Für den Einsatz als Lichtquelle besitzen Leuchtdioden eine einzigartige Reihe von Merkmalen. Leuchtdioden haben eine Lebensdauer von bis zu 100.000 Stunden, werden mit niedrigen Spannungen betrieben, können nahezu unbegrenzt geschaltet werden, erlauben eine Helligkeitsregelung bis auf Null und können in jede Farbe gefertigt werden. Ihre Lichtaustrittsfläche ist sehr klein was die Entwicklung eingebauter Präzisionsoptiken zur Erzeugung einer exakten Leuchtdichtevertelung gestattet. Diese individuellen LEDs können als Baustein betrachtet werden, die sich zu einer Matrix zusammenstellen lassen, die eine extrem hohe Präzision bei der Lichtanordnung ermöglicht. Darüber hinaus bietet die individuelle Schaltbarkeit der LEDs innerhalb der Matrix dynamische Möglichkeiten für die Leuchtdichtevertelung und die Farbe.

Mit derartigen Systemen werden neue Möglichkeiten des Lichtdesigns entstehen, bei denen reale Leistungsvorteile gegenüber traditionellen Lichtquellen erzielt werden können. Für den Einsatz in Pollerleuchten und Landschafts- bzw. Gehwegbeleuchtung sowie an Wänden montierten Führungsleuchten für Treppen und Fußwege übertreffen Leuchtdioden compacte Leuchtstofflampe und Halogenglühlampe in Bezug auf Betriebs- und Wartungskosten und Designmöglichkeiten. Dauerhaft versiegelte, wartungsfreie Leuchten mit schlanken Profilen, optimierter Lichtverteilung, Helligkeitsregelung sowie sofortigem Start und Neustart erscheinen zur Zeit bereits auf dem Markt. Im Einzelhandelsbereich ent-

P.J.M.van der Burgt, R. Sexton
Philips Lighting BV, Building EEA2
Postbox 80020, NL-5600 JM Eindhoven

B. Kock
Lumileds
Postbox 429, NL-5680 AK Best

wickelt sich ein Markt für Regal oder Schrankbeleuchtung mit schmalen LED-Streifen mit einer hochgenauen Farbwiedergabe und kein UV und IR Strahlung als Ersatz für die Lösungen mit Leuchtstofflampen. In dem gleichen Bereich sowie in Museen und Freizeitzentren werden spezielle Beleuchtungseffekte, wie zum Beispiel Farb- und Lichtverteilungswechsel, auch zur Kennzeichnung und für Verkaufspunkte eingesetzt. Es wird zwar wahrscheinlich noch einige Jahre dauern, aber LEDs werden auf dem Gebiet der Straßen- und Flächenbeleuchtung irgendwann sogar mit Hochdruck-Natriumlampen und anderen Entladungslichtquellen konkurrieren, wenn dauerhaft versiegelte Leuchten mit einer optimierten Lichtverteilung (ohne Lichtverschmutzung), einer langen und wartungsfreien Lebensdauer und dynamischen Möglichkeiten in Leuchtdichteverteilung zur Verfügung stehen.

In diesem Artikel werden wir zunächst die Grundmerkmale von LEDs erläutern und anschließend einen Überblick über die neuen Möglichkeiten geben, die LEDs in Beleuchtungsanwendungen bieten.

1. Einleitung

Seit ihrer Markteinführung Anfang der sechziger Jahre hat die LED aufgrund ihrer überlegenen Leistung immer mehr Anwendungsgebiete erobert. Ursprünglich wurden die LEDs für Signalisierungszwecke verwendet, zum Beispiel in Unterhaltungselektronik-Geräten (Stereoanlagen, Fernsehgeräte, Telefonapparate), für die Informationsanzeigen oder Warnhinweise in Bahnhöfen und auf Autobahnen, für Ausgangsschilder usw.

In den letzten zehn Jahren konnten erhebliche Verbesserungen in der Halbleitertechnologie realisiert werden, so dass leistungsstarke LEDs mit höherem Lichtstrom und größerer Lichtausbeute entstanden. Diese Verbesserungen eröffnen neue Anwendungsmöglichkeiten. In diesem Artikel werden zunächst die wesentlichen Verbesserungen in der LED-Technologie beschrieben und anschließend die neuen Möglichkeiten für den Einsatz von LEDs in Beleuchtungsanwendungen geschildert.

2. Verbesserungen in der LED-Technologie

Eine Leuchtdiode (LED) ist im wesentlichen eine Halbleiterdiode mit einem pn-Übergang, die einfarbiges Licht emittiert, wenn sie in Durchflussrichtung betrieben wird. Im Grunde besteht die LED (Abb.1) aus dem Chip oder dem lichtemittierenden Halbleitermaterial, einem Metallrahmen mit Anschlussbeinchen auf den der Chip platziert wird, und einem Epoxidgehäuse, das den Chip umgibt und gegen Umgebungseinflüsse schützt

Die Gesamtstrahlungsausbeute der LED wird angegeben durch die interne Quantenausbeute multipliziert mit der Extraktionsausbeute (Abb.2). Die interne Quantenausbeute gibt an, wie effizient Elektronen in Photonen umgewandelt werden, während die Extraktionsausbeute spezifiziert, welcher Anteil der erzeugten Photonen in der Lage ist, aus dem Chip auszutreten, bevor die Photonen wieder absorbiert werden. Im letzten Jahrzehnt sind beide Parameter wesentlich verbessert worden.

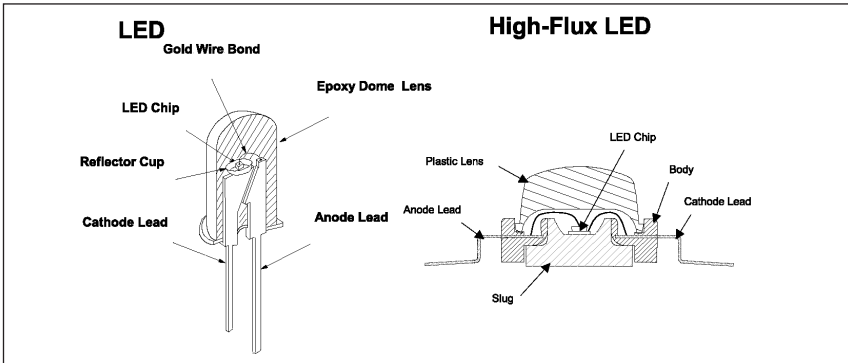


Abb. 1: Schematische Darstellung von LEDs. Links eine herkömmliche LED für die Signalisierung, rechts eine Leistungs-LED.

LED Efficiency

Internal Quantum Efficiency :

- material quality (impurities, defects, etc.)
- epitaxial layer structure and composition
- characteristics of material system (color)

Extraction Efficiency:

- optical characteristics of chip (refractive index)
- internal absorption (losses) inside chip
- geometry of chip

Total efficiency = Internal Eff. x Extraction Eff.

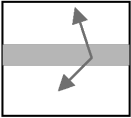
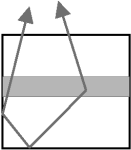



Abb. 2: Schematische Darstellung der Strahlungsausbeute von LEDs

Die interne Quantenausbeute konnte durch Verbesserungen der Werkstoffqualität, zum Beispiel durch Reduzierung der Verunreinigungen, Defekte, usw. und durch eine bessere Prozesskontrolle gesteigert werden. Durch den Einsatz von Werkstoffen mit verbesserten optischen Eigenschaften und durch Modifikationen der Geometrie/Form der LED-Konstruktion konnten die internen Verluste aufgrund von Selbstabsorption reduziert und damit eine höhere Extraktionsausbeute erreicht werden.

Die interne Quantenausbeute liegt bei Halbleitern zwischen 10 und 100 % und die Extraktionsausbeute zwischen 10 und 30 %, also eine Gesamtausbeute von 1 bis 30 %.

Die Lichtabstrahlung der LEDs hängt von der Temperatur des Übergangs ab. (Abb. 3) Hochleistungs-LEDs wurden möglich, als die thermischen Eigenschaften

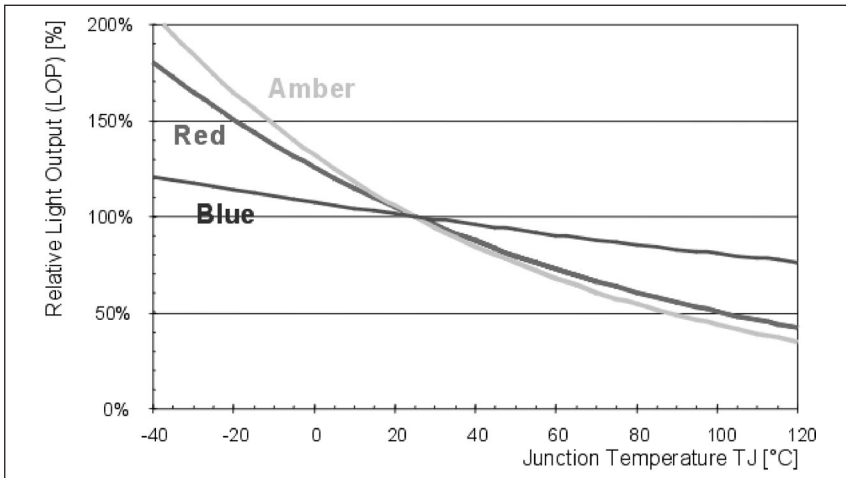


Abb. 3: Die Lichtabstrahlung von LEDs in Abhängigkeit von der Temperatur am pn-Übergang

ten der LED, d.h. die Wärmeleitfähigkeit, verbessert wurden. Durch eine ausreichende Wärmeabfuhrung am Boden konnten LED-Entwürfe mit Chips realisiert werden, die bis zu 5x größer waren als traditionelle LEDs. Ein elastisches Einschussmaterial, das den Raum zwischen dem Chip und der Linienabdeckung füllt, sorgt dabei für den Ausgleich der unterschiedlichen Ausdehnung, so dass das empfindliche Chipmaterial keinen schädlichen Spannungen ausgesetzt wird. Dadurch können die größeren Chips mit ein bis zu zehnfach größerer Strom angesteuert werden, ohne dass Thermospannungen die Lebensdauer beeinträchtigen. Aufgrund des verbesserten Wärmehaushalts in den Leistungs-LEDs werden die Temperaturgrenzwerte in den pn-Übergängen nicht überschritten.

Für die LED-Fertigung werden hauptsächlich zwei Arten von Halbleiterkristallen verwendet: AlInGaP (Aluminium-Indium-Gallium-Phosphid) und InGaN (Indium-Gallium-Nitrid). In Abbildung 4 sind die mit diesen Halbleiterkristallen realisierbaren Hauptfarben dargestellt. Durch Variieren der Anteile der verschiedenen Komponenten kann die Wellenlänge verändert werden.

Für die Erzeugung von weißem Licht gibt es zwei Möglichkeiten. (Abb. 5) Weiße LEDs können aus Chips hergestellt werden, die blaues Licht emittieren und mit einer gelben Leuchtstoffbeschichtung versehen sind, wobei letztere einen Teil des blauen Lichts in breitbandiges gelbes Licht umwandelt. Die Mischung aus dem ursprünglichen blauen Licht und dem von der Leuchtstoffbeschichtung emittierten Licht ergibt ein weißes Licht.

Zur Zeit kann mit diesem auf einem einzelnen Leuchtstoff beruhenden System weißes Licht mit Farbtemperaturen über 4000 K und bescheidenen Farbwiedergabeeigenschaften erzeugt werden. Durch die Verwendung eines Systems mit

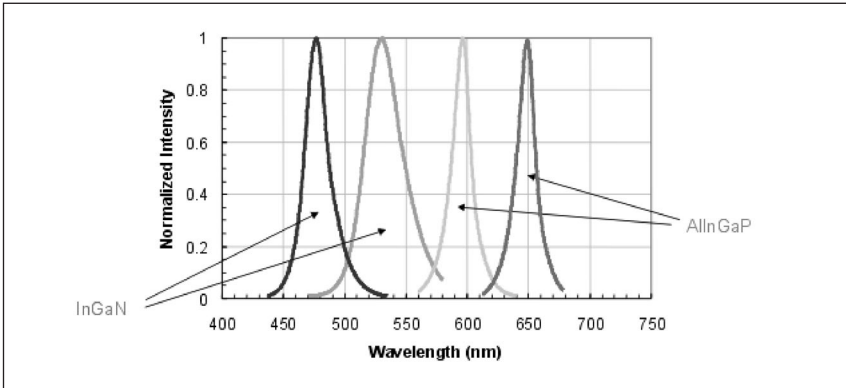


Abb. 4: Die mit AlInGaP- und InGaN-Kristallen realisierbaren Hauptfarben

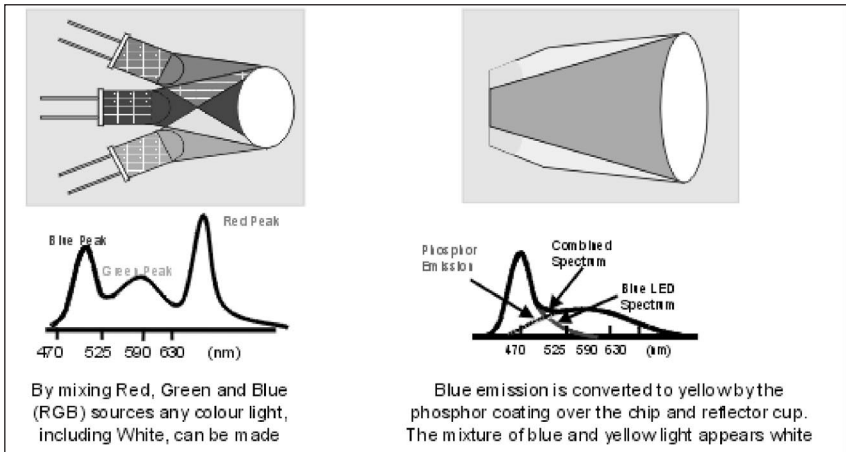


Abb. 5: Zwei Möglichkeiten zur Erzeugung von weißem Licht. Links die Mischung von rotem, grünem und blauem Licht, rechts blaues Licht mit einem Leuchtstoff.

2 Leuchtstoffen, d.h. einem rot und einem grün emittierenden Leuchtstoff, sind LEDs mit Farbtemperaturen unter 4000 K und einem Farbwiedergabeindex über 80 realisierbar.

Eine zweite Methode zur Erzeugung von weißem Licht besteht darin, entweder blaue, rote und grüne Chips in einem LED-Gehäuse zusammenzufassen, oder einzelne farbige (rote, grüne, blaue) LEDs auf einer einzigen Systemplatine zu platzieren. Das Hauptproblem besteht in diesem Fall in dem richtigen Mischungsverhältnis der drei Farben. Kompliziert wird dieses Verfahren außerdem durch den unterschiedlichen Lichtstromrückgang und die Temperaturabhängigkeit der drei Farben sowie durch die Schwankung der Herstellungstoleranzen. An die Mischungsoptik und die Treiberelektronik werden daher hohe Anforderungen

gestellt. Der wesentliche Vorteil des RGB-Systems liegt in der Möglichkeit zur dynamischen Farbveränderung durch die Änderung der Leistung der einzelnen Chips.

Alle obengenannten Verbesserungen haben in den letzten 10 Jahren zu einer Verhundertfachen der Lichtausbeute bei LEDs mit längeren Wellenlängen und zu einer mehr als zehnfachen Verbesserung bei LEDs mit kürzeren Wellenlängen geführt. Die derzeitige Lichtausbeute von roten, gelben, grünen, blauen und weißen (leuchtstoffbeschichteten) LEDs und die voraussichtliche Lichtausbeute im Jahr 2005 sind in Abbildung 6 aufgeführt.

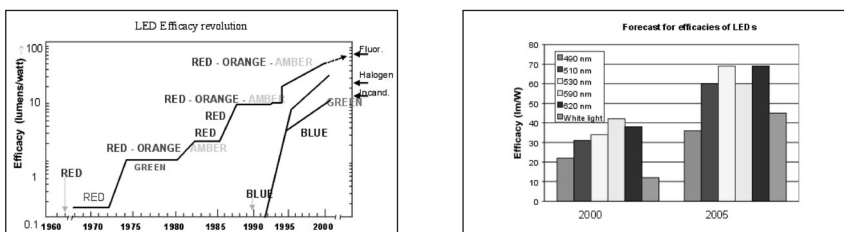


Abb. 6: Die zeitliche Entwicklung der Lichtausbeute von LEDs

3. Mögliche Anwendungsgebiete für LEDs

Die einzigartigen Eigenschaften der LEDs ermöglichen die einzelnen LEDs als Bausteine für ein Lichtsystem zu betrachten. In solche Systeme bietet die individuelle Schaltbarkeit der LEDs dynamische Möglichkeiten hinsichtlich der Lichtstärkeverteilung sowie in Bezug auf Lichtstrom und Farbe. Das ergibt greifbare Vorteile gegenüber traditionellen Lichtquellen wie in die nächste Anschnitte gezeigt wird.

3.1 Leuchtschilder & Signalisierung Verkehrslichtzeichen

Eine der ersten erfolgreichen Anwendungen von farbigen LEDs war das rote Lichtsignal in Ampeln. Hier werden einige strenge Anforderungen an die Lichtstärkeverteilung und die Lichtfarbe gestellt. Die Vergleichsprodukte bei dieser Anwendung sind Glühlampen oder Halogenleuchtstofflampen, die in Verbindung mit einem farbigen Glasfilter Licht mit der gewünschten Farbart erzeugen. Mit einer Matrix von zur Zeit 18 roten Hochleistungs-LEDs (Abb. 7) kann ein rotes Lichtsignal realisiert werden, das alle Anforderungen erfüllt und der Leistung der Vergleichslampen gleichkommt. Da der Lichtstrom und in geringerem Maße auch die Farbe der roten LEDs von der Betriebstemperatur abhängen, muss bei dem Entwurf des roten Lichtsignals besonders auf die Wärmeübertragung von den LEDs an die Umgebung geachtet werden, um unter allen Betriebsbedingungen eine sichere und zuverlässige Funktion zu gewährleisten. Die Hauptvorteile der LEDs für diese Anwendung liegen in den reduzierten Wartungs- und Überwachungskosten aufgrund der langen Lebensdauer und in der stabilen Funktion der LEDs, die einen voraussichtlich wartungsfreien Betrieb über einen Zeitraum von 5 Jahren ermöglicht. Die Systemleistung des LED-Systems, typischerweise

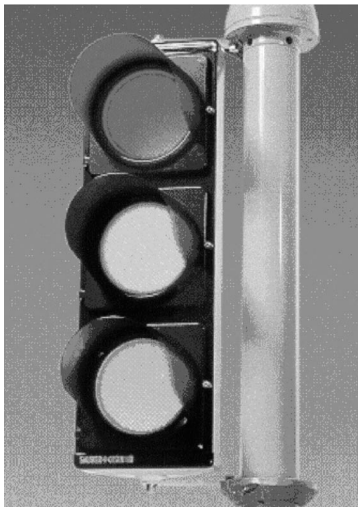
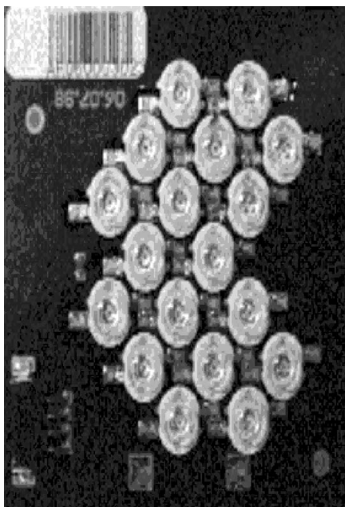


Abb. 7: Ein LED-Verkehrslichtzeichen – links das Array mit LEDs, rechts das gesamte System

10–15 Watt, ist wesentlich niedriger als die der Vergleichslampen. (Die Werte für diese Systeme sind von Land zu Land unterschiedlich und liegen typischerweise im Bereich von 50 bis 150 W). Mit dem LED-System sind erhebliche Energieersparungen möglich.

Nach der Einführung der LED-Lösung für rote Lichtsignale konzentrierte man sich auf LED-Lösungen für gelbe und grüne Lichtsignale. Heute stehen LED-Lösungen für alle drei Farben zur Verfügung. Das bedeutet, dass abgesehen von der Möglichkeit zur Nachrüstung einzelner Farben heute auch komplette Verkehrslichtzeichen mit LEDs realisiert werden können, wodurch sich neue Möglichkeiten für das System-Design ergeben, zum Beispiel eine flachere Konstruktion, Integration in Masten oder eingebaute „intelligente“ Funktionen wie zum Beispiel die Steuerung über eine Funkverbindung. In einigen Ländern (USA, Schweden, Frankreich) gewinnen Verkehrslichtzeichen auf LED-Basis schnell an Boden.

Konturbeleuchtung

LEDs können in praktisch jeder Form – von linear bis sehr komplex – auf Chipstreifen angeordnet werden. In Abbildung 8 sind einige Beispiele für farbige Lichtlinien zur Konturbeleuchtung zu sehen, die mit einem linearen Streifen mit (farbigen) LEDs und einem Diffusor realisiert wurden. Die Leuchtdichte des farbigen Lichtstreifens ist abhängig von der Anzahl der LEDs pro Längeneinheit. Im Grunde können diese Lichtstreifen auch mit Hilfe von farbigen oder mit einem Farbfilter versehenen Leuchtstofflampen, mit Kaltkathodenlampen (Neon) oder mit Lichtwellenleitersystemen hergestellt werden. Im Gegensatz zu diesen Technologien können die LED-Systeme allerdings hinsichtlich ihrer Länge praktisch

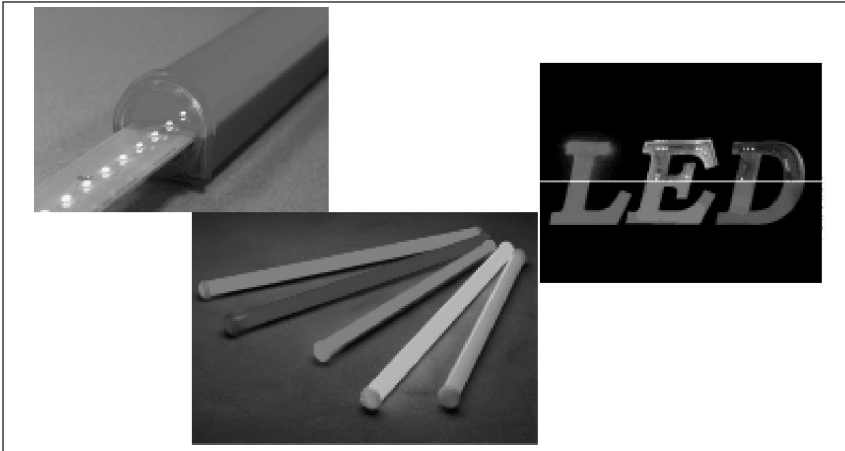


Abb. 8: Beispiele für farbige Lichtlinien und Buchstaben mit LEDs

maßgeschneidert hergestellt werden. Außerdem verringert die lange Lebensdauer des LED-Systems die Wartungskosten und bietet eine größere Freiheit beim Beleuchtungs-Design, weil kein Lampenwechsel berücksichtigt zu werden braucht. Auf Systemebene erleichtert der Betrieb mit Niederspannung den Entwurf von sicheren, einfachen, lebenslänglich versiegelten (und preisgünstigeren) Lösungen für Außenbereiche, die sich problemlos installieren lassen und in hohem Maße vandalismusbeständig sind. Wenn komplexere Formen gewünscht werden, können die LEDs benutzt werden, um beleuchtete Buchstaben für Beschilderung und Werbeanwendungen zu konstruieren. Die Vergleichsbasis hier ist die Kaltkathodentechnologie (Neon). In den meisten Fällen kann mit dieser Technologie eine höhere Leuchtdichte der Buchstaben erreicht werden. Mit zunehmender Lichtausbeute der LEDs wird dieser Leistungsunterschied jedoch in naher Zukunft verschwinden.

Einer der Schwachpunkte von Kaltkathodenlösungen besteht darin, dass sie leicht bersten, vor allem bei Außenanwendungen. Für die Behebung des Schadens muss der Benutzer in den meisten Fällen mit ziemlich langen Wartezeiten rechnen, da die meisten Lösungen maßgeschneidert sind. Probleme dieser Art werden bei LED-Systemen kaum auftreten.

Wenn mehrere LED-Farben auf dem Chipstreifen angeordnet werden und ein neutraler Diffusor verwendet wird, können dynamische Effekte sowohl bei der Helligkeit als auch bei der Farbe erzielt werden. Diese Möglichkeit ist vor allem für die Außenwerbung interessant, die durch die dynamischen Effekte wirkungsvoller gestaltet werden kann. Solche Effekte sind zwar auch mit der Kaltkathodentechnologie und mit Leuchtstofflampen möglich, jedoch nimmt in diesen Fällen das System nicht nur mehr Platz in Anspruch, weil mehr Lampen benötigt werden, sondern es erfordert auch kompliziertere Vorschaltgeräte zur Erzeugung der dynamischen Effekte.

Faseroptische Systeme mit längsleuchtenden Glasfaserkabeln bieten bis zu einem gewissen Grad die gleiche Funktionalität wie LED-Streifen, d.h. beliebige Linienführung und Dynamik bei Farben und Helligkeit. Im Vergleich zu LED-Systemen erfordern faseroptische Systeme jedoch mehr Wartung (Lampenwechsel) und sind im allgemeinen wesentlich größer. In Abbildung 9 sind mehrere Anwendungen für die Konturbeleuchtung dargestellt.



Abb. 9: Beispiele für die Konturbeleuchtung

Lichtgeneratoren für Glasfasersysteme

Durch die Anordnung von mehreren LEDs in einem Array mit gut entworfener Optik kann ein leistungsstarkes, hochkollimiertes Lichtstrahlenbündel produziert werden. In Abbildung 10 ist ein solche LED-Anordnung (LED-Engine) dargestellt. Optische Faktoren begrenzen die Größe des Arrays und damit die Anzahl der verwendeten LEDs (Gesamtlichtstrom). Der Lichtstrom kann weiter gesteigert werden, indem man mehrere Arrays zusammen mit dichroitischen Spiegeln benutzt (Abb.10). Mit derartigen LED-Anordnungen können Lichtstrahlenbündel in einer oder mehreren Farbe(n) realisiert werden.

Durch Mischen der einzelnen Farben lässt sich weißes Licht erzeugen. Die LED-Anordnungen können für eine Vielzahl von Anwendungen eingesetzt werden, zum Beispiel als Lichtgeneratoren für Glasfasersysteme.

Verglichen mit den konventionellen Lichtgeneratoren auf der Basis von Hochdruck-Entladungslampen bietet die LED-Anordnung einige Vorteile. Sie ist kompakter und praktisch wartungsfrei. Konventionelle Systeme nutzen Farbräder zur Erzeugung der jeweiligen Farben. In der LED-Anordnung geschieht dies durch

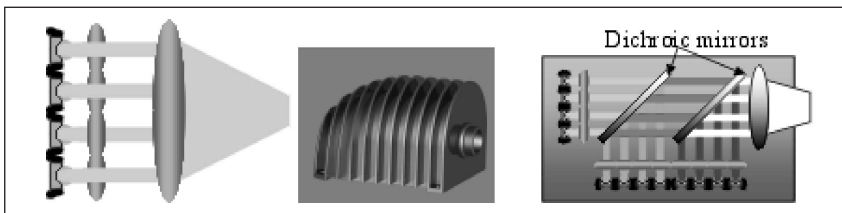


Abb. 10: Schematische Darstellung (links) und Ansicht der LED-Anordnung (LED-Engine). Rechts die Möglichkeit mit mehreren Farben



Abb. 11: Anwendungen der LED-Anordnung in Kombination mit Lichtwellenleitern zum Beispiel Matrixschilder, Zahnhärtung und Straßenführung

unterschiedliches Schalten der LEDs, um die Lichtbündel entsprechend zu mischen, so dass eine höhere Farbdynamik möglich wird. Abbildung 11 zeigt Anwendungen der LED-Anordnung mit Glasfasern.

Leuchtschilder mit seitlichem Lichteinfall

Im Grunde besteht ein Leuchtschild mit seitlichem Lichteinfall aus einem vollkommen intern reflektierenden Medium, üblicherweise eine Art Spezialakryl, und Lichtquellen, die das Licht an den Rändern des Schildes einkoppeln. Das Licht verlässt das Medium an bestimmten speziell geschaffenen Störstellen im Medium. (Abb. 12) Für diese Leuchtschilder mit seitlichem Lichteinfall werden normalerweise Leuchtstofflampen (sowohl normale als auch spezielle Apertur-Lampen) benutzt. Auch hier eröffnen LEDs neue Möglichkeiten.

Die stark kollimierte Lichtstrahlen der LEDs lassen sich effizient in den Rand des Schildes einkoppeln. Werden LEDs verwendet, die auf einem Streifen montiert sind (in einer oder in mehreren Farben), so lassen sich Displays herstellen, deren Helligkeit und Farbe dynamisch verändert werden kann. Ähnlich wie bei der Konturbeleuchtung mit LEDs steigern diese dynamischen Eigenschaften die visuelle Wirkung des Leuchtschildes. Im Vergleich zu Lösungen mit Leuchtstofflampen kann das LED-System kompakter und in jeder beliebigen Länge ausgeführt werden. Die kompakte Konstruktion des LED-Systems stellt eine sehr interessante Option dar, die sich mit herkömmlichen Lichtquellen kaum realisieren

lässt. So können zum Beispiel mehrere Akrylplatten, jeweils mit einem eigenen Bild, übereinander angeordnet werden, und mit separaten LED-Streifen für jede Platte – zum Beispiel in unterschiedlichen Farben – ist es möglich, ein dynamisches Leuchtschild herzustellen, in dem die verschiedenen Bilder separat oder simultan in ihrer eigenen Farbe erscheinen. Die lange Lebensdauer der LEDs eine lebenslange Versiegelung der Systeme, und der Betrieb mit Niederspannung, die geringe Größe und die Robustheit der LEDs bieten Raum für weitere Design- und Anwendungsmöglichkeiten.



Abb. 12: Beispiele für Leuchtschilder mit seitlichem Lichteinfall

3.2 Außenbeleuchtung

Straßenbeleuchtung

Für die Straßenbeleuchtung herkömmlicherweise eingesetzten Lichtquellen können in zwei Gruppen unterteilt werden: Lichtquellen, die gelbliches Licht abstrahlen, d.h. Hochdruck- und Niederdruck-Natriumdampf lampen, und Lichtquellen, die weißes Licht abstrahlen, d.h. Hochdruck-Quecksilberdampf lampen und Leuchtstoff lampen. Bei der Straßenbeleuchtung hängt die Menge des pro Leuchte

geforderten Lichtstroms von der Art der Straße ab. Für Schnellstraßen und Autobahnen wird in der Regel ein höherer Lichtstrom gewählt als für Nebenstraßen. Der hohe Lichtstrom für Schnellstraßen und Autobahnen kann jedoch mit LEDs nicht wirtschaftlich realisiert werden, denn um einen angemessenen Lichtstrom zu erreichen, werden mehr LEDs benötigt, so dass größere Wärmesenken zur Regelung der Betriebstemperatur erforderlich sind und schließlich größere und teurere Leuchten verwendet werden müssen. Zur Zeit liegen die Einsatzmöglichkeiten für LED-Systeme im Bereich niedrigerer Lichtströme, wie sie normalerweise für die Beleuchtung von Nebenstraßen benötigt werden. Für Nebenstraßen haben typische Lichtquellen wie Hochdruck- und Niederdruck-Natriumdampf lampen einen Lichtstrom zwischen 4 und 10 klm. Obwohl die Lichtausbeute dieser Lichtquellen (ca.100 lm/Watt) höher ist als die Lichtausbeute der bernsteinfarbenen LEDs ist das LED-System immer noch wirtschaftlich vergleichbar. Bei LEDs kann die Lichtstärkeverteilung auf eine solche Weise angepasst werden, dass ein sehr hoher Beleuchtungswirkungsgrad (>0,8) möglich wird.

Diese Tatsache und die Lichtausbeute von 40 bis 50 Lumen/Watt macht die LED-Systeme wirtschaftlich vergleichbar mit Hochdruck-Natriumdampfsystemen. Die lange Lebensdauer der LEDs reduziert die Wartungskosten für die Straßenbeleuchtungsinstallation. Frühzeitige Ausfälle, bei herkömmlichen Lichtquellen nicht unüblich, kommen bei der LED-Beleuchtung praktisch nicht vor. Wenn ver-

einzelne LEDs frühzeitig ausfallen, hat dies nur eine begrenzte Auswirkung auf die Gesamtleistung, weil das LED-Array so konstruiert ist, dass sich das Licht der einzelnen LEDs überlagert. Da ein Lampenwechsel entfällt, können die LED-Leuchten lebenslänglich versiegelt und mit den richtigen Werkstoffen in hohem Maße vandalismusbeständig ausgeführt werden. In Abbildung 13 ist eine Straßenszene dargestellt, in der die Beleuchtung mit LED-Systemen mit der Beleuchtung mit Hochdruck-Natriumdampflampen verglichen wird. Die Schaltmöglichkeiten und die einfache Lichtregelung von LED-Systemen bringen Energieeinsparungen mit sich und erlauben eine sofortige Anpassung des Beleuchtungsniveaus in Abhängigkeit zum Beispiel von den Witterungsbedingungen und/oder von dem Verkehrsfluss.

Decorative Flutlichtbeleuchtung

Für die Beleuchtung von Gebäuden und Fassaden können mehrere Arten von Lichtquellen verwendet werden zum Beispiel Glühlampen, Halogenglühlampen, Leuchtstofflampen und Hochdruck-Entladungslampen. Der Beleuchtungswirkungsgrad (Anteil des Lichtstroms,

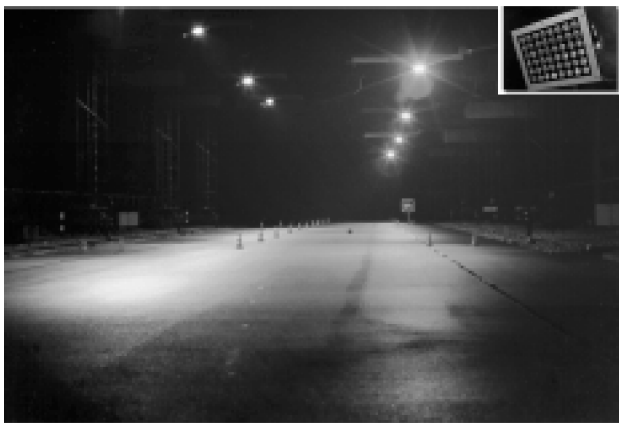


Abb. 13: Straßenbeleuchtung mit Hochdruck-Natriumdampflampen (links) und mit LEDs (rechts)

der die Bezugsfläche erreicht) von herkömmlichen Beleuchtungssystemen ist bei der Flutlichtbeleuchtung relativ niedrig. Die typischen Werte liegen zwischen 0,2 und 0,4. Mit ihrem hohen Beleuchtungswirkungsgrad können LED-Systeme schon wirtschaftlich Vorteile bieten im Vergleich mit Lichtquellen mit relativ niedriger Lichtausbeute wie Glühlampen und Halogenglühlampen.

Ähnlich wie bei der Konturbeleuchtung können Chipstreifen mit mehrere LED-Farben eingesetzt werden und damit können dynamische Effekte sowohl bei der Helligkeit als auch bei der Farbe erzielt werden.

Neben den mit der langen Lebensdauer verbundenen Vorteilen bieten LED-Systeme weitere Vorzüge für den Entwurf von Beleuchtungslösungen für die Flutlichtbeleuchtung. Zu den häufigsten Problemen bei herkömmlichen Lichtquellen zählen Anordnung und Montage der Leuchten. Oft stehen für die Platzierung des Beleuchtungssystems nur bestimmte begrenzte Bereiche zur Verfügung. Durch den Einsatz von LED-Systemen diese Probleme einfacher gelöst werden, denn diese Systeme bieten eine spezielle Lichtstromverteilung, sind schmal und relativ klein. Das bedeutet, dass sie unauffällig in der Nähe der Fas-

saden oder sogar an den Fassaden angebracht werden können. Die lange Lebensdauer der LEDs kommt dieser Methode ebenfalls zugute, denn bei dem Entwurf braucht die Möglichkeit zum Lampenwechsel nicht berücksichtigt zu werden.

Orientierungsbeleuchtung

Zur Zeit ist die Lichtausbeute von leuchtstoffbeschichteten LEDs (pcLEDs) relativ gering. Es lässt sich jedoch eine schnelle Steigerung vorhersehen. Heute bietet die Lösung mit einer leuchtstoffbeschichteten LED eine Lichtausbeute von ca. 7 bis 10 Lumen/Watt, eine Farbtemperatur von 4000 K bis 5000 K und eine bescheidene Farbwiedergabe (CRI 60-70). Diese Leistungsdaten sind ausreichend für Anwendungen, die keine hohen Ansprüche an die Lichtqualität stellen, bei denen jedoch Systemgröße, Wartung sowie sicherer und zuverlässiger Betrieb eine entscheidende Rolle spielen. Beispiele hierfür sind Außenanwendungen wie die Orientierungsbeleuchtung für finstere Seitengassen, Fahrrad- und Fußgängerwege sowie Unterführungen, die Beleuchtung an Schutzzäunen und so weiter. Im Vergleich zu den herkömmlichen Lichtquellen sind LED-Systeme wartungsfrei und kompakter. Dank der ihrer geringen Abmessungen und ihres Betriebs mit Niederspannungen ermöglichen LEDs Systemverbesserungen in Hinblick auf Witterungsbeständigkeit, Vandalismusbeständigkeit und einfache Installation.

3.3 Innenbeleuchtung

Für Anwendungen mit hohen Ansprüche an die Lichtqualität können entweder Weißlichtsystemen auf der Basis von roten, grünen und blauen LEDs oder leuchtstoffbeschichteten LEDs mit 2 Leuchtstoffen eingesetzt werden. Mit einer kollimierenden Optik kann ein gut abgegrenztes Lichtstrahlenbündel für die Akzentbeleuchtung geschaffen werden. Zusätzliche Vorteile sind das Fehlen von schädlichen Strahlen wie IR und UV.

Vor allem für Museen, die eine spezielle Beleuchtungslösung benötigen, um eine Beschädigung der Kunstwerke zu vermeiden, ist diese Reduzierung der schädlichen Strahlung von Nutzen. Für den Einzelhandel wird die Akzentbeleuchtung mit kleinen LEDs neue Möglichkeiten zur exakten Hervorhebung der Waren ohne auffällige Leuchten schaffen.

Bei den Weißlichtsystemen auf der Basis von roten, grünen und blauen LEDs müssen die Probleme der richtigen Mischung noch gelöst werden. Wenn geeignete Lösungen gefunden sind, werden Lichtquellen verfügbar sein, die in der Lage sind, sowohl die Lichtfarbe als auch die Lichtstärke und die Verteilung des Lichts zu verändern mit dem entsprechend neue Möglichkeiten für das Beleuchtungs-Design.

Die Beleuchtung von Schränken und Regalen mit Leuchtstofflampen, wie sie im Einzelhandel üblich ist, kann mit LEDs auf Streifen verbessert werden. Hier kann mit LEDs ein stärkerer Kontrast (Lebendigkeit) und gleichzeitig die Möglichkeit zur dynamischen Veränderung geschaffen werden.

Für die Orientierungsbeleuchtung in Innenraumanwendungen kann die Integration von LED-Systemen in Erwägung gezogen werden. Beispiele sind die Beleuchtung in den Handläufen von Treppengeländern oder die Einbaubeleuchtung in Führungssystemen.

4. Schlussfolgerung

Die LEDs hatten zunächst eine geringe Lichtstrom und wurden hauptsächlich für Signalisierungszwecke eingesetzt. Fortschreitende Verbesserungen in der LED-Technologie (Lichtausbeute, mehr Farben und mehr Lichtstrom pro Element) haben zu neuen Einsatzmöglichkeiten für LEDs geführt. Bei Anwendungen, die eine hohe Leuchtdichte und verschiedene Farben erfordern, zum Beispiel für Verkehrslichtzeichen, Kontur- und Schilderbeleuchtung, können die LEDs bereits mit vorhandenen Beleuchtungslösungen konkurrieren. Auch für die typischen Beleuchtungsanwendungen, die ein bestimmtes Beleuchtungsniveau voraussetzen, werden die LEDs allmählich wirtschaftlich konkurrenzfähig. Zur Zeit nur für Nicht-Weißlicht-Anwendungen wie Straßenbeleuchtung und Flutlichtbeleuchtung eingesetzt, werden LEDs jedoch in Zukunft sicherlich eine Herausforderung für vorhandene Lichtquellen in Weißlicht-Applikationen darstellen.

Effizientere Signalleuchten durch LED-Lichtquellen

Knut Grothmann

Aus unserem Verkehrsalltag sind Signalleuchten nicht mehr wegzudenken. Sie werden sowohl für die ortsfeste Verkehrsleitung als auch zur Markierung von Fahrzeugen eingesetzt.

Zur Steuerung des Verkehrsflusses finden wir die Lichtsignalanlagen oder Verkehrsampeln und variable selbstleuchtende Signaltafeln, so beispielsweise zur Verkehrsbeeinflussung über Höchstgeschwindigkeit und Stauwarnungen.

Bei der Verkehrslenkung und -leitung werden Signalleuchten in Form von Bakenleuchten und Blitzleuchten insbesondere zur Kennzeichnung von Gefahrenstellen wie Baustellen und Fahrbahnwechsell eingesetzt.

An Straßenfahrzeugen setzt man Signalleuchten als Positionslicht zur besseren Erkennbarkeit und zum Signalisieren von Betriebszuständen und Gefahrensituationen ein. Ähnliches gilt auch im Bereich der Schienenfahrzeuge und der Binnen- und Seeschifffahrt.

Die lichttechnischen Kennwerte von Signalleuchten werden durch die entsprechenden gesetzlichen Vorgaben geregelt. Dies können internationale, europäische oder nationale Vorschriften sein. Für den Straßenverkehr, Schienenfahrzeuge, Wasserfahrzeuge und Luftfahrzeuge existieren jeweils eigene Regelwerke, in denen Vorgaben für die entsprechenden Signalleuchten z.B. bezüglich Farbe, Minimal- und Maximallichtstärken, Gleichmäßigkeiten der Leuchtdichte vorgegeben sind. Bei zeitlich veränderlichen Signalen wie Blink- und Blitzlichtern kommen weitere Kenngrößen wie die Blinkfrequenz und das Tastverhältnis hinzu.

In der Geschichte wurden Signalleuchten meist durch Glühlampen in Verbindung mit entsprechenden Farbfiltern realisiert. Durch große technologische Fortschritte auf dem Halbleitergebiet stehen den Leuchtenentwicklern jedoch seit einigen Jahren leistungsstarke Leuchtdioden (LED) für Signalzwecke zur Verfügung. Mittlerweile sind Leuchtdioden in praktisch allen Signalfarben entwickelt worden und erhältlich. Auch bezüglich der Bauform und der Lichtstärkeverteilung existiert bereits eine sehr große Vielfalt.

Für die praktische Anwendung sind Leuchtdioden mit höherer Lichtstärke (superhell) oder hohen Lichtströmen meist von besonderem Interesse. Von einigen Herstellern werden aus diesem Grund bereits komplette Module mit größeren

LED-Stückzahlen fertig montiert angeboten. Derzeit werden von einzelnen Leuchtdioden Lichtstärken bis zu 20 cd und Lichtströme von bis zu 10 lm erreicht.

Durch ihre andere Betriebsweise bedingt, verhalten sich LEDs in lichttechnischer Sicht anders als Glühlampen. Die Emission der Strahlung erfolgt mit einer spektralen Bandbreite von etwa 20 nm bis 30 nm. Die Lage des Maximums und die Lichtausbeute sind dabei temperaturabhängig. Bei ungenügender Wärmeableitung oder zu hoher Umgebungstemperatur verschiebt sich die Emission zu größeren Wellenlängen hin und die Lichtausbeute sinkt. Diese charakteristischen Eigenschaften müssen daher schon beim Entwurf beachtet werden und durch neue Konstruktionsprinzipien Berücksichtigung finden. Einfache Maßnahmen beim Entwurf sind, die Metallisierung der Leiterplatte möglichst großflächig zu erhalten und die Wärmeübergänge mit geringem thermischen Widerstand zu den Gehäuseteilen auszuführen. Auch sollten andere elektronische Bauelemente mit höherer Verlustleistung, wenn möglich nicht in der Nähe von Leistungs-LEDs angeordnet werden, da dadurch die Umgebungstemperatur auf der Platine zusätzlich erhöht wird. Für LED-Leistungsmodule werden z.T. spezielle kupferkaschierte Aluminiumplatten mit einer sehr guten Wärmeleitung statt herkömmlicher Leiterplattenmaterialien eingesetzt. Die Montage von Leistungs-LEDs mit geringem thermischen Widerstand auf metallische Trägermaterialien kann bei speziellen Bauformen auch mit lötfreien Verbindungstechniken realisiert werden.

An einigen für den Kfz- und Fahrradbereich gesetzlich zugelassenen Signallichtern soll gezeigt werden, wie durch LED-Einsatz im Vergleich zu herkömmlichen Leuchten mit Glühlampen eine deutliche Reduzierung der Baugröße und des Energieverbrauchs erreicht werden kann. Hinsichtlich mechanischer Robustheit und Vibration sind LED-Lichtquellen herkömmlichen Glühlampen gleichfalls überlegen.

LED-Seitenmarkierungsleuchte zugelassen nach ECE-R6

Gesamtverlustleistung 0,94 W (12 V-Ausführung) bzw. 1,96 W (24 V-Ausführung) gegenüber W3W Glühlampe

Nur 31 % (12 V) bzw. 65 % (24 V) Leistungsverbrauch bei Einsatz von LED, größere Robustheit, Vibrationsfestigkeit, Vergrößerung der Lebensdauer

Hubladebühnen-Sicherungsleuchte zugelassen nach ECE-R3

Mit 2 Glühlampen W5W Gesamtverlustleistung 10 W

Mit 12 LED Gesamtverlustleistung 2,8 W

Nur 28 % Leistungsverbrauch bei Einsatz von LED, größere Robustheit, Vibrationsfestigkeit, geringere Baugröße, höhere Lebensdauer

LED-Fahrradschlußleuchte zugelassen nach TA Nr. 14

Gesamtverlustleistung 0,33 W (bisher Glühlampe 6V 0,6 W)

Nur 55 % Leistungsverbrauch bei Einsatz von LED, die Lichtstärke liegt bei LED-Ausführung gegenüber Glühlampen-Ausführung etwa doppelt so hoch, dadurch höhere Sicherheit, bei Ausführung mit Standlicht-Kondensator bis zu 4 min Licht, größere Robustheit, Vibrationsfestigkeit, höhere Lebensdauer

LED-Warnblinkleuchte zugelassen nach § 22a StvZO und TA Nr. 19
Mit 8 LED Gesamtverlustleistung 1 W (bisher Glühlampe 6V 2,4 W)
Nur 40 % Leistungsverbrauch bei Einsatz von LED, größere Robustheit, Vibrationsfestigkeit, höhere Lebensdauer, bisher nur als Labormuster aufgebaut, geringere Baugröße möglich

LED-Warnleuchte zugelassen nach TL-Leitbaken 97
Mit 4 LED Gesamtverlustleistung 0,42 W (bisher Glühlampe 5V 0,6 W)
Nur 70 % Leistungsverbrauch bei Einsatz von LED, größere Robustheit, Vibrationsfestigkeit, höhere Lebensdauer

Eine große Verbreitung haben Leuchtdioden am Fahrzeug in der hochgesetzten dritten Bremsleuchte gefunden. Oft werden sie in Form einer schmalen Lichtleiste hinter der Heckscheibe oder in der Karosserie angeordnet. Durch den schnelleren Lichtstromanstieg der LEDs gegenüber Glühlampen ergibt sich für eine Bremsleuchte mit LED bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h ein um 7 m kürzerer Bremsweg des nachfolgenden Fahrers durch das frühere Erkennen des Bremslichts, was zusätzlich als Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit eingestuft werden kann.

Im Bereich der batteriebetriebenen Signalleuchten kann man bei LED-Einsatz aufgrund der höheren Lichtausbeute höhere Batterielebensdauer erreichen oder kleinere bzw. weniger Batterie- oder Akkuzellen einsetzen. Dies ist sowohl aus Kosten- als auch aus Umweltgründen sehr zu begrüßen. Die größere Lebensdauer gegenüber Glühlampen stellt gleichwohl bezüglich des Wartungsaufwands bei Baustellensicherungsleuchten im Bereich der Autobahnbaustellen einen deutlichen Fortschritt und eine höhere Sicherheit dar.

Beleuchtungsplanung mit TL5-Lampen

Erken, Schmidt

1. Einleitung

Die TL5-Leuchtstofflampen mit 16 mm Ø sind aufgrund ihrer gegenüber den bisherigen stabförmigen Leuchtstofflampen mit 26 mm Ø unterschiedlichen Längen und erforderlichen Fassungen und Vorschaltgeräten grundsätzlich nicht als deren Substitutionslampen denkbar. D.h. ihre Marktdurchdringung ist nur über neue Leuchten möglich. Dafür bieten sie jedoch erhebliche Anreize. Ihr kleinerer Durchmesser bietet nicht nur neue gestalterische Möglichkeiten, sondern sorgt dafür, daß die Lampe ein geringeres optisches Hindernis in der Leuchte darstellt, wodurch sich ein vergleichsweise höherer Leuchtenbetriebswirkungsgrad ergibt. Darüber hinaus erreicht die Lampe ihr Lichtstrommaximum bei einer Umgebungstemperatur von 35 °C, der annähernden Betriebstemperatur der meisten Innenleuchten mit Wärmestau, anstatt wie bei der 26mm-Ø-Lampe bei 25 °C (siehe Bild 1). Hieraus ergibt sich ebenfalls eine Erhöhung des Leuchtenbetriebswirkungsgrades. Diese grundsätzlichen Möglichkeiten haben in den letzten Jahren zu einem ständig zunehmenden Angebot von TL5-Leuchten für Büro-, Verkaufs- und Industriebeleuchtung geführt.

Diese neuen Produkte, TL5-Lampen und -Leuchten, werden z.Zt. auf dem Markt jedoch sehr uneinheitlich in ihren publizierten lichttechnischen Daten angeboten.

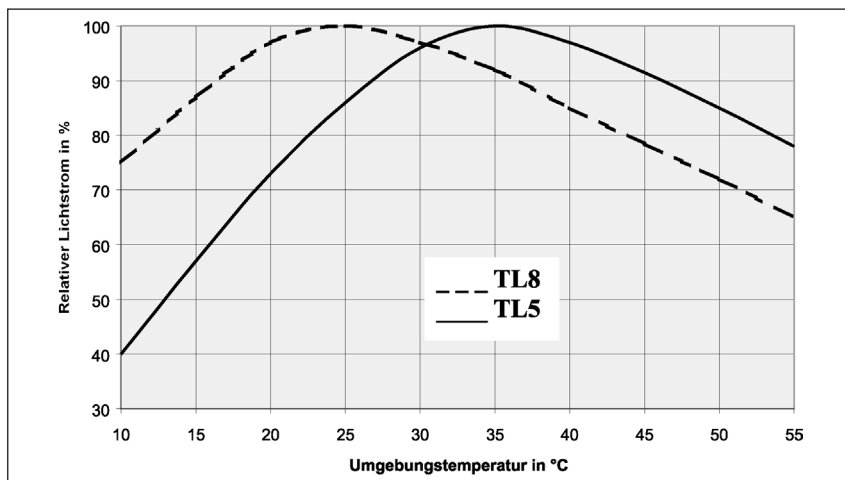


Bild 1: Prinzipielle Darstellung des Lichtstrom-Temperaturverhaltens von TL8- und TL5-Lampen

Dr.-Ing. Erken Schmidt
AEG Lichttechnik GmbH
Rathenastr. 2-6
D-31832 Springe

Daraus folgt nicht nur eine nicht mehr gegebene Angebotsgleichheit, sondern auch ein beachtliches Fehlerpotential bei der Beleuchtungsplanung. Nachfolgend sollen die aktuellen Gegebenheiten und deren Ursachen sowie der eingeschlagene Weg aus dieser unbefriedigenden Situation dargelegt werden.

2. Derzeitige Präsentation der TL5-Lampe

Die Zielstellung der Lampe, Optimierung auf einen hohen Lichtstromwert für 35 °C, führte zur Standardisierung der Lampe für 35 °C, d.h. in IEC 60 081 sind die elektrischen Betriebsbedingungen für eine Referenztemperatur von 35 °C definiert. Die lichttechnischen Messungen sind jedoch – entsprechend ihren Standards (DIN 5032 Teil 4) und der dabei berücksichtigten Kalibrierungskette – bei einer Referenztemperatur von 25 °C vorzunehmen. Für diese Meßtemperatur liegen jedoch keine Referenz-Betriebsbedingungen für die TL5-Lampen vor. D.h. aktuell besteht nur die Wahl zwischen zwei Mißständen, dem definierten Betrieb der Lampe bei 35 °C aber undefinierter Photometrie oder der undefinierten Betrieb bei 25 °C aber definierter Photometrie. Darauf ist zurückzuführen, daß die bisher einzigen Hersteller von TL5-Lampen, Philips und Osram, unterschiedliche Lichtstromwerte der Lampen für 25 °C angeben. Diese Unterschiede sind jedoch nicht auf unterschiedliche Eigenschaften ihrer Lampen zurückzuführen, sondern auf unterschiedliche individuelle Definitionen des elektrischen Betriebszustandes für 25 °C.

Diese Standardisierungs-Kalamität hat jedoch noch einen weiteren und wesentlich weitergehenden Mißstand zur Folge, die Angabe des Nennlichtstroms je nach Wahl der Referenztemperatur für 25 °C oder 35 °C (siehe Bild 2) und die

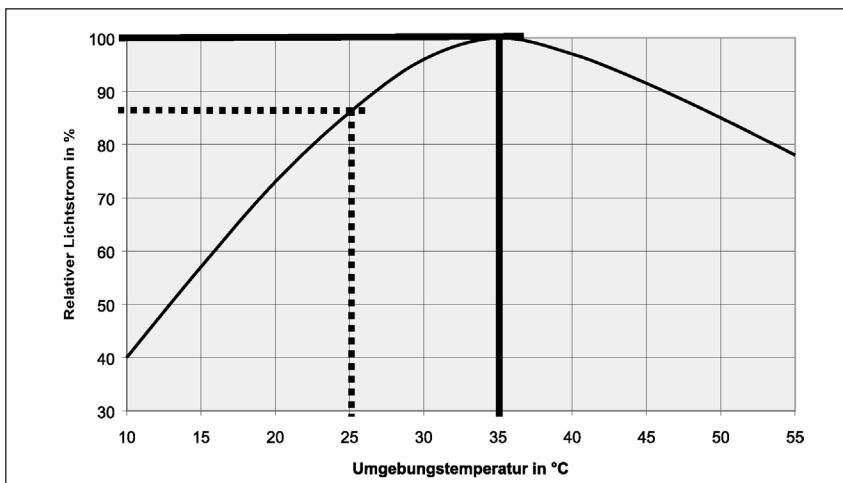


Bild 2: Referenztemperatur für den Lampen-Nennlichtstrom von TL5-Leuchtstofflampen (Prinzipdarstellung):

————— 35°C entsprechend dem definierten elektrischen Betriebszustand und maximalen Lichtstrom

..... 25°C entsprechend der Meßtemperatur

daraus folgenden Konsequenzen für den Leuchtenwirkungsgrad und die Beleuchtungsplanung. Auch wenn beide Nennlichtstrom-Varianten Definitionsmängel (s.o.) aufweisen, prekär wurde dieser Mangel erst durch unterschiedliche Produkt-Darstellungen und Empfehlungen der Lampenhersteller zur Bestimmung des Leuchtenwirkungsgrades und der Beleuchtungsplanung. So orientierte sich Philips an der Referenztemperatur 35 °C und in deren Umsetzung auf die Ermittlung eines Leuchtenarbeitswirkungsgrades von 35 °C und einen Planungslichtstrom von 35 °C. Osram hingegen orientierte sich an einer Referenztemperatur von 25 °C und in deren Umsetzung auf einen Leuchtenbetriebswirkungsgrad von 25 °C und einen Planungslichtstrom von 25 °C.

Wer sich als Anwender konsequent innerhalb einer Empfehlungslinie bewegt, kommt damit zu richtigen Planungsergebnissen, bei der Osram-Variante jedoch nur, falls der Vorschaltgeräte-Lichtstromfaktor $BLF = 1$ ist. Von einer Angebotsgleichheit kann jedoch überhaupt nicht die Rede sein. So ist der Leuchtenwirkungsgrad für 35 °C, d.h. bezogen auf den Lampenlichtstrom für 35 °C, prinzipiell geringer als der Leuchtenwirkungsgrad für 25 °C, d.h. bezogen auf den Lampenlichtstrom für 25 °C, und zwar um den Anteil, den der Lampenlichtstrom bei 25 °C geringer ist als bei 35 °C. Berücksichtigend, daß Philips mit dem Leuchtenarbeitswirkungsgrad für 35 °C den Vorschaltgeräte-Lichtstromfaktor integriert, ergibt sich immer noch ein um bis zu 10 % geringerer Leuchtenwirkungsgrad als bei dem Leuchtenbetriebswirkungsgrad für 25 °C. Ohne Berücksichtigung desselben ergeben sich sogar Differenzen um bis zu 18 %. Allen Zahlenwerten liegt jedoch eine erhebliche Unsicherheit zugrunde, da die Referenzdaten für den Lampenlichtstrom für 25 °C auf unterschiedlichen individuellen Definitionen des elektrischen Betriebszustandes für 25 °C beruhen.

3. Zukünftige Präsentation der TL5-Lampe

Ursache des beschriebenen Mißstandes in der Präsentation der TL5-Lampe und ihren Anwendungen bis zur Beleuchtungsplanung mit erheblicher Marktverunsicherung ist die Definition der Lampe für eine Referenztemperatur von 35 °C in IEC 60 081, die die vorhandenen Realitäten in Anwendungen und Standards schlicht ignorierte. Die Reaktionen des Marktes haben nunmehr dafür gesorgt, die Lampe neu zu definieren für die Referenztemperatur 25 °C. D.h. die Lampe wird in ihren elektrischen Betriebsbedingungen für eine Umgebungstemperatur von 25 °C in IEC 60 081 neu definiert. Daraus ergibt sich konsequenterweise, die Nennlichtströme der TL5-Lampen für diese Referenztemperatur in den Katalogen ausschließlich anzugeben und bei der Beleuchtungsplanung zu nutzen. Es wird damit die allgemein gebräuchliche Meß- und Planungspraxis auch für die TL5-Lampen angewandt.

Um eine richtige Anwendung der TL5-Lampen zu ermöglichen, werden die Anwender, insbesondere die Leuchtenhersteller als entscheidende Beeinflusser des lichttechnischen Gesamtergebnisses und des Erfolgs der Lampe, über die spezifischen Eigenschaften der TL5-Lampen, vor allem ihren gegenüber der TL8-Lampe geänderten Lichtstrom-Temperaturverlauf mit entsprechenden Leuchtenbauempfehlungen informiert. Hierzu gehören auch die erreichbaren maximalen Lichtströme der TL5-Lampen bei optimalem Temperaturregime in der

Leuchte. Der hierfür verantwortliche elektrische Betriebszustand der Lampe für 35 °C wird ebenfalls – jedoch informativ – in IEC 60 081 angegeben werden. Aufgrund der Tatsache, daß die in der Leuchte erzielbaren maximalen Lichtströme deutlich größer sind als die Nennlichtströme, sind nunmehr auch Leuchtenwirkungsgrade größer als 1 erzielbar. In Tab. 1 sind die neuen Nennlichtströme und die maximal erreichbaren Lichtströme angegeben.

Lampentyp	Nennlichtstrom in lm	Max. Lichtstrom in lm
HE 14W	1.200	1.350
HE 21W	1.900	2.100
HE 28W	2.600	2.900
HE 35W	3.300	3.650
HO 24W	1.750	2.000
HO 39W	3.100	3.500
HO 54W	4.450	5.000
HO 49W	4.300	4.900
HO 80W	6.150	7.000

Tab. 1: Lichtströme der TL5-Lampen auf Basis des (neu) definierten Betriebszustandes für die Referenztemperatur 25 °C

Als Wunsch an die Lampenhersteller sei hier vermerkt, daß es wünschenswert wäre, diese praxisorientierte Neudefinition der TL5-Lampen zum Anlaß zu nehmen, auch weitere Lampendefinitionen in ihren IEC-Standards praxisgerecht zu reformieren wie z.B. für zweiseitig gesockelte Halogenmetaldampfampfen durch Wegfall der Hilfsleuchtenmessung.

4. Einfluß des Vorschaltgerätes auf das Lichtstrom-Temperaturverhalten der TL5- Lampe

Zu den Konstruktionseigenheiten der TL5-Lampe gehört, daß wegen des kleineren Rohrdurchmessers die kälteste Stelle von der unteren Entladungsmitte bei TL8-Lampen in den vergrößerten Totraum einer Elektrode (mit Stempelaufdruck versehene Lampenseite) verlegt wurde. Daraus ergibt sich eine bei TL8-Lampen unbekannte Abhängigkeit der Temperatur der kältesten Stelle von den Heizströmen der Elektroden.

Da aufgrund der hohen Lampenspannung im Verhältnis zur gebräuchlichen Netzspannung eine passive Strombegrenzung ausscheidet, werden die TL5-Lampen ausschließlich mit elektronischen Vorschaltgeräten betrieben. Dadurch wird jedoch die Fremdheizung der Elektroden greifbare Realität, insbesondere bei Betrieb der Lampen mit Warmstart-EVG wie sie für die Erzielung hoher Lebensdauern bei vorhandenen Schaltzyklen erforderlich sind.

Jede Elektrodenfremdheizung durch das verwendete EVG wird im Vergleich zum Betrieb mit dem Referenzvorschaltgerät zwangsweise zu einer Erhöhung der Temperatur der kältesten Stelle und damit zu einer Verschiebung des Licht-

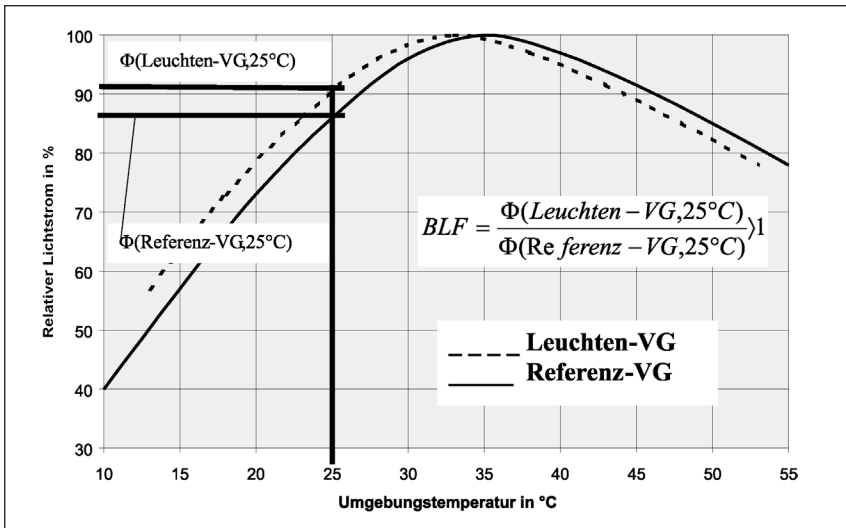


Bild 3: Prinzipieller Einfluß der Elektroden-Fremdheizung auf die Lichtstrom-Temperatur-Abhängigkeit und den Vorschaltgeräte-Lichtstromfaktor

strommaximums der Lampe zu kleineren Temperaturen als 35 °C führen. Damit verbunden ist eine gleichzeitige Erhöhung des 25 °C-Lichtstroms der EVG-betriebenen TL5-Lampe. Dies führt i.a. wiederum zu einem Vorschaltgeräte-Lichtstromfaktor größer 1 (siehe Bild 3).

Grundsätzlich stellte ein solches Verhalten jedoch eine Abkehr von der Zielstellung der TL5-Lampe dar, in dem Wärmestau der Leuchte ihr Lichtstrommaximum zu erreichen. Deshalb sei hier ausdrücklich herausgestellt, daß es zur Erhaltung der gewünschten Lampencharakteristik hinsichtlich ihres Lichtstrom-Temperaturverhaltens zwingend geboten ist, tatsächliche Cut-off-Vorschaltgeräte zu verwenden, die nach dem Zünden der Entladung keinen Heizstrom mehr fließen lassen – auch wenn selbiger die Lebensdauer der Lampe fördert. Bei Einsatz von Vorschaltgeräten mit hinlänglich größerem Vorschaltgeräte-Lichtstromfaktor als 1 empfiehlt sich dessen Berücksichtigung durch Angabe des Leuchtenarbeitswirkungsgrades.

5. Zusammenfassung

Die TL5-Lampen und Leuchten werden z.Zt. im Markt uneinheitlich präsentiert. Die Fakten und Gründe hierfür werden dargelegt, desgleichen die Auswirkungen auf die Beleuchtungsplanung. Der beschrittene Weg zur einheitlichen Produktdarstellung und Angebotsgleichheit sowie Beleuchtungsplanung, die Neudefinition des elektrischen Betriebszustandes für die Referenztemperatur 25 °C in IEC 60 081, wird mit seinen Auswirkungen aufgezeigt. Darüber hinaus wird die Bedeutung von Cut-off-Vorschaltgeräten zur Gewährleistung des gewünschten Lichtstrom-Temperatur-Verhaltens der TL5-Lampen dargelegt.

Lichtsysteme mit durchstimmbaren Leuchtdichten

Ottokar Schütz

Durch die T16-Lampen ist es zum ersten Mal möglich, eine dünne zylindrische Lichtquelle zu nutzen, um eine gute Lichtlenkung zu erreichen. Dies hat zur Folge, daß man kleinere Leuchten bauen könnte.

Dieser positive Effekt wird durch folgenden negativen Aspekt tangiert: Die T16-Lampe ist pro Längeneinheit erheblich wärmer als die 26-mm-Lampe. Dies führt zu einer stärkeren Aufheizung des Leuchteninnenraumes bei der dünneren Lampe. Damit könnte der Vorteil der besseren Lichtlenkung, nämlich kleinere Leuchten zu bauen, durch das nötige größere Volumen kompensiert werden.

Wir zeigen einen Weg auf, wie beide Aspekte kombiniert werden können und man so zu Lichtsystemen mit durchstimmbaren Leuchtdichten gelangen kann.

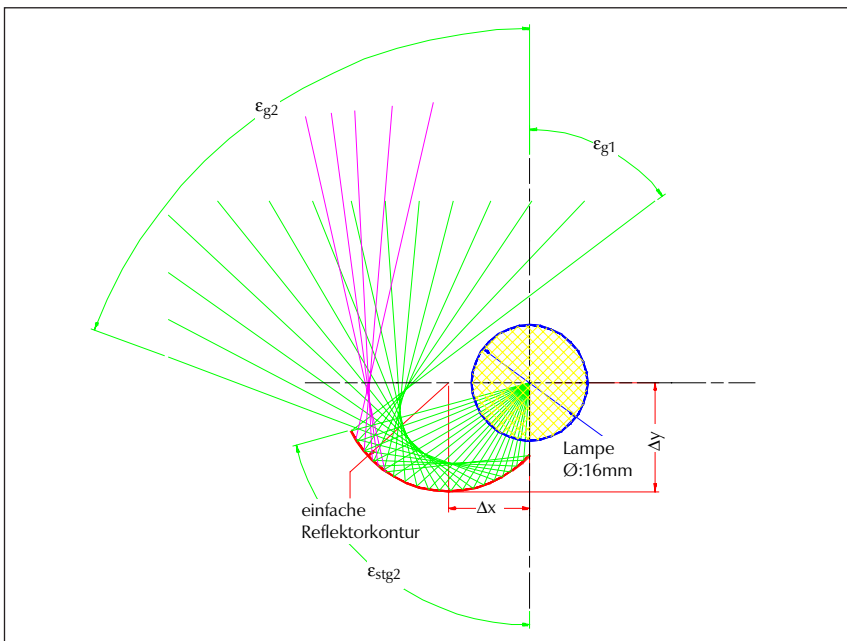


Fig. 1: Lichtlenkung bei einer 16-mm-Lampe

Dr.-Ing. Ottokar Schütz
Lighting Innovation Center AG
Mühlenstraße 28
CH-8200 Schaffhausen

Die Frage, wie man einen Vorteil erhält ohne einen anderen Nachteil in Kauf nehmen zu müssen, mündet letztendlich in die Frage, welche Leuchte hat die perfekte Lichtlenkung und gleichzeitig einen Luftaustausch, um so die Innenraumtemperatur nicht zu erhöhen.

In der Skizze zeigen wir auf, daß die T16-Lampen-Ausführung gegenüber der T26-Lampen-Ausführung um die Durchmesserverkürzung (vertikale Maße) „höher“ und (horizontale Maße) „breiter“ wird. Im gezeigten Fall beträgt die Vergrößerung mindestens 62,5 %. Dabei wirkt die horizontale Vergrößerung optisch viel wichtiger als die vertikale. Damit können wir mit der T16-Lampe erheblich kleiner bauen.

Die Aufheizung, die durch die Temperaturerhöhung entsteht, wird durch eine gezielte Zirkulation kompensiert. Dabei wird einfach Sorge getragen, daß das Gehäuseoberteil und das Gehäuseunterteil einen Luftaustausch mit der Umgebung gestattet. Kurzum:

Die Lösung führt zur atmenden Leuchte. Dabei ist die Form der Leuchte weitgehend funktional bestimmt. In Fig. 2 ist eine solche Leuchte in ihrer Prinzipskizze dargestellt.

Insgesamt gelangen wir damit zu einer Ausführung, die folgende Grundideen umsetzt:

1. Räume für Bürobeleuchtung werden dominant indirekt beleuchtet. Dabei wird eine breitstrahlende, effektive Beleuchtung gewünscht. Diese Breitstrahl-

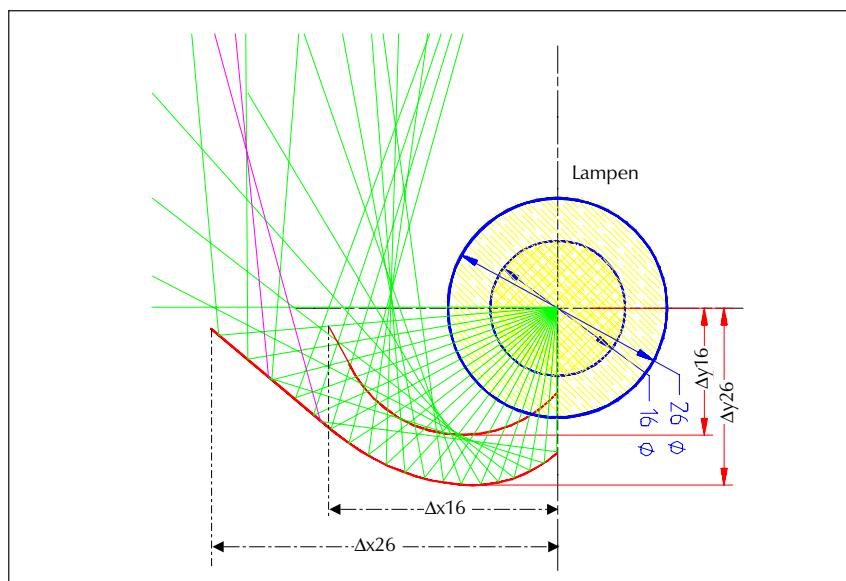


Fig. 2: Lichtlenkung bei einer 16-mm-Lampe und bei einer 26-mm-Lampe im direkten Vergleich

charakteristik wird durch einen Hochglanzreflektor erzeugt, dessen Geometrie um die Lampe so angelegt ist, daß beide Kriterien erfüllt sind.

2. Der Direktanteil der Leuchte erzeugt die im Gesichtsfeld wahrgenommene Leuchtenleuchtdichte. Um diese einerseits auf ein erträgliches Maß zurückzuführen, andererseits aber den eigentlichen Leuchtenkorpus auch nicht dunkel erscheinen zu lassen, wird ein perforierter Reflektor verwendet, dessen Perforationen ergänzend durch reflektierende Folien verändert werden können.

Durch beide Maßnahmen gibt es folgende adaptierbare Größen:

2.1 Die Perforation, über Anzahl und Lochgröße.

2.2 Die Reflexions- bzw. Transmissionseigenschaften der Folie.

2.3 Die Farbgebung der Folie zu der Lampe entgegengesetzten Seite.

Durch die Kombination dieser drei Elemente wird nun sichergestellt, daß bei gleicher Außengeometrie des Leuchtenkorpus diese Parameter leicht austauschbar sind, damit das optische Erscheinungsbild und die Leuchtenleuchtdichte durchstimmbare verändert werden können.

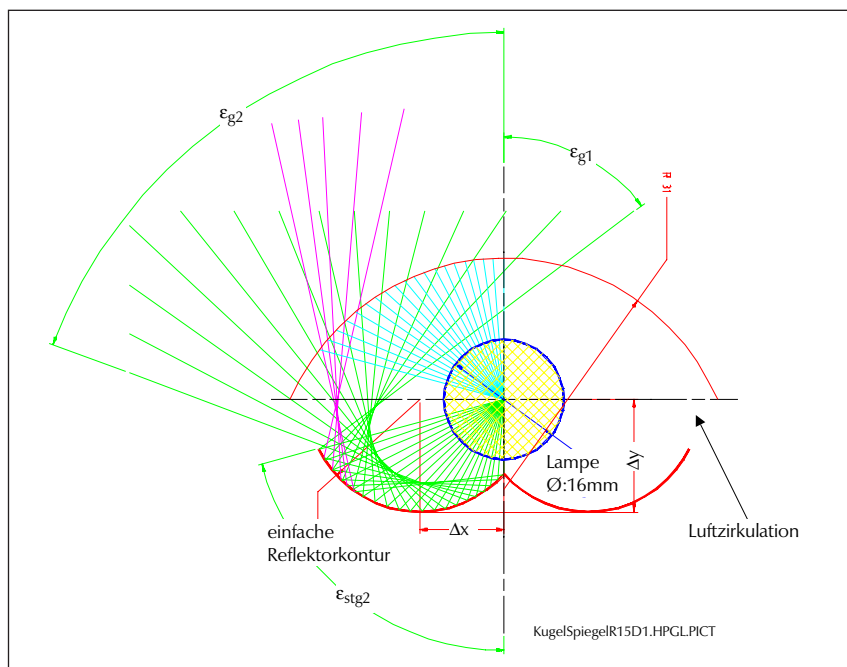
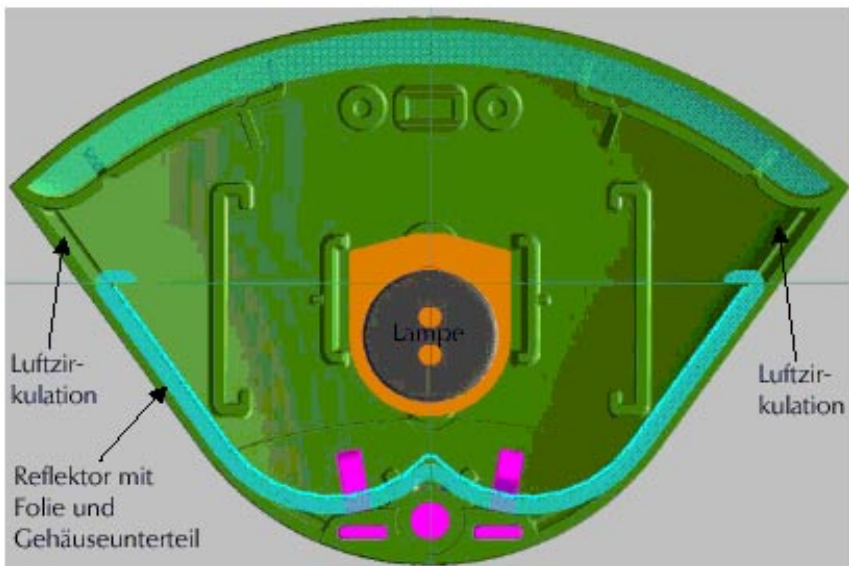
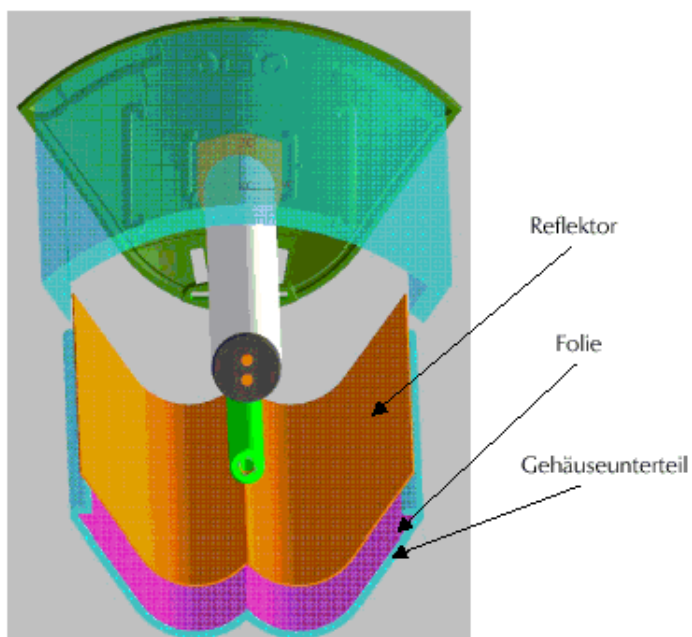


Fig. 3: Die atmende Leuchte



Figur 4: Schnitt durch eine atmende Leuchte



Figur 5: 3D-Darstellung einer atmenden Leuchte

Der Einsatz von Leuchtstofflampen heute und in der Zukunft

– Berücksichtigung von anwendungsorientierten Problemlösungen bei der Lampenentwicklung –

Christian Bücken

Seit der Einführung der Leuchtstofflampe vor 64 Jahren hat die Entwicklung große Schritte in Richtung anwendungsorientierter Lampen gemacht. So hat sich der Durchmesser der Leuchtstofflampen bekanntlich von zunächst 38 mm auf 26 mm und schließlich vor 5 Jahren auf 16 mm verkleinert. Energie- und Materialersparnis gingen dabei einher mit dem Einsatz in immer mehr Applikationsfeldern. Ebenso war der Übergang von Standard-Lichtfarben auf Super 80-Lichtfarben mit hoher Farbqualität ein weiterer Baustein für den großen Erfolg der Leuchtstofflampe. Neben diesen Fortschritten durch konsequente Weiterentwicklung der Lampenkomponenten und Fertigungstechnik hat es daneben stets Leuchtstofflampen für spezielle Anwendungen gegeben. Hier sei an die Leuchtstofflampe TL-M für niedrige Temperaturen wie z.B. in Kühlhäusern oder die Leuchtstofflampe TL-X für explosions- und schlagwettergeschützte Leuchten erinnert.

Mit der Einführung der 26-mm-Leuchtstofflampe und dem zunehmenden Einsatz in der Büro- und Industriebeleuchtung konzentrierte sich auch die anwendungsspezifische Lampenentwicklung auf diesen Lampentyp. Insbesondere Philips hat diesen Weg konsequent weiterverfolgt und die Anforderungen von Anwendern verstärkt bei der Lampenentwicklung berücksichtigt und solche Produkte auf den Markt gebracht, die für spezielle Anwendungen und Problemstellungen die beste Lösung darstellen.

Typischerweise werden anwendungsspezifische Anforderungen durch das entsprechende Design der Leuchte gelöst. Beispiele sind Lichtbündelung, gezielte Lichtlenkung und sämtliche Schutzmechanismen, die vom Anwender entweder aufgrund bestehender Vorschriften oder sonstiger ökologischer oder ökonomischer Zwänge eingebaut werden müssen. Auch in Zukunft wird dieses Vorgehen gültig sein. Trotzdem gibt es oft Situationen, bei denen ein entsprechendes Lampendesign entscheidend zur Problemlösung beitragen oder sie sogar übernehmen kann. Offensichtlich ist dies z.B. bei vorhandenen Leuchten, die die gestellten Anforderungen aufgrund von geänderter Raumnutzung, verschärften Vorschriften oder Alterungsprozessen und Verschmutzung nicht mehr erfüllen können.

Im folgenden sollen einige der anwendungsspezifischen Anforderungen dargestellt werden, die durch das Lampendesign erfüllt oder unterstützt werden können.

Dipl.-Ing. Christian Bücken
Philips Licht
Steindamm 94
D-20099 Hamburg

1. Fremdpartikel in Lebensmitteln

Immer wieder wird in der Presse von Fremdpartikeln in Lebensmitteln berichtet, die den Verzehr von Speisen zu einem gesundheitsgefährdenden Unterfangen machen können. Beispiele der jüngsten Vergangenheit waren Metallteile, Plastikstücke und Glassplitter in Backwaren sowie Süßspeisen. Neben dem gesundheitlichen Schaden für den Konsumenten entstehen in der Regel hohe Kosten und Umsatzeinbrüche für den Hersteller durch Schadensersatzforderungen und Imageverlust.

Da in der Lebensmittelproduktion zu einem wesentlichen Anteil Leuchtstofflampen eingesetzt werden, geht auch von zersplitterten Leuchtstofflampen ein Gefährdungspotential aus. Ursache für die Zersplitterung sind u.a. Fall aus großen Höhen und fehlerhafte Handhabung.

Diesem Gefährdungspotential trägt die TL-D SECURA von Philips Rechnung. Ein Überzug aus dem von der Firma Dupont entwickelten Material Surlyn verhindert, daß bei der Zersplitterung der Lampe Glaspartikel austreten. Dabei ist es besonders wichtig, daß auch die Endkappen durch eine zusätzliche Ummantelung geschützt werden. Ohne die zusätzliche Ummantelung können die Endkappen im Schadensfall abfallen und die Glaspartikel entweichen.

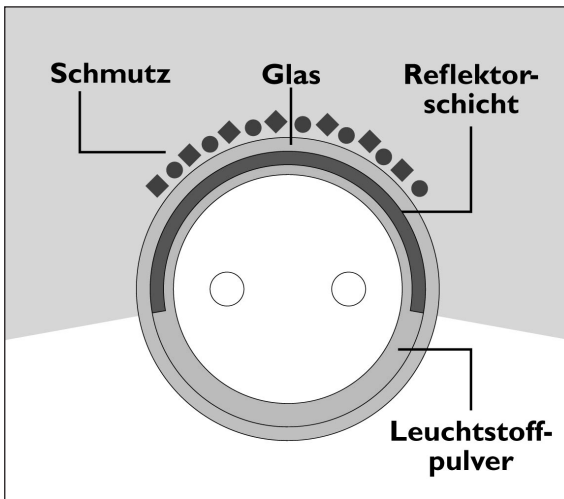


Abbildung 1

Die TL-D SECURA übersteht einen Fall aus 14 m (18 W) bzw. 7 (36 W) und 6 m (58 W), ohne Glaspartikel an die Umgebung freizugeben. Der Lichtstrom ist durch die Ummantelung um nur max. 4,5 % reduziert. Zusätzlich absorbiert der Schutzüberzug den Anteil an UV-A und UV-B um 95 %.

2. Fehlender oder unzureichender Reflektor

Besonders in Industrie- und Lagerhallen werden Beleuchtungsanlagen

aus Kostengründen extrem lange betrieben. Häufig findet man in einfachen Anwendungen auch freistrahkende Schienenleuchten oder solche, deren Reflektor durch Alterungsprozesse seine ursprüngliche Funktionalität eingebüßt hat. Eine unzureichende Beleuchtung oder das kostspielige Auswechseln der Beleuchtungsanlage bzw. Reinigen ist die Folge. Eine kostengünstige Alternative hierzu ist die TL-D Reflex von Philips. Die TL-D Reflex zeichnet sich dadurch aus, daß auf der Innenseite des Glasrohrs auf einem Winkel von 180° eine reflektierende Schicht angebracht ist (s. Abbildung 1).

Diese Reflektorschicht bewirkt, daß die ursprünglich rotationssymmetrische Lichtverteilung zugunsten eines gerichteten Lichtstroms verändert ist (s. Abbildung 2).

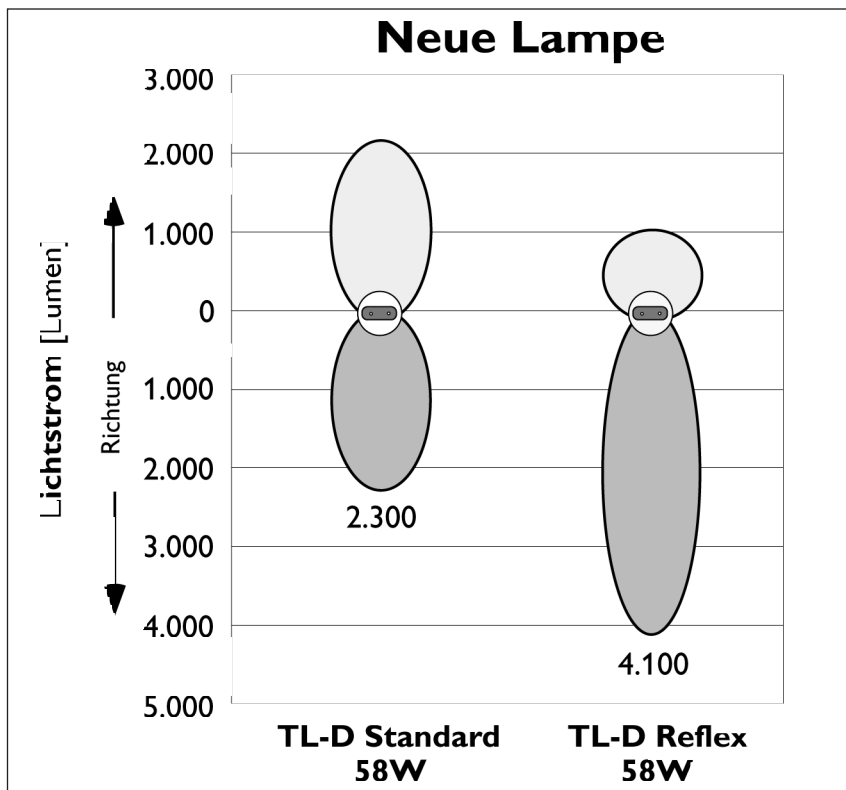


Abbildung 2

Mit der TL-D Reflex ist es also möglich, kostengünstig und wirksam ältere Beleuchtungsanlagen aufzuwerten oder sogar die Effektivität moderner Beleuchtungsanlagen zu erhöhen.

3. Gerichtete Lichteinspeisung

Der Trend zur einfachen und doch ästhetischen Beleuchtung hat auch vor den Herstellern von Notleuchten oder Werbetafeln nicht Halt gemacht. Die eleganten „grünen Männchen“ im Reichstag sind nur ein Beispiel hierfür. Das Prinzip dieser Leuchten ist immer das Gleiche. Licht wird stirnseitig in eine Acrylplatte eingespeist und beleuchtet farblich gestaltete Flächen (z.B. Notleuchtenmotiv) an einer Seite der Acrylplatte. Es ist offensichtlich, daß Licht, welches nicht in die Acrylplatte gespeist wird, bestenfalls verloren geht, wenn es nicht sogar unerwünschte Lichteffekte hervorruft. Ein stark gerichtetes Licht ist somit die beson-

dere Anforderung in dieser Applikation. Eine einfache, jedoch sehr effektive Lösung bietet hier die 16-mm-Leuchtstofflampe TL-Mini Aperture (8 W und 13 W). Ähnlich dem Verfahren bei der TL-D Reflex ist auch die TL-Mini Aperture zusätzlich mit einer reflektierenden Schicht an der Innenseite des Glaskolbens ausgestattet (s. Abbildung 3).

Im Gegensatz zur TL-D Reflex ist hier jedoch die reflektierende Schicht über einen Winkel von 310° ausgeführt. Auf den restlichen 50° bleibt das Glasrohr für den gezielten Lichtaustritt klar. Hieraus resultiert eine um das 4- bis 5-fache erhöhte Leuchtdichte auf einem Winkel von 50°. Der Winkel von 50° ist so gewählt worden, daß der Nutzen für die Zielapplikation am höchsten ist. Je nach Abstand der Lampe von der Acrylplatte läßt sich Licht optimal in Platten ab 4mm Dicke einspeisen, ohne daß Licht verloren geht.

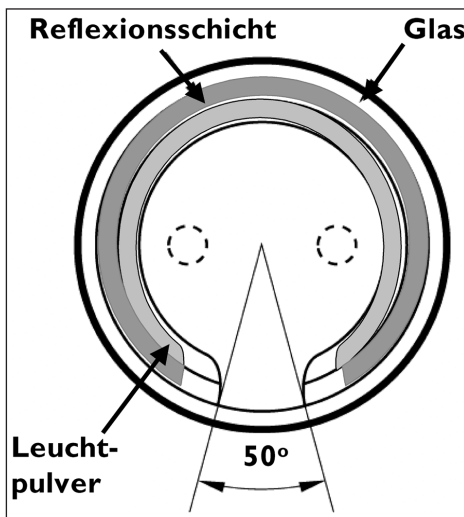


Abbildung 3

4. Temperaturabhängigkeit des Lichtstroms

Es ist hinlänglich bekannt, daß Leuchtstofflampen eine optimale Betriebstemperatur aufweisen, ober- und unterhalb derer der Lichtstrom abnimmt. Bei 26-mm-Leuchtstofflampen und Kompaktleuchtstofflampen liegt dieser Punkt bei ca. 25 °C Umgebungstemperatur. In Innenraumleuchten und besonders in Downlights liegt die Umgebungstemperatur jedoch deutlich höher und die Folge ist ein suboptimaler Betrieb der Beleuchtungsanlage. Diesem Umstand ist bereits bei der Entwicklung der 16-mm-Leuchtstofflampe TL-5 Rechnung getragen worden. Eine Verlagerung der kühlfsten Stelle hinter eine der beiden Elektroden sorgt dafür, daß der optimale Betriebspunkt bei einer Umgebungstemperatur von ca. 35 °C liegt.

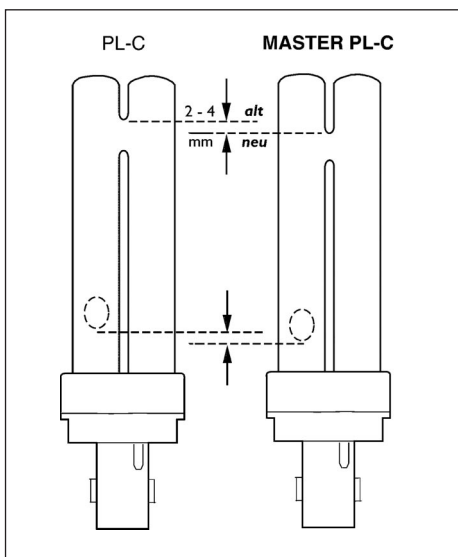


Abbildung 4

Ein ähnliches Verfahren ist bei der Kompaktleuchtstofflampe Master PL-C zur Anwendung gekommen. Bei diesem Lampentyp liegt die kühlsste Stelle des Entladungsrohres am oberen Ende (s. Abbildung 4).

Es ist nun ein wesentliches Merkmal der von Philips entwickelten und patentierten Brückentechnologie, daß eine Verschiebung des Verbindungsstückes (Brücke) zwischen den Entladungsrohren die Temperatur der kühlssten Stelle verändert. Je weiter diese Kühlsstelle von der Entladungsstrecke entfernt ist, desto kühler wird dieser. Intensive Tests haben ergeben, daß eine Verschiebung der Brücke um ca. 2–4 mm (je nach Lampenleistung) eine optimale Verbesserung des Lichtstroms bewirkt. Bei Temperaturen deutlich über 25 °C wird eine Steigerung des Lichtstroms um bis zu 8 % erzielt. Da gerade in Downlights, die ein Hauptanwendungsgebiet dieser Kompaktleuchtstofflampen sind, Temperaturen von weit über 80 °C herrschen können, ist diese Entwicklung der Master PL-C ein entscheidender Schritt in Richtung verbesserter Effizienz der Beleuchtungsanlage.

Die oben aufgeführten Beispiele haben gezeigt, daß anwendungsorientierte Lampenentwicklung einen bedeutenden Beitrag zur Funktionalität einer Beleuchtungsanlage und deren effizienten Betrieb leisten kann.

Aufgrund der Tatsache, daß Leuchtstofflampen große Vorteile bei Effizienz (Lichtausbeute), Lichtqualität, Preis und Vielfalt haben, bilden sie heute in der Praxis das größte Segment der Entladungslampen. Mit der Einführung der TL-5 Leuchtstofflampen wurde deutlich, daß die Entwicklung der Leuchtstofflampe nicht stehenbleibt. In Zukunft ist zu erwarten, daß weitere anwendungsspezifische Lampen präsentiert werden können.

Neue Anwendungen von Leuchtdioden

Udo Fischer, Ralf Haback, Fritz Klaiber

Größere Lichtströme, steigende Lichtausbeute, fallende Preise und das stark zunehmende Angebot weiß leuchtender LED kennzeichnen den Fortschritt auf dem Gebiet der Anwendungen von Leuchtdioden. Es sind vor allem lineare Reihungen, die zur Beleuchtung von Displays und Lichtwerbeanlagen verwendet werden. Gleichmäßige Bestückung großer Flächen oder gar die Beleuchtung von Räumen sind derzeit noch experimentelle Ausnahmen, werden jedoch bei Anhalten der Entwicklungstendenzen der jüngsten Vergangenheit sicher sehr bald möglich sein.

Es gibt bereits einige Tankstellen-Ketten, die für die Kennzeichnung der Dächer ihrer Stationen durch farbige Linien statt der bisher verwendeten (Hochspannungs-) Leuchtstoffröhren beispielsweise Lightline-Profile aus farbigem Acryl-SATINÉ einsetzen, die mit OSALITE Lichtleisten (siehe Abb. 1) der betreffenden Farbe bestückt sind. Dieses stark lichtdurchlässige und dabei gut lichtstreuende, spezielle Acrylglas schafft eine gleichmäßige Ausleuchtung; die Lage der einzelnen LED ist nicht mehr erkennbar. Vorteilhaft wirken sich hierbei die typischen Eigenschaften der LED aus:

- extrem lange Lebensdauer von > 100 000 h,
- Wartungsfreiheit,
- geringe Bruchgefahr,
- geringer Stromverbrauch,
- vergleichsweise hohe Lichtausbeute,
- vergleichsweise hoher Leuchtenwirkungsgrad,
- deutlich geringerer Anschlußwert,
- günstige Temperaturabhängigkeit,
- wenig Wärmeentwicklung und
- Betrieb mit Sicherheits-Kleinspannungen (12 oder 24 V=).

Die im wesentlichen zylindrischen Profile sind wasserdicht und lassen sich schnell montieren (Abb. 1).

Rundstäbe mit parallel zur Achse eingesetzten LED wirken als Zylinderlinsen, die durch Lichtausstrahlung in begrenzte Richtungsgebiete auch bei Tage gut erkennbare Warnsignale darstellen (Abb. 2 und 3).

Dr.-Ing. Udo Fischer
Am Steg 17, D-64297 Darmstadt

Ralf Haback
OSAL Lichttechnik GmbH & Co KG
Köpenicker Straße 325, Haus 201, D-12555 Berlin,

Dipl.-Ing. Fritz Klaiber
BWF Kunststoffe GmbH & Co KG
Bahnhofstraße 20, D-89362 Offingen

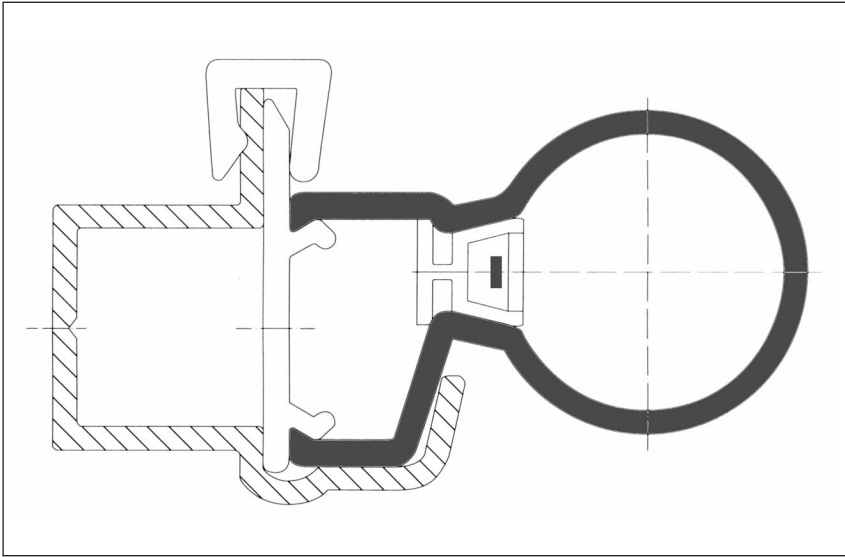


Abb. 1: LIGHTLINE-Profil aus ACRYL SATINÉ mit integrierter OSALITE Lichtleiste, Kabelkanal und Wandbefestigung

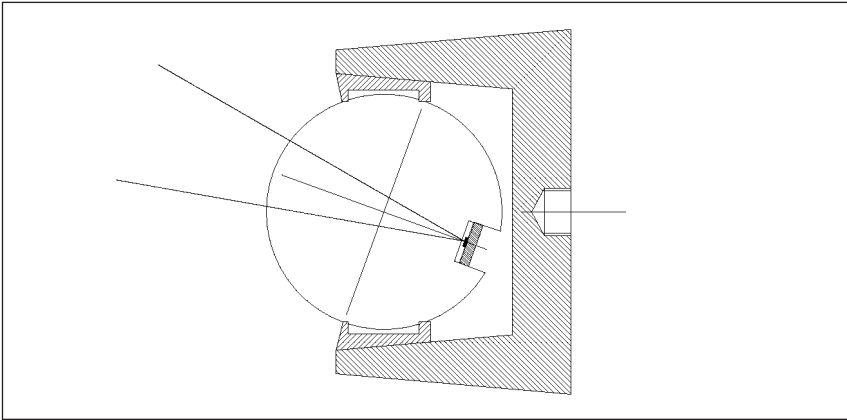


Abb. 2: Denkbare Befestigung einer zusätzlichen Warnbeleuchtung an Leitplanken

In Berlin gibt es erste Bahnhöfe mit LED-bestückten Bahnsteigkanten, die bei der Annäherung eines Zuges zu blinken anfangen, um die Fahrgäste zu warnen. Treppenstufen mit LED-beleuchteten Kanten in Theatern usw. stellen ähnliche Anwendungen dar.

Zur Befestigung an recht unterschiedlichen Konstruktionen werden OSALITE-Lichtleisten angeboten. Dabei handelt es sich um mit LED bestückte Leiterstrei-

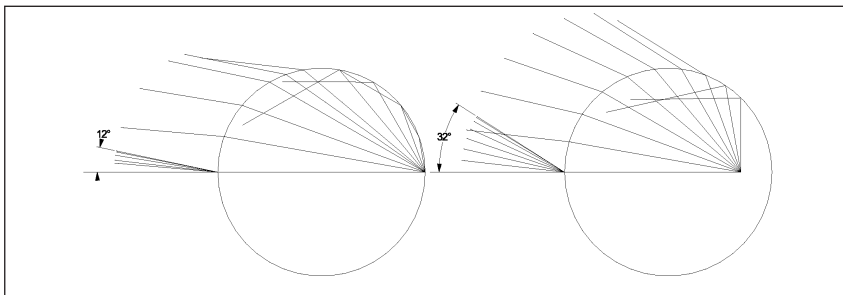


Abb. 3: Mit zunehmender Tiefe der Nut nimmt der Winkel des Ausstrahlungsbereichs zu

fen, die – gegen äußere Einflüsse abgedichtet – in weiß/farblos koextrudierte Hohl-Profile aus Polycarbonat eingebracht sind (Querschnitt 8 x 8 mm; siehe auch Mitte der Abb. 1).

Seitlich abstrahlende LED, die gemeinsam auf einem Leiterstreifen befestigt werden, erlauben es, die Dicke von kantenbeleuchteten Displays auf weniger als 3 mm zu reduzieren. Somit werden sehr viele handelsübliche Rahmenprofile tauglich zur Herstellung besonders dünner Displays. Die Information wird dabei auf lichtleitenden, meist aus Acrylglas bestehenden Platten durch Gravieren, Bedrucken oder Aufkleben von Folien aufgebracht; auch das gleichmäßige Durchleuchten aufgelegter, durchscheinender Informationsträger ist möglich.

OSAFLEX sind biegsame Leiterstreifen mit LED. Sie erlauben die einfache Bestückung auch von sehr engen Reliefkörpern, wie sie beim Aufbau von Lichtwerbeanlagen aus einzelnen Buchstaben verwendet werden. Werden solche Reliefkörper mit Leuchtstoffröhren gebaut, so müssen aus Sicherheitsgründen Mindestabstände zwischen Elektroden und Wandung eingehalten werden, so daß die Strichstärke der Buchstaben kaum unter ca. 50 mm liegen kann. Diese Einschränkungen entfallen natürlich beim Einsatz von LED bei Betrieb mit Sicherheits-Kleinspannung; filigranere Schriften werden möglich. Die zwar noch recht niedrige Lichtausbeute der LED ist in vielen Fällen durchaus größer als die mancher stark farbiger Leuchtstoffröhren. Der Lichtstrom hat nur eine kleine abstrahlende Spiegel-Fläche von Reliefkörpern zu erhellen. Das Material hat für die jeweilige Farbe meist einen relativ hohen Transmissionsgrad. Deswegen ist trotz geringerer, auf die Länge bezogener Leistung zumindest bei kleineren Reliefkörpern die übliche bzw. notwendige Leuchtdichte von wenigstens 50 bis 100 cd/m² ohne weiteres erreichbar.

Die OSAFLEX-Streifen oder auch dünne, biegsame Leiterstreifen mit seitlich abstrahlenden LED lassen sich auch in thermisch geformte Buchstaben aus gut transmittierenden und dabei stark streuenden Rundstäben aus Acryl SATINÉ in rückseitig gefräste Nuten einlegen (Abb. 4). Die Wirkung entspricht der von offen montierten Leuchtstoffröhren.

Moderne elektronische Bauelemente erlauben bei Verwendung von Drei-Farben-LED („Rot + Grün + Blau“) die Einstellung beliebiger Lichtfarben oder auch einen kontinuierlichen Farbwechsel. Miniaturisierte Schaltungen, die ohne besonderen Platzbedarf auf dem jeweiligen Leiterstreifen aufgebracht werden, ermöglichen Blinken, Schwellen, Lauflicht usw.

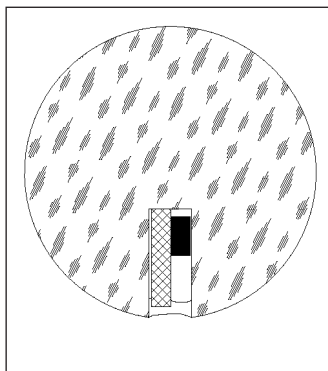


Abb.4: Seitlich – hier nach oben – abstrahlende LED in Acryl SATINÉ-Rundstab

Vorwärtsstreuende SATLITE-Platten geben den in die Kanten eingestrahlt Lichtstrom über die Fläche gleichmäßig verteilt wieder ab. Werden LED bereits in die Kanten solcher Platten eingearbeitet, so erhält man anschlussfertige SATINOSA-„Flächenlampen“. Sie können zur Durchleuchtung von lediglich aufzulegenden Informationsträgern (Fahrpläne, Praxis-schilder, Bilder, Werbeschilder usw.) dienen. Rückseitig unterlegt man sie bei einseitiger Abstrahlung mit stark reflektierendem Material. Leuchtende Schilder von 10 mm Gesamtdicke und bis zu 500 mm Breite sind so ganz einfach darstellbar. Dabei werden Leuchtdichten von 50 bis 100 cd/m² erreicht (Abb. 5).

Nach diesem Prinzip lassen sich auch leuchtende Fassaden schaffen, wobei allerdings meist aus baurechtlichen Gründen (Brandsicherheit) spezielle, wenig Licht absorbierende Glassorten zum Einsatz kommen müssen.

Wegen des geringen Stromverbrauchs eignen sich mit LED beleuchtete Schilder besonders gut auch in solchen Fällen, wo ein Kabelanschluß unwirtschaftlich wäre, denn mit relativ geringem Aufwand lassen sie sich photovoltaisch betreiben. Sie erhalten nachts ihren Strom von einer Batterie, die am Tage durch Photoelemente aufgeladen wurde.



Abb. 5: Durchleuchtung einer bedruckten, weißen Folie mit einer SATINOSA-„Flächenlampe“

Multilampen-EVG für den Betrieb von 17 verschiedenen Leuchtstofflampen

Sören Kaizik, Bernhard Schemmel

1. Einleitung

In den letzten Jahren ist die Anzahl der Leuchtstofflampen-Typen immer weiter angestiegen. Mit der bisherigen Schaltungstechnik ist es nötig, für jeden Lampentyp ein eigenes elektronisches Vorschaltgerät (EVG) zu entwickeln. Hinzu kommt, daß für viele Lampentypen sowohl 1- als auch 2-lampige EVG erwünscht sind, teilweise auch 3- und 4-lampige. Dies führt zu einer unüberschaubar hohen Anzahl an EVG-Typen zum Betrieb des bestehenden Lampenspektrums. Um diese Vielfalt zu reduzieren, wurde der Wunsch nach einem Multilampen-EVG immer stärker. Ziel ist es, ein EVG zu entwickeln, das eine möglichst große Anzahl an Lampen entsprechend der Norm für Arbeitsweise (EN 60 929) betreiben kann.

2. Vorteile des EVG-Betriebs gegenüber dem KVG-Betrieb

Hochwertige elektronische Vorschaltgeräte zum Betrieb von Leuchtstofflampen und Kompaktleuchtstofflampen bieten modernste Technik und Zuverlässigkeit mit dem Ziel, Beleuchtungsanlagen mit Lichtkomfort, Wirtschaftlichkeit und erhöhter Betriebssicherheit zu schaffen. Der hohe Lichtkomfort im Vergleich zu konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) zeigt sich besonders in folgenden Punkten:

- Flackerfreie Zündung
- Angenehmes flimmerfreies Licht ohne Stroboskopeffekte
- Geräuschfrei ohne das lästige Brummen von Drosseln
- Kein Blinken defekter Lampen
- Automatische Wiedereinschaltung nach Lampenwechsel
- Zuverlässige Zündung auch bei tiefen Temperaturen

Aber nicht nur der Lichtkomfort macht den Reiz des EVG aus. Immer mehr an Bedeutung gewinnt die Wirtschaftlichkeit in einer Zeit, in der die Ressourcen knapper werden. Hier zeigen sich deutliche Einsparpotentiale gegenüber den KVG.

- Bis zu 30 % geringere Leistungsaufnahme
- Mehr als 50 % höhere Lampenlebensdauer durch lampenschonenden Betrieb
- Niedrige Wartungskosten
- Reduzierung der Energiekosten für Klimaanlage, Reduzierung der Kühllast

Um diese Werte zu erreichen, muß das EVG hohe Qualitäts- und Zuverlässigkeitsanforderungen erfüllen. Es muß auf die Anforderungen der jeweiligen Lam-

Dipl.-Ing. Sören Kaizik
Dipl.-Ing. Bernhard Schemmel
OSRAM GmbH
Hellabrunner Str. 1
D-81543 München

pen abgestimmt sein, also ein Lampenbetrieb entsprechend der Norm für Arbeitsweise (EN 60 929) ermöglichen. Auch in engen Leuchten unter erhöhter thermischer Beanspruchung muß ein zuverlässiger Betrieb bei hoher EVG-Lebensdauer gewährleistet sein.

Die Lebensdauer eines EVG wird von der Temperatur bzw. der Ausfallrate der elektronischen Bauelemente bestimmt. Überhitzung kann elektronische Komponenten zerstören und zum Ausfall des EVG führen. Um dies zu vermeiden, ist auf dem Gehäuse ein Temperaturmeßpunkt aufgedruckt und daneben der Wert der maximal zulässige Meßpunkttemperatur t_c angegeben. Die t_c -Temperatur steht in einem festen Zusammenhang mit der Bauteiltemperatur und damit der Lebensdauer einzelner Komponenten und auf diese Weise des ganzen Geräts. Bei der Definition der Lebensdauer geht OSRAM von einer Ausfallrate von 10 % aus. Allerdings gilt das nicht bei allen EVG-Herstellern. Oftmals findet man schwächere Definitionen mit höheren Ausfallraten. Um ein Gefühl für die Abhängigkeit der Lebensdauer von der Temperatur zu bekommen, kann man von einem Richtwert ausgehen. Wegen des exponentiellen Zusammenhangs zwischen Temperatur und Ausfallrate der Bauelemente bedeutet eine Erhöhung der zulässigen t_c -Temperatur um 10 °C eine Halbierung der Lebensdauer. Bei einer dauerhaften Unterschreitung der t_c -Temperatur um 10 °C kann dagegen bis zu einer Verdopplung der Lebensdauer ausgegangen werden.

Um eine erhöhte Betriebssicherheit zu gewährleisten, muß das EVG zudem noch einige sicherheitsrelevante Eigenschaften aufweisen. Dazu gehören:

- Sicherheitsabschaltung des EVG bei defekter Lampe
- Einhaltung der internationalen, europäischen und deutschen Normen für Sicherheit, Arbeitsweise und EMV (elektromagnetische Verträglichkeit)
- Schutzschaltung gegenüber kurzzeitigen Spannungsimpulsen (nach VDE 0160, EN 61 000-4-5) und zeitweilig andauernde Überspannung

Der Begriff EMV und die darin enthaltenen Bestimmungen stehen für eine Reihe verschiedener Prüfkriterien. Die wichtigsten, die im Zusammenhang mit elektronischen Vorschaltgeräten eine Rolle spielen, sind leitungsgebundene Funkstörungen, Oberwellengehalt des Netzstroms und Störfestigkeit. Die beiden letzten Punkte werden alleine durch die Qualität des EVG bestimmt.

3. Gründe für ein Multilampen-EVG:

In der Einleitung wurde bereits darauf hingewiesen, daß die bestehende Vielfalt an Leuchtstofflampen der Hauptgrund für die hohe Anzahl von verschiedenen EVG ist. Da die Entwicklung und Zulassung jedes EVG-Typs viel Zeit und Geld kostet, gibt es verständlicherweise den Wunsch, die EVG-Vielfalt zu reduzieren. Diese Reduzierung bringt sowohl für den Hersteller als auch für den Kunden große Vorteile. Durch die Einführung eines Multilampengerätes, das bis zu 20 verschiedene EVG ersetzen kann, ergeben sich enorme Kostenvorteile in der Logistik für den Kunden. Zudem verkürzt sich die Lieferzeit des EVG, was besonders bei termingerechten Bauprojekten ein enormer Vorteil ist.

Ein weiterer Nutzen für den Kunden ist die reduzierte Lagerhaltung. Bisher mußten von jedem EVG-Typ eine ausreichende Menge auf Lager gehalten werden, was enorme Lagerkapazität kostet. Außerdem ist dadurch viel Kapital ertraglos gebunden. Künftig liegen nur noch wenige Multilampen-EVG in den Lagern der Kunden.

Somit kann sowohl der Kunde als auch der Hersteller durch die Einführung von Multilampen-EVG seine eigenen Fertigungskapazitäten besser ausnutzen.

Eigenschaften des Multilampen-EVG QT-M 1x26-42/230-240 S:

Das Multilampen-EVG kann mit folgenden Lampen betrieben werden:

L18W, Dulux L18W, Dulux F18W, FC22W, Dulux L24W, Dulux F24W, FQ24W, Dulux D/E26W, Dulux T/E26W, Dulux T/E32W, L36W, Dulux L36W, Dulux F36W, FQ39W, FC40W, Dulux L40W, Dulux T/E42W

Es besitzt folgende Eigenschaften:

- Das EVG hat einen hohen Wirkungsgrad und erfüllt somit die Anforderungen der Energieklasse A2.
- Die Lampen werden mit dem EVG in der sogenannten Cut-off-Technik betrieben. Dies bedeutet, daß die Lampenwendeln während des Betriebes nicht elektrisch geheizt werden. Dadurch ist die Wendelverlustleistung um ca. 3 W reduziert, was sich in der um 5-7 % geringeren Anschlußleistung des EVG bemerkbar macht.

Durch die geringere Erwärmung der Lampe in der Leuchte wird die Lampe im thermischen Optimum betrieben und somit der Leuchtenwirkungsgrad bei direktstrahlenden Leuchten erhöht.

Da die Lampe mit der Cut-off-Technik nicht so stark thermisch belastet ist, erhöht sich die Lampenlebensdauer um 25 % gegenüber konventionellen EVG.

- Die Lampenleistung ist unabhängig von der Netzspannung, so daß sich bei schwankenden Versorgungsspannungen die Helligkeit der Lampe nicht verändert. Dies ist besonders dort interessant, wo große elektrische Verbraucher häufig an das Netz zu- und abgeschaltet werden (z.B. Industrieanlagen).
- Die Abmessungen des Gehäuses sind sehr klein (31 x 67 x 103 mm) und geben dem Leuchtenkonstrukteur mehr Designspielraum.
- Das EVG ist in einem Kunststoffgehäuse und besitzt keinen Erdanschluss. Die Verdrahtung der Leuchte vereinfacht sich dadurch, außerdem sind damit auch Leuchtenkonstruktionen in Schutzklasse 2 möglich unter Einhaltung der Funkstöranforderungen.
- Zur sicheren Abschaltung von gealterten Lampen verfügt das EVG über eine eigene Detektion.

Kommt eine Leuchtstofflampe an ihr Lebensende (End-of-Life), verändert sich ihr elektrisches Verhalten. Der Kathodenfall an den Wendeln nimmt aufgrund deren Alterung zu, womit auch die Verluste in dieser Region ansteigen. Würde die Lampe weiterhin betrieben, erhitzten sich die Lampenenden sehr stark, so daß eine Sicherheitsgefahr von der Lampe ausgehen kann. Dieser mögliche End-of-Life Effekt wird elektronisch erfaßt und das EVG sicher abgeschaltet.

4. Zusammenfassung:

Mit dem neuen Multilampen-EVG reduziert sich die EVG-Vielfalt, was zu einer großen Kosteneinsparung in der Lagerhaltung beim Kunden führt. Außerdem kann der Kunde flexibler auf die Wünsche des Marktes reagieren.

Es sind neben dem 1-lampigen Multilampen-EVG ein 2-lampiges für Kompaktleuchtstofflampen und zwei Multilampengeräte für T5-FH-Lampen (ebenfalls 1- und 2-lampig) in Entwicklung.

Alle EVG betreiben die Lampen nach der Norm für Arbeitsweise (EN 60 929).

Sie erfüllen die hohen Qualitätsansprüche der Firma OSRAM, die sich in einer hohen Zuverlässigkeit bei einer Lebensdauer von 50 000 Stunden bei einer Ausfallrate von 10 % zeigen.

Neuartige dimmbare elektronische Hochfrequenzbetriebsgeräte für Energiesparlampen, Halogenleuchtampen für Netz- und Niederspannung, Kaltkathoden-Leuchtröhren sowie Leuchtdiodenketten

Peter Marx

1. Dimmbare Energiesparlampe mit Edisonsockel

Es wird eine dimmbare Energiesparlampe mit Edisonschraubsockel und Hochfrequenzbetriebsystem vorgestellt, die aufgrund der hohen Wirtschaftlichkeit infolge hoher Lichtausbeute und grosser Lebensdauer zukünftig die bislang noch sehr weit verbreiteten Allgebrauchsglühlampen ersetzen soll, die i.d.R. nur mit separaten Phasenanschnitt- bzw. abschnittdimmern gedimmt werden können.

Das neue dimmbare Energiesparlampensystem besteht entweder aus einem Adapter mit integriertem Dimm-EVG und Edisonschraubsockel mit separater, aufsteckbarer Vierstift-Energiespar-Kompakt-Leuchtstofflampe, oder aus einem einteiligen System, bei dem die Lampe, das Dimm-EVG und der Edisonschraubsockel untrennbar miteinander verbunden sind, wobei das Dimmen der beiden Varianten durch ein Stellorgan, z.B. ein Verstellpotentiometer bewirkt werden kann. Der Lichtstrom-Dimmbereich beträgt: 100 % ... 10 %.

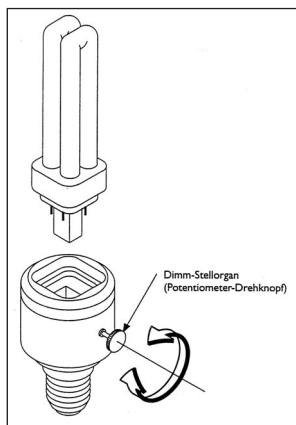


Abb. 1: Dimmbarer Energiesparlampen-Adapter mit separater Kompakt-Leuchtstofflampe

Das zweiteilige System (vgl. Abb. 1) hat den grossen Vorteil, dass der elektronische Dimm-Adapter mit integriertem Edisonschraubsockel eine etwa fünffache Lampenlebensdauer aufweist, d.h., er kann etwa 5 Energiespar-Kompakt-Leuchtstofflampen nacheinander betreiben mit entsprechend hoher Wirtschaftlichkeit. Dagegen wird bei dem einteiligen System nach Ende der Lampenlebensdauer (ca. 8000 Stunden) auch das elektronische Betriebsgerät weggeworfen, obwohl seine Lebensdauer etwa 40000 Betriebsstunden betragen kann. Hieraus resultiert eine unnötige Belastung der Umwelt mit Elektronikschrott sowie eine verminderte Wirtschaftlichkeit des einteiligen Energiesparlampensystems.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Wenn jeder der etwa 30 Mio. deutschen Haushalte einen Dimm-Adapter (geschätzter Verkaufspreis

Prof. Dr.-Ing. Peter Marx
TFH-Berlin, University of Applied Sciences
Labor für Elektronische Messtechnik
Luxemburger Str. 10
D-13353 Berlin

etwa 20,- DM) erwerben sollte, entspricht das einem Umsatz von 600 Mio. DM. Für Europa bedeutet dies ein Potenzial von rd. 2 Mrd. DM.

2. Elektronischer HF-Dimmer für Hoch- und Niedervoltglühlampen

Unter Netzzrückwirkung versteht man die Wirkung von nichtsinusförmigen Verbraucherströmen am Innenwiderstand (Generator und Leitungen) des speisenden Netzes mit der Folge einer unerwünschten Spannungsverzerrung (Abweichung von der Sinusform) der Netzspannung.

Ein hoher Leistungsfaktor reduziert die Blindströme und damit die ohmschen Verluste in den Netzleitungen der Stromversorgungsunternehmen.

Verbraucher mit nichtsinusförmiger, impulsförmiger Stromaufnahme sind z.B.: TV-Empfänger, HiFi-Geräte, Computer, Mess-, Steuer- und Regelgeräte, Dimmer für Glühlampen, dimmbare elektronische Transformatoren für Niedervoltthalogenglühlampen, einfache elektronische Entladungslampenvorschaltgeräte ohne passive oder aktive Oberschwingungsbegrenzungsfilter, sowie eine Vielzahl von Geräten, wo Phasenanschnitt- bzw. Abschnittsteuerungen mit Halbleiterbauelementen der Leistungselektronik zur Anwendung kommen.

Bei modernen elektronischen HF-Dimmern für Lampen sind daher ein Leistungsfaktor von nahezu 1 und ein geringer Oberschwingungsgehalt anzustreben. Beides kann mit konventionellen Schaltnetzteilen – welche pulsformige Netzströme aufnehmen – nicht erreicht werden.

Von diesem bekannten Stand der Technik geht die Neuentwicklung aus. Die Realisierung eines elektronischen HF-Dimmers zum gleichzeitigen Betrieb von Hoch- und Niedervoltglühlampen mit sehr hohem Leistungsfaktor und äußerst geringen Netzstromüberschwingungen wird anhand des Schaltplans in Abb. 2 erläutert.

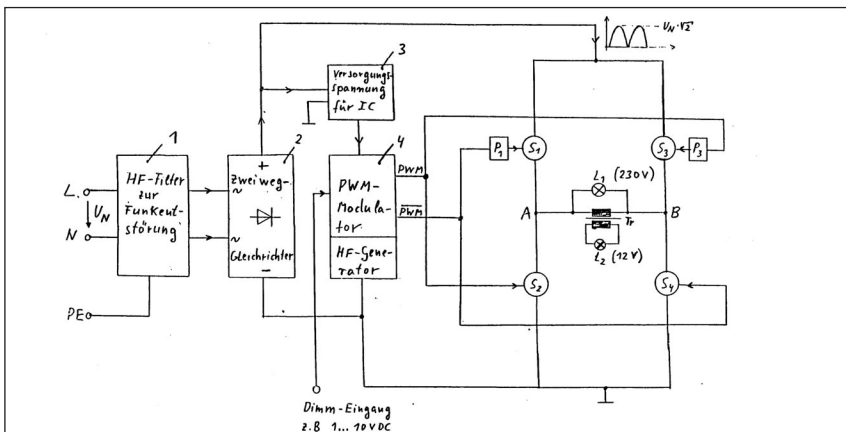


Abb. 2: Elektronischer HF-Dimmer für Hoch- und Niedervoltglühlampen mit hohem Leistungsfaktor und geringen Netzstromüberschwingungen

Die Netzspannung gelangt über ein Funkentstörfilter (1) und einen Zweiweggleichrichter (2) auf eine durch vier Halbleiterschalter (S1 ... S4), z.B. MOS-FET's, IGBT's, Bipolar-Transistoren, gebildete Brückenschaltung, in deren Diagonale (A-B) direkt Hochvoltglühlampen und gleichzeitig über einen HF-Transformator Niedervoltglühlampen betrieben werden können.

Die Ansteuerung der vier Halbleiterschalter erfolgt mit einem HF-Generator mit integriertem Pulsweitenmodulator (4), der mittels eines Spannungswandlers (3) versorgt wird.

Der Pulsweitenmodulator erzeugt zwei gegenphasige Rechtecksignale mit variablem Tastverhältnis, wobei das PWM-Signal die Schalter (S2, S3) gleichphasig und das invertierte PWM-Signal die Schalter (S1, S4) gegenphasig ansteuert.

Die notwendige Potentialtrennung für die Halbleiterschalter (S1, S3) geschieht durch die Potentialtrennbaulemente (P1, P3), z.B. Impulsübertrager, Optokopler, Hochvolttreiber-IC usw.

Es ergibt sich bei dieser Betriebsweise in der Brückendiagonalen (A ... B) eine mit der 50 Hz-Netzspannung modulierte HF-Spannung, z.B. 20 kHz, mit variabler Pulsbreite, wodurch ein Dimmen ermöglicht wird. Durch die vollkommen symmetrische PWM-Steuerung der Vollbrücke ist der HF-Verbraucherstrom durch Hochvoltglühlampen (L1) oder HF-Transformatoren (Tr) mit sekundärseitig angeschlossenen Niedervoltglühlampen (L2) in der Brückendiagonalen gleichfalls sinusförmig moduliert mit dem grossen Vorteil, dass der über das Funkentstörfilter geglättete 50 Hz-Netzstrom weitestgehend sinusförmig und nahezu in Phase mit der Netzspannung ist.

Weiterer Vorteil: Beim Dimmen bleibt der dem Netz entnommene Strom sinusförmig und nahezu in Phase mit der Netzspannung (quasi ohmsche Last), da netzseitig weder ein Phasenanschnitt- noch ein Phasenabschnittdimmer verwendet wird.

Es ist zu erwarten, dass die bisher übliche Dimmtechnik mit stark verzerrten, nichtsinusförmigen Netzspeiseströmen bei elektronischen Transformatoren in naher Zukunft nicht mehr zulässig sein wird, da die Netzrückwirkungen der beim Dimmen nichtsinusförmigen Versorgungsströme nicht akzeptabel sind und bereits heute z.B. die internationalen EVG-Vorschriften (vgl. IEC 555, DIN 0712 usw.) nicht erfüllen.

Durch die Dimm-Steuerung mit analogen oder digitalen Signalen (1..10 VDC oder z.B. DALI) können gleichzeitig auch Dimm-EVG's für Leuchtstofflampen (z.B. über Stromschienen mit Datenbus) angesteuert werden.

Wahlweise können nur Niedervoltglühlampen, nur Hochvoltglühlampen oder gleichzeitig Nieder- und Hochvoltglühlampen mit einem Gerät betrieben werden.

3. Elektronisches Vorschaltgerät für Kaltkathoden-Leuchtröhren

Die bislang zum Betrieb von Leuchtröhren üblichen klassischen Streufeldtransformatoren und Konstantstromtransformatoren für 50 Hz sind voluminös, schwer und weisen relativ hohe Verluste auf.

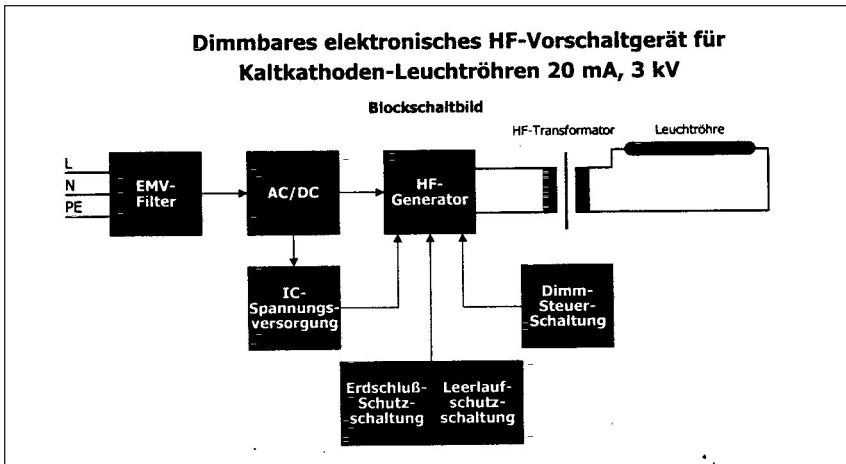


Abb. 3: Elektronisches HF-Vorschaltgerät für Kaltkathoden-Leuchtröhren

Abb. 3 zeigt den Blockschaltplan eines neuen elektronischen Vorschaltgerätes für Hochspannungs-Leuchtröhren, bestehend aus EMV-Filter, AC/DC-Wandler mit Oberschwingungsfilter, HF-Generator, HF-Streufeldtransformator, IC-Versorgung, Dimmsteuerschaltung sowie Erdschluss- und Leerlaufschutzschaltungen. Diese Geräte weisen vergleichbare Vorteile wie die EVG's für Leuchtstofflampen auf und werden zunehmend die o.g. klassischen Streufeldtransformatoren vom Markt verdrängen.

4. HF-Betriebsgerät für Leuchtdioden mit Konstantwechselstrom-Speisung

Es handelt sich um eine neuartige, aus einer Konstantwechselstromquelle gespeiste Schaltungsanordnung für Leuchtdioden.

Bekannt ist eine Schaltung zum Wechselspannungsbetrieb von Leuchtdioden, bestehend aus einer Konstantwechselspannungsquelle, z.B. 230 VAC, 50 Hz, die eine Reihenschaltung aus einem ohmschen Vorwiderstand R_v , einer Schutzdiode und der LED versorgt. Nachteilig ist der erforderliche Vorwiderstand zur LED-Strombegrenzung, da er erhebliche ohmsche Verluste bewirkt. Ausserdem muss zusätzlich eine Schutzdiode vorgesehen werden mit hoher Sperrspannung, um die LED vor einem Durchbruch während der Sperrhalbschwingung zu schützen. In Abhängigkeit von der Anzahl der LED's muss jeweils der ohmsche Vorwiderstand variiert werden, um den zulässigen LED-Strom zu gewährleisten. Netzspannungsschwankungen beeinflussen nachteilig den LED-Strom.

Die vorgestellte Lösung vermeidet die genannten Nachteile, indem gemäss Abb.4 in einfacher Weise zwei jeweils in Reihe geschaltete LED-Ketten antiparallel verbunden werden und gemeinsam aus einer Konstantwechselstromquelle gespeist werden.

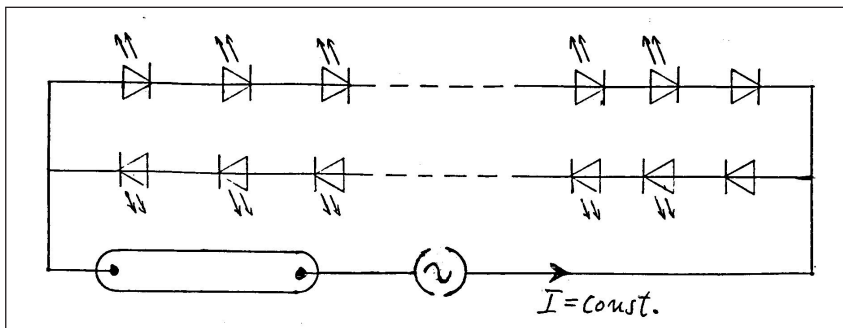


Abb. 4: HF-Betriebsgerät für Leuchtdioden mit Konstantwechselstromspeisung

Derartige Konstantwechselstromquellen werden z.B. verwendet, um Kaltkathoden-Leuchtröhren (sog. Neonröhren) zu betreiben.

Sie bestehen im wesentlichen aus Streufeldtransformatoren und können mit Niederfrequenz oder neuerdings auch mit Hochfrequenz betrieben werden. Derartige Geräte liefern z.B. einen sinusförmigen Effektiv-Konstantstrom von 30 mA, d.h. jede LED-Kette wird dann mit einem zulässigen Einweg-Effektiv-Strom von 21,15 mA versorgt. Da diese Konstantwechselstromquellen in der Regel Leerlaufspannungen von etwa 1000 V bis 8000 V aufweisen, kann somit eine grosse Anzahl von LED's – einige Hundert bis einige Tausend – kostengünstig mit nur einem Versorgungsgerät betrieben werden.

Als zusätzliche Schutzmassnahme können zwei weitere hochsperrende Schutzdioden in jeder LED-Kette angeordnet werden, um bei Unterbrechung einer LED-Kette die gegenüberliegende LED-Kette vor zu hoher Sperrspannung zu schützen.

Die Fluss-Spannung von Leuchtdioden ist abhängig von ihrer Lichtfarbe und dem LED-Strom und liegt im Bereich von etwa 1,5 bis 3,5 Volt. Durch die Konstantstromspeisung entfallen die üblichen ohmschen Vorwiderstände und die Anzahl N der zu betreibenden LED's kann zwischen $N = 1$ und $N = N_{\text{max}}$ variieren - abhängig von der maximalen Betriebsspannung der Konstantwechselstromquelle. Eine individuelle Anpassung des Betriebsgerätes an die LED-Zahl seitens des Anwenders kann entfallen.

Beispiel: Mit einem Gerät 2 kV/30 mA (Preis etwa 80,- DM) können etwa 2700 rote LED's betrieben werden, d.h., 0.03 DM pro LED !

Bei Werbeanlagen sind weltweit Kaltkathoden-Leuchtröhren (z.B. sog. Neonröhren) in sehr grosser Zahl im Einsatz. Es können nun in einfacher Weise auch derartige Leuchtröhren in Reihenschaltung mit den LED-Leuchtketten betrieben werden. Auch diese Kombination wird von Nieder- bzw Hochfrequenz- Konstantwechselstromquellen gespeist. Aus Sicherheitsgründen besitzen diese Geräte eine Leerlaufabschaltung, eine Erdschlussabschaltung und sind kurzschlussfest, wodurch eine hohe elektrische Sicherheit gewährleistet ist.

Literatur

- Marx, P. Dimmbare Energiesparlampe, DE 19636634A1 – Deutsches Patentamt
- Marx, P. Elektronischer HF-Dimmer für Hoch- und Niedervoltglühlampen, DE 4433552A1 – Deutsches Patentamt
- Marx, P. Schaltungsanordnung zum Betrieb von Leuchtdioden mit Konstantwechselstromspeisung, DE 19950388.5 – Deutsches Patentamt

Verlustleistungen elektronischer Vorschaltgeräte und Koppeltransformatoren für elektrodenlose Niederdrucklampen

David Parrondo, Felix Serick, Heinrich Kaase

Zusammenfassung

Vorschaltgeräteverlustleistungen werden normalerweise aus der Differenz der mit Wattmetern gemessenen Ein- und Ausgangsleistung ermittelt. Bei den Betriebsfrequenzen elektrodenloser Niederdrucklampen führt dieses Verfahren durch zusätzliche Abstrahlungsverluste und Einflüsse auf den Entladungsschwingkreis zu erheblichen Fehlern, die durch die Differenzbildung über 50 % betragen können.

Als Alternative zu dem genannten Verfahren wurde ein spezielles Zwei-Kammer-Kalorimeter entwickelt, das es ermöglicht, die in Wärme umgesetzte Verlustleistung zu bestimmen. Zwischen den beiden Kammern befindet sich als definierter Wärmeübergang ein Metallzylinder, an dem ein Temperaturgradient entsteht. Die Bestimmung der Verlustleistungen erfolgt durch die Messung der dem Wärmestrom proportionalen Temperaturdifferenzen in diesem Zylinder. Durch den speziellen Aufbau des Kalorimeters kann die Umgebungstemperatur für die Meßobjekte auf ihre normalen Betriebsbedingungen eingestellt werden!

Zur Reduzierung der Meßfehler wurden (durch Vergleich mit einer analogen elektrischen Schaltung) alle relevanten Wärmeströmungen erfaßt und mit einer mathematischen Modellrechnung behandelt.

In Kooperation mit der Osram GmbH München wurden Messungen an zwei Varianten elektronischer Vorschaltgeräte und an Koppeltransformatoren für die mit einer Frequenz von 250 kHz betriebene Lampe ENDURA durchgeführt. Die jeweiligen Verlustleistungen konnten mit einem Fehler von $\pm 2\%$ ermittelt werden.

1. Aufbau des Kalorimeters

Zur kalorimetrischen Messung von Verlustleistungen wird der Prüfling normalerweise in einem wärmedämmenden Gehäuse untergebracht und in Betrieb gesetzt. Die Temperatur erhöht sich, bis der Wärmeverlust durch die Wände des Gehäuses gleich der erzeugten Wärme des Prüflings ist. Wenn die Umgebungstemperatur konstant bleibt, ist die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen ein Maß für den Wärmeaustausch, d.h. für die in Wärme umgesetzte Leistung des Prüflings. Der gleiche Versuch wird nun mit einem Referenzheizkörper

Dipl.-Ing. D. Parrondo
Semperlux GmbH, Motzener Straße 34, D-12227 Berlin
Dr. F. Serick, Prof. Dr. rer.nat. H. Kaase
TU Berlin, Inst. für Elektronik und Lichttechnik, Sekr. E6
Einsteinufer 19
D-10587 Berlin

im Kalorimeter wiederholt, dem eine genau meßbare elektrische Leistung zugeführt wird. Wenn die erreichten Temperaturen in beiden Versuchen gleich sind, sind auch die in Wärme umgesetzten Leistungen gleich.

Um bei diesen Messungen die zu prüfenden EVGs thermisch nicht zu überlasten (T_c -Temperatur $< 70\text{ °C}$), wurde ein spezielles Kalorimeter entwickelt. Die Abb. 1 zeigt einen schematischen Schnitt durch das Zwei-Kammer-Kalorimeter. Die Kammerwände bestehen aus Aluminiumblech (2 mm) und Styroporisolierschichten (40 mm). Als gemeinsame äußere Hülle diente ein Aluminiumkasten.

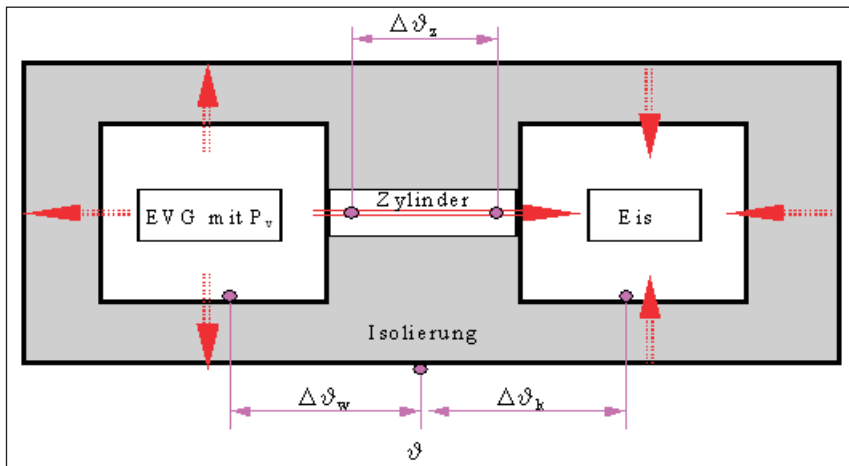


Abb. 1: Schema des Zwei-Kammer-Kalorimeters

In der linken Kammer (Wärmekammer) wird das Meßobjekt bzw. eine mit Gleichstrom betriebene Kalibrierwärmequelle untergebracht. Die Temperatur der anderen Kammer (Kältekammer) wird durch die Eingabe von Eis in der Nähe von 0 °C konstant gehalten. Beide Kammern sind durch einem 100 mm langen Metallzylinder verbunden. Durch Variation der Zylinderparameter (Durchmesser und Material) kann im Idealfall erreicht werden, daß die Wärme vollständig durch den Zylinder in die Kältekammer abfließt. Dieser Idealfall tritt ein, wenn die Temperatur in der Wärmekammer mit der Umgebungstemperatur übereinstimmt, also keine Wärmeflüsse durch die Kammerwände erfolgen. Die Messung der Temperaturen an insgesamt sieben charakteristischen Punkten erfolgte mit Hilfe von Ni-CrNi-Thermoelementen. Die wichtigsten Punkte, insbesondere die zur Bestimmung des Temperaturgradienten im Zylinder $\Delta\vartheta_z/l$ und der Temperaturdifferenzen der Kammerinnenwände zur Umgebung $\Delta\vartheta_w$ bzw. $\Delta\vartheta_k$, sind in der Abb. 1 gekennzeichnet.

2. Mathematisches Wärmeströmungsmodell

Zur quantitativen Beschreibung der unerwünschten Verlustwärmeflüsse durch die isolierten Wände wurde eine analoge elektrische Ersatzschaltung entwickelt.

Man kann Wärmeleitungsvorgänge mit der elektrischen Leitung vergleichen. Dabei entspricht der Wärmestrom dem elektrischen Strom I_v , der Wärmewiderstand dem elektrischen Widerstand R und die Temperaturdifferenz dem Spannungsabfall U .

Diese in der Abb. 2 dargestellte Schaltung beinhaltet eine Wärmequelle (Meßobjekt) und eine Wärmesenke (Eis).

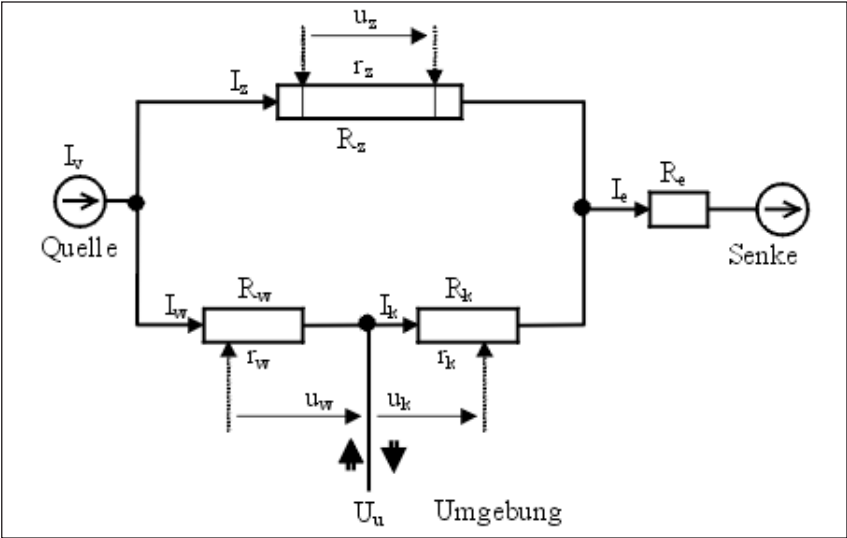


Abb. 2: Elektrische Ersatzschaltung des Kalorimeters

Im stationären Zustand hat die Wärmekapazität keinen Einfluß mehr auf den Wärmeleitvorgang. Die der Wärmekammer zugeführte Wärme (I_v) kann entweder durch den Wärmewiderstand im Zylinder (R_z) zur Kältekammer oder, durch den Wärmewiderstand (R_w) der Isolierung, zur äußeren Hülle abfließen. Ein weiterer Wärmestrom erfolgt von der äußeren Hülle durch die Isolierung (R_k) zur Kältekammer. Abhängig von der Wärmemenge, die durch die äußere Hülle fließt, erfolgt ein Wärmestrom zur umgebenden Luft. Der Wärmewiderstand vom Eis zur Kältekammer wird durch R_e berücksichtigt.

Wenn man die Maschenregel auf die Ersatzschaltung der Abb. 2 anwendet, bekommt man folgendes Gleichungssystem:

$$R \cdot I_v = I_w \cdot R_w + I_k \cdot R_k + I_e \cdot R_e \quad (1)$$

$$I_z \cdot R_z = I_k \cdot R_k + I_w \cdot R_w \quad (2)$$

$$U_u = I_k \cdot R_k + I_e \cdot R_e \quad (3)$$

Hier ist R der Gesamtwiderstand der Schaltung. Mit $I_k = u_k/r_k$, $I_z = u_z/r_z$, $I_w = u_w/r_w$ und Gleichung (3) in (1) eingesetzt, wird dieses System im Folgenden umgewandelt:

$$\begin{pmatrix} I_v & 0 & -u_w & 0 \\ 0 & u_z & -u_w & -u_k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ R_z / r_z \\ R_w / r_w \\ R_k / r_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_u \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Das ist ein System von zwei Gleichungen mit vier Unbekannten. Man kann es mit den Werten aus zwei Messungen mit bekannter, zugeführter Leistung lösen. Wenn die Konstanten R , R_z/r_z , R_w/r_w und R_k/r_k bekannt sind, kann man für Messungen mit unbekannter zugeführter Leistung, diese nach folgenden Gleichungen berechnen, die sich aus den Systemgleichungen (1), (2) und (3) ergeben:

$$I_v = \frac{1}{R} \left(\frac{R_z}{r_z} \cdot u_z - \frac{R_k}{r_k} \cdot u_k + U_u \right) \quad (5)$$

$$I_v = \frac{1}{R} \left(\frac{R_w}{r_w} \cdot u_w + U_u \right) \quad (6)$$

$$I_v = \frac{1}{R} \left(2 \cdot \frac{R_w}{r_w} \cdot u_w - \frac{R_z}{r_z} \cdot u_z + \frac{R_k}{r_k} \cdot u_k + U_u \right) \quad (7)$$

In diesen Gleichungen sind nun die Ströme durch Wärmeströme und die Spannungen durch Temperaturdifferenzen ($I_v \rightarrow P_v$, $u_z \rightarrow \Delta\vartheta_z$, $u_w \rightarrow \Delta\vartheta_w$, $u_k \rightarrow \Delta\vartheta_k$ und $U_u \rightarrow \vartheta_u$) zu ersetzen und man bekommt drei verschiedene Ausdrücke für die gesuchte Leistung. Eigentlich sollten diese Gleichungen jeweils zum gleichen Ergebnis führen. Da aber die Daten für diese Berechnungen aus Messungen stammen, die unter nicht genau gleichen Bedingungen ablaufen, bekommt man drei verschiedene Ergebnisse. Deswegen werden hier diese drei Leistungen unterschieden und mit P_{v1} , P_{v2} und P_{v3} gekennzeichnet.

$$P_{v1} = \frac{1}{R} \left(\frac{R_z}{r_z} \cdot \Delta\vartheta_z - \frac{R_k}{r_k} \cdot \Delta\vartheta_k + \vartheta_u \right) \quad (8)$$

$$P_{v2} = \frac{1}{R} \left(\frac{R_w}{r_w} \cdot \Delta\vartheta_w + \vartheta_u \right) \quad (9)$$

$$P_{v3} = \frac{1}{R} \left(2 \cdot \frac{R_w}{r_w} \cdot \Delta\vartheta_w - \frac{R_z}{r_z} \cdot \Delta\vartheta_z + \frac{R_k}{r_k} \cdot \Delta\vartheta_k + \vartheta_u \right) \quad (10)$$

Mit diesen drei Ausdrücken für die zugeführte Leistung ergeben sich natürlich drei verschiedene Differenzen zwischen berechneter (P_{v1} , P_{v2} oder P_{v3}) und gemessener Leistung. Diese drei Leistungsdifferenzen werden im Folgenden mit $D1$, $D2$ und $D3$ bezeichnet.

3. Meßaufbau

Im Verlauf seiner Entwicklung wurden verschiedene Veränderungen am Kalorimeter vorgenommen. Der grundsätzliche Aufbau wird in der Abb. 3 durch ein vereinfachtes Schema wiedergegeben.

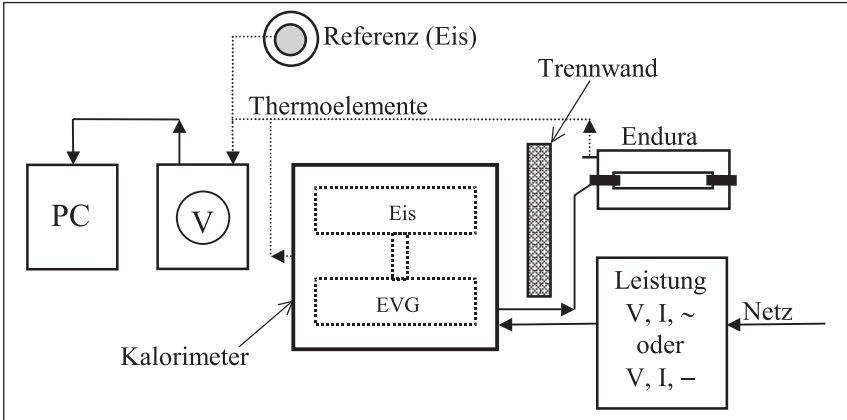


Abb. 3: Messaufbau

Die in den Thermoelementen erzeugten Thermospannungen wurden durch eine Umschaltkarte zu einem Multimeter KEITHLEY 2000 geführt. Dieses Meßgerät wurde von einem PC durch das in der TU Berlin entwickelte Programm MESSEN gesteuert. Die Meßwerte wurden in vorprogrammierten Zeitintervallen ausgelesen und in einer Textdatei gespeichert. Von den 9 selbstgefertigten Thermoelementen wurde eines als Referenz benutzt. Dafür wurde es in eine mit Eis gefüllte Thermoskanne eingeführt. Ein anderes Thermoelement wurde fast ausschließlich für die Temperaturmessung am Amalgampumpstutzen der Endura-Lampe angewendet. Die anderen Thermoelemente waren im Kalorimeter an verschiedenen Stellen positioniert.

Durch die rechte Seite des Kalorimeters erfolgten die elektrischen Einspeisungen. Alle Geräte, die zur Erzeugung und Messung der Leistung benutzt wurden, sind in Abb. 3 durch einen separaten Block symbolisiert. Für die Messungen an EVGs und Kopplertransformatoren wurde das Endura-System mit einer stabilen Sinusspannung aus einem Leistungsverstärker Spitzenberger Typ EP 600/B gespeist.

Zur Strahlungsabschirmung befand sich zwischen Lampe und Kalorimeter eine Trennwand. Bei den Messungen an den Kopplertransformatoren wurde die Endura-Lampe durch eine „Ersatzlampe“ substituiert.

4. Durchführung der Messungen

Für die Absicherung stationärer Zustände ergaben sich Meßzeiten von 18 bzw. 21 Stunden.

Zum Angleich der lokalen Verteilung der Wärmezeugung durch die Vorschaltgeräte wurden die Kalibrierwärmeequellen an die realen Untersuchungsobjekte angepaßt. Zwei unabhängige Kalibriermessungen sind jeweils notwendig um die Konstanten des mathematischen Modells zu bestimmen. Es wurden in jeder Meßreihe mehrere Kalibriermessungen mit bekannter zugeführter Leistung durchgeführt. Durch die Differenzbildung zwischen berechneter und gemessener Leistung konnte nachgeprüft werden, welche von den drei möglichen Formeln für die Berechnung der Leistung die besten Ergebnisse liefert.

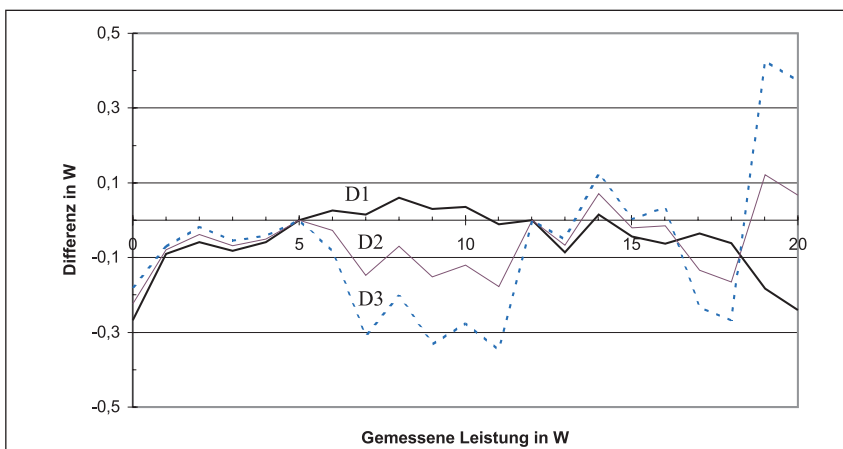


Abb. 4: Differenzen in der Berechnung. (Stützstellen: 5 u. 12 W)

Die Abb. 4 zeigt den Verlauf der Differenzen D1, D2 und D3 für ein ausgewähltes Beispiel. Als Stützstellen für die Berechnung wurden in diesem Diagramm die Kalibriermessungen mit 5 und 12 W benutzt. Man sieht, daß D1 einen regelmäßigeren Verlauf als D2 und D3 hat. Er liegt außer an beiden Enden zwischen $-0,1$ und $0,1$ W. Für die Berechnung der Leistung P_{v1} ist auch die Temperaturdifferenz im Zylinder $\Delta\vartheta_z$ verantwortlich, während die Temperaturdifferenz in der Wärmeisolierung $\Delta\vartheta_w$ nur bei der Berechnung von P_{v2} auftritt. D2 schwankt etwas stärker als D1. Bei der Berechnung von P_{v3} treten alle vier Temperaturen auf und D3 zeigt trotzdem größere Abweichungen als D2. Hier ist aber $\Delta\vartheta_w$ mit zwei gewichtet.

Nach weiteren Verbesserungen am Kalorimeter wurden Kalibriermessungen mit 6, 7, 8, 9 und 10 W durchgeführt. Der Verlauf der Differenzen D1, D2 und D3 ist in der Abb. 5 zu sehen. Man sieht, daß sich gegenüber der Abb. 4 alle drei Kurven zusammen ziehen (im Idealfall sollten alle drei Formeln das gleiche Ergebnis liefern). Die Messung mit 10 W Wärmezufuhr war absichtlich mit einer um 3 K höheren Temperatur der äußere Alu-Hülle durchgeführt worden. Man sieht im Diagramm wie D1 bis 10 W fast auf der Nulllinie bleibt, während D2 und D3 bei 10 W stärkere Abweichungen zeigen. Die Leistungsberechnung durch die Temperaturgradienten im Zylinder wird also nicht durch kleinere Änderungen der Umgebungstemperatur beeinflusst.

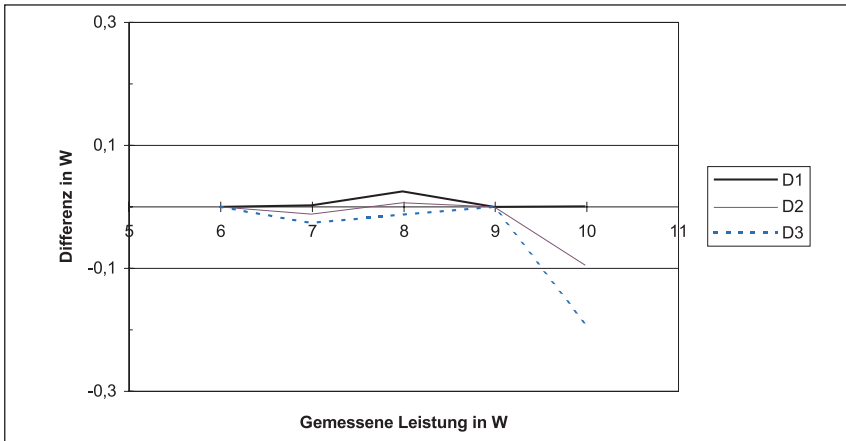


Abb. 5: Abweichungen bei der Kalibrierung. (Stützstellen: 6 u. 9 W)

Nach den Kalibriermessungen wurden thermische Messungen an zwei EVG-Modellen der Firma Osram durchgeführt

- EVG-A: Modell A (deutsche Variante) QUICKTRONIC ENDURA Si 150-1
- EVG-B: Modell B (amerikanische Variante) QUICKTRONIC ENDURA

Mit der gleichen Methode erfolgten Messungen an Enduralampen-Koppeltransformatoren. Deren Erwärmung hat zwei Quellen: Die von der Lampe übertragene Wärme und die eigene Verlustwärme. Um die Verlustwärme separat zu messen, muß man beide Quellen trennen. Damit wird aber auch die magnetische Einkopplung in die Lampe unterbrochen. Es mußte daher eine regelbare „Ersatzlampe“ entwickelt werden, die die Koppeltransformatoren genauso wie die reale Lampe belastet. Als Belastungswerte wurden 140, 150 bzw. 160 W eingestellt. Unter Verwendung verschiedener Zylinder im Kalorimeter (Aluminium \varnothing 20 mm und Eisen \varnothing 10 mm) wurden die Verluste der Koppeltransformatoren bei unterschiedlichen Arbeitstemperaturen gemessen.

5. Ergebnisse

Als genaueste Ergebnisse für die Verluste der beiden elektronischen Vorschaltgeräte wurden folgende Werte ermittelt:

$$\text{EVG-A: } 8,80 \pm 0,06 \text{ W}$$

$$\text{EVG-B: } 9,98 \pm 0,18 \text{ W}$$

Die Verlustleistungen (P_v) der Koppeltransformatoren und ihre jeweiligen Arbeitstemperaturen (KT-T) sind in der Abb. 6 dargestellt. Die Werte der beiden Messreihen mit dem Aluminium- bzw. dem Eisenzylinder sind mit Al bzw. Fe gekennzeichnet.

Man sieht in diesem Diagramm, daß die Temperaturen und Verlustleistungen für beide Messreihen praktisch Geraden darstellen.

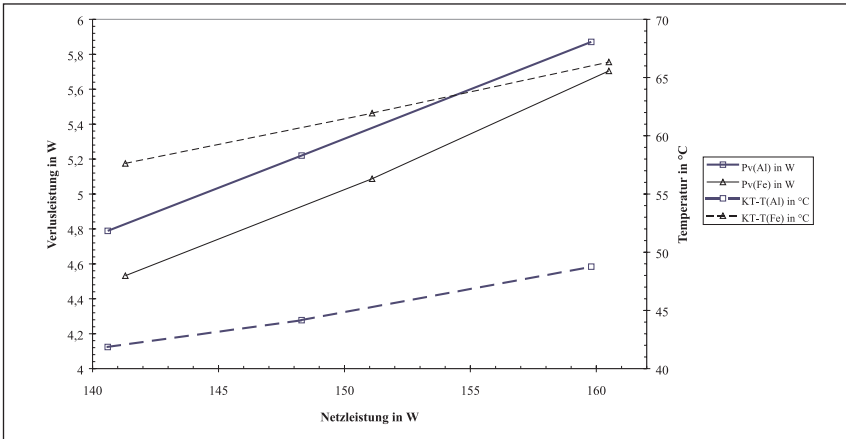


Abb. 6: Koppeltransformator-Verluste und -Temperaturen

Die Arbeitstemperaturen liegen bei der Meßreihe mit dem Eisenzylinder um etwa 17 K höher während die Verluste um etwa 0,3 W niedriger ausfallen.

Dieses Ergebnis zeigt deutlich, daß in diesem Temperaturbereich (40-70 °C) für höhere Arbeitstemperaturen die Verluste der Koppeltransformatoren kleiner werden.

Literatur

- /1/ Parrondo, D.: Diplomarbeit, TU-Berlin 1999
- /2/ Elsner, N.; Diltmann, A.: Grundlagen der Technischen Thermodynamik, Akademie Verlag, Berlin, 1993
- /3/ Godyak, V.; Shaffer, J.: Endura: A new high output elektrodeless fluorescent light source, Light Sources LS-8, Greifswald, Sept. 1998
- /4/ Hofmann, D.; Weitzel, R.: Mehr Licht aus weniger Elektrizität, Siemens-Zeitschrift Special – FuE – Herbst 1995
- /5/ Osram: Das neue elektrodenlose Hochleistungs-Leuchtstofflampensystem, Leitfaden für Leuchten-Entwickler und Anwender – April 1998

Die kleinste Netzspannungs-Halogenglühlampe der Welt – ein Meilenstein in der Lampenentwicklung

Wolfgang Pietzsch, Alfred Wacker

1. Einleitung

Halogenglühlampen haben sich als Alternative zur Glühlampe in den letzten 10–15 Jahre im Markt etabliert. Die größten Markterfolge verzeichnen bislang Lampen in Niedervolttechnik (meist 12V). Mit diesen läßt sich der Vorteil des Halogenkreisprozesses, die Ablagerung von Wolfram auf dem Lampenkolben zu verhindern, optimal in eine geringe Baugröße, d.h. kleinen Kolben umsetzen. Dieser Vorteil muß allerdings durch die Verwendung eines Trafos erkauft werden. Damit beschränkt man sich den Marktzugang v. a. in der privaten Beleuchtung. Deshalb besteht der Wunsch nach einer nahezu gleichen kleinen Bauweise für Netzspannungs-Halogenlampen. Die Realisierung ist erst jetzt mit der HALOPIN-Lampe gelungen.

Aus der Erfahrung mit Niedervoltlampen wurde für die Neuentwicklung folgendes Lastenheft definiert:

- Hohe Warmstoßfestigkeit der Wendel
- Größe eine NV-Lampe
- Minimale Anzahl Bauteile
- Höhere Effizienz als eine normale Glühlampe bei gleichzeitig höherer Lebensdauer
- Kompaktes neues Sockel-/Fassungssystem
- Integriertes Sicherungssystem (Erfüllen der EN 60432-2, EN 60598-1 Betrieb in offenen Leuchten)

2. Die neue Konstruktion

Bislang benutzte die kleinste Netzspannungs-Halogenglühlampe den Sockel B15d, der bis zu 40 % der Gesamtlänge der Lampe ausmacht. Die HALOPIN-Lampe basiert auf einem neuen Sockel-/Fassungssystem G9, das ein außerordentlich kurzes Gesamtsystem ergibt (Abb. 1). Die bei Quarzglaslampen notwendige Quetschung für die Stromdurchführungen wird für das neue System gleichzeitig als (Glas-) Sockelsystem definiert und entsprechend ausgeführt. Diese Lampe weist nur noch die halbe Länge einer Glühlampe auf mit ca. 10 % des Kolbenvolumens.

Das Ziel, möglichst wenige Bauteile zu verwenden, führt zu einer neuartigen Aufspannung der Wendel durch Glasnoppen im Quarzglas Kolben. Damit entfällt das Gestell, das die Wendel normalerweise aufspannt. Diese Technik verwendet eine in vier Segmente unterteilte Wendel, die in zwei parallelen Schenkeln im

Dr.-Ing. Wolfgang Pietzsch, Alfred Wacker
OSRAM GmbH
Hellabrunner Straße 1
D-81536 München



Abbildung 1

Kolben längs der Lampenachse aufgespannt ist. Die Wendel wird durch eine Noppe an der Oberseite des Kolbens und je eine Noppe in der Mitte der Wendelschenkel fixiert. Innerhalb dieser Segmente ist der Wendeldraht doppelt verwickelt, im Bereich der Wendelen und der Glasnoppen einfach.

Zusätzlich werden noch zwei Mo-Folien, zwei Stromzuführungen und der Stengelkolben benötigt. Damit ist diese Lampe aus nur sechs Bauteilen aufgebaut (Abb. 2).

Die Lampe ist maximal 55 mm lang, der maximale Durchmesser beträgt 13,5 mm (Abb. 3). Inzwischen ist die HALOPIN-Lampe in den Leistungsstufen 25, 40, 60, 75 W und den Netzspannungsvarianten 230 und 240 V am Markt.

3. Lichtverteilung und Effizienz

Durch die Anordnung der Wendelschenkel parallel zur Lampenachse strahlt diese Lampe verstärkt zur Seite, d.h. senkrecht zur Lampenachse, ab. Dies zeigt der Vergleich der Lichtverteilungskurven mit einer Standard-Glühlampe (Abb. 4).

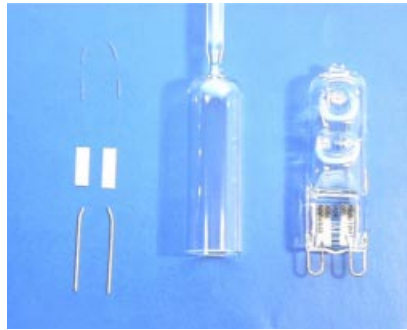


Abbildung 2

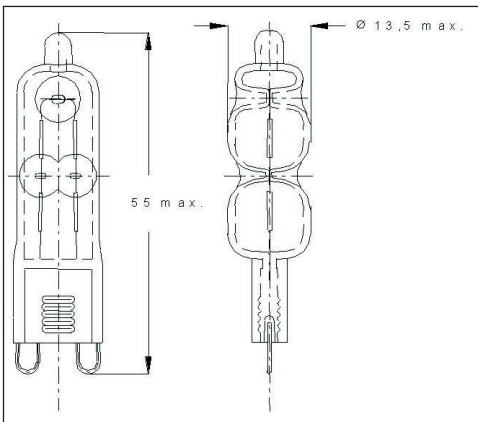


Abbildung 3

Diese Abstrahlungscharakteristik und der definierte Sitz der Lampe in der Fassung erlaubt eine gezielte Auslegung von Reflektoren für diese Wendelkonstruktion.

Die Lichtausbeute liegt ca. 20% über den Werten einer Glühlampe bei gleichzeitig bis zu doppelter Lebensdauer. Die Farbtemperatur erreicht ca. 2900 K (Abb. 5).

4. Warmstoßfestigkeit

Die HALOPIN-Lampe weist eine große Unempfindlichkeit gegen Erschütterungen auch im Betrieb auf, weil eine kritische Annäherung span-

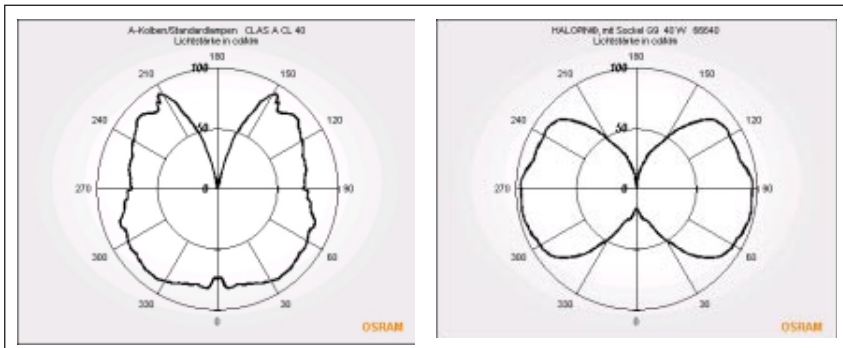


Abbildung 4

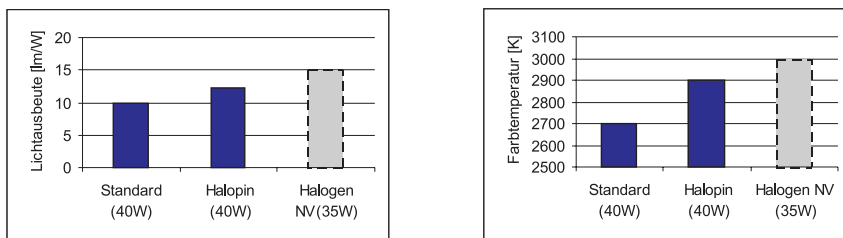


Abbildung 5

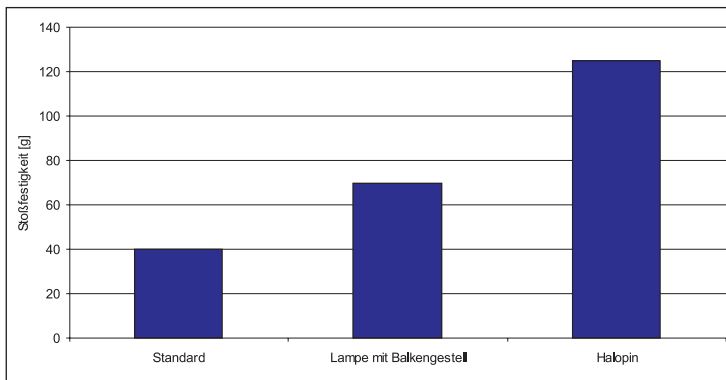


Abbildung 6

nungsführender Teile durch die Wendelaufhängung mittels Quarzglasnoppen unmöglich ist. Die HALOPIN-Lampe liegt mit Werten von größer 125 g auf doppeltem Niveau einer Glühlampe oder einer Halogenleuchte mit konventionellem Gestellaufbau (Abb. 6).

Prüfungen auf Vibrationsfestigkeit, wie sie für Verkehrs- und Signallampen üblich sind, besteht diese Lampe aufgrund der Konstruktion ebenfalls ohne Ausfall.

5. Sicherheit der Lampe am Lebensdauerende

Im Gegensatz zu den Netzspannungslampen mit bekannten Sockelsystemen wie z.B. E 14/27, b15d kann die neue Lampe nicht mehr über die üblichen Vorsicherungen, die im Sockel eingebaut sind, abgesichert werden. Diese, bisher im Sockel untergebrachten Vorsicherungen, dienen für eine sichere Abschaltung der Lampe, falls am Lebensdauerende ein Lichtbogen entsteht. Die neue Lampe muß durch konstruktive Maßnahmen am Ende der Lebensdauer den Lichtbogen sicher abschalten, ohne daß ein Platzen der Lampe eintritt. Dazu wurde das Verhalten der Lampen am Lebensdauer untersucht.

Bei Lampen mit konventionellem Gestellaufbau kann sich ein Lichtbogen je nach der Stelle, an der die Wendel durchbrennt, zwischen den stromführenden Teilen des Gestellaufbaus aufbauen. Wird der Lichtbogen nicht innerhalb kürzester Zeit unterbrochen, führt der sehr hohe Kurzschlußstrom von einigen 100 Amperes zu einem extremen Aufheizen der Folien in der Quetschung, bedingt durch den relativ großen Ohmschen Widerstand der Folien. Durch die große lokale Überhitzung in der Quetschung entstehen Spannungen im Glas und die Lampe kann platzen. Bekannte Sicherungssysteme (z.B. Balotinis) im Sockel einer Lampe weisen bei typischen Stromstärken eine Ansprechzeit von ca. 10 ms auf und verhindern damit ein Platzen der Lampe.

Bei der HALOPIN-Lampe wird das Wendelende direkt auf die Mo-Folie aufgeschweißt, anstatt wie bei der Balkengestelllampe ein aus einem massiven Draht bestehenden Halter mit Wendel aufzuschweißen. Bei Herstellung der Quetschung wird der Wendelschlauch wie in einer Art Kanüle in das Glas eingebettet. Wird die Wendel durch Hot-Spot-Bildung oder Durchbrennen im unteren Teil der Lampe nahe der Quetschung unterbrochen, so kann zwischen beiden Wendelschenkeln ein Lichtbogen entstehen, der in Richtung der Quetschung wandert. Der Lichtbogen setzt an den auf die Mo-Folien aufgeschweißten Wendelenden an und brennt in die Kanülen um den Wendelschlauch hinein. Der Wendelschlauch verdampft schlagartig, das Material wird wie bei einer Eruption in einem

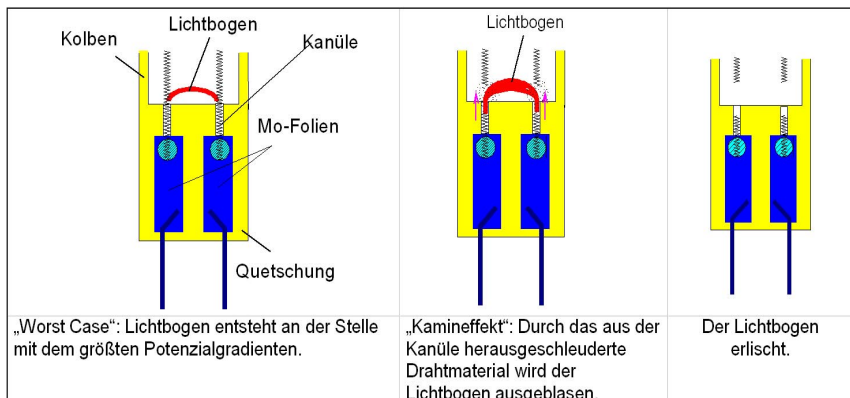


Abbildung 7

Gasstoß herausgeschleudert und „bläst“ den Lichtbogen aus. In Abb. 7 ist dieser Vorgang schematisch dargestellt. Diese neue Lampe hat also die von internationalen Normen geforderte Eigenschaft aufgrund der Lampenkonstruktion eingebaut und benötigt dazu keine externen Maßnahmen, wie mittels des in der Norm beschriebenen Lasertests zur Sicherheit am Lebensdauerende nachgewiesen wurde.

Die typische Brenndauer des Lichtbogens bei Lampenausfall liegt für die HALOPIN-Lampe bei ca. 3–5 ms. Wie in Abb. 8 aufgetragen, sind die Standzei-

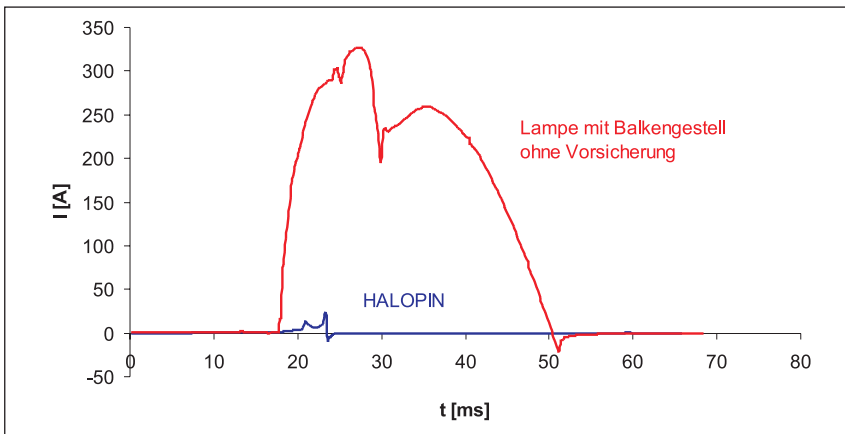
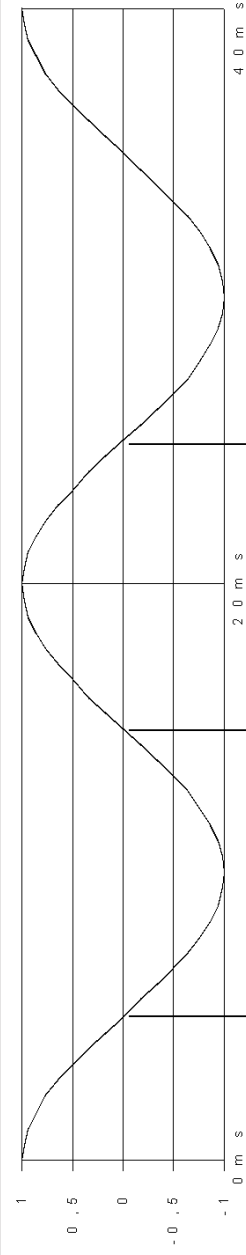
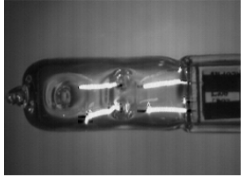
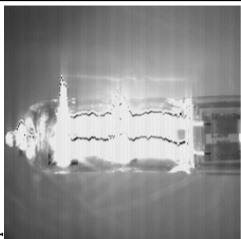


Abbildung 8

ten des Lichtbogens zwischen der neuen Lampengeneration und Lampen mit konventionellem Gestellaufbau so unterschiedlich, daß die Sicherungsfunktion der HALOPIN-Lampe sogar als „flink“ bezeichnet werden kann. Im Rahmen der Entwicklung wurde das Verhalten unterschiedlicher Lampenkonstruktionen am Lebensdauerende mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen analysiert. Die Lichtbogenbildung wurde hier durch Anlegen einer Überspannung eingeleitet. Die Belastung der Lampe ist dabei stärker als in der Norm verlangt. In Abb. 9 ist die Situation in der jeweiligen Lampenkonstruktion in Abhängigkeit der Zeit aufgetragen. Zusätzlich ist der Spannungsverlauf eingezeichnet. Die Bildreihe 1 zeigt Bilder der HALOPIN-Lampe mit Beginn des Lichtbogens. Innerhalb einer Halbwelle verlöscht der Lichtbogen, die Wendelteile fallen im Lampenkörper zusammen. Der Lichtbogen einer Balkengestelllampe ohne Vorsicherung pulsiert über zwei bis vier Halbwellen, ehe die Lampe explodiert und kleinste, heiße Lampenteile weggeschleudert werden. Nach unseren Untersuchungen platzen Lampen mit konventionellem Gestellaufbau, falls keine eigene Vorsicherung verwendet wird in etwa 25–40 % der Fälle. Damit sind heute verwendete Konstruktionen mit konventionellem Gestell und eingebauten Vorsicherungen sicher, aber keine normgerechte Lösung für das neue Lampensystem.



Halopin:



Lampe mit Balkengestell:

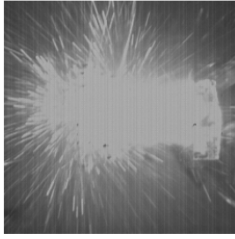
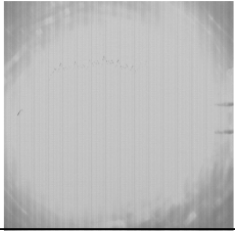
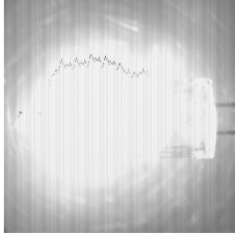
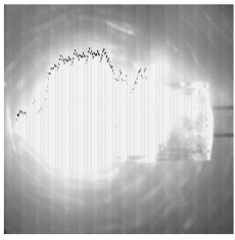


Abbildung 9

Dimension	Min.	Max.
D	9,0	
E	0,5	0,7
F	--	5,3
F1 (3)	3,0	--
F2	--	3,0
G	12,4	13,3
G1*	5,2	--
N	12,3	--
R (7)	4,0*	5,0
S* (7)	--	2,4**
T* (7)	5,0	--

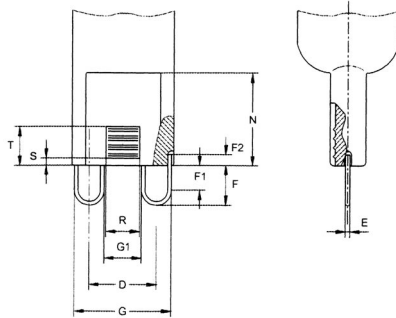


Abbildung 10

Das Sockel-/Fassungssystem

Das neue Sockel-/Fassungssystem G9 liegt inzwischen als Committee Draft der IEC vor. Die nationalen Normungsgremien sind zur Kommentierung aufgerufen. Der Glassockel zeichnet sich durch einige wesentliche Konstruktionsmerkmale auf, die ihn von den bekannten Niedervolt-Systemen deutlich unterscheidet. Die Funktionen elektrischer Kontakt und mechanische Fixierung der Lampe sind voneinander getrennt. Auf der Quetschung befinden sich Glasrippen in die eine Rastfeder in der Fassung zum Halten der Lampe eingreift (Abb. 10).

Die Kontaktierung erfolgt über Kontaktschlingen, auf die von außen der elektrische Federkontakt der Fassung drückt (Abb. 11). Die Fassung ist mit einem Hals ausgeführt, der die Lampe führt, damit ein sicheres Einsetzen gewährleistet und den notwendigen Berührungsschutz garantiert. Gestaltung und Abmessungen des Systems wurden so gewählt, daß keine Fehlbestückung durch z.B. Niedervoltlampen mit Stiftsockel auftreten kann.

Dimension	Min.	Max.
F	5,4	--
G (6)	9	--
G1 (7)	4,9	5,2
N	10*	12,2
T	5,0	6,2

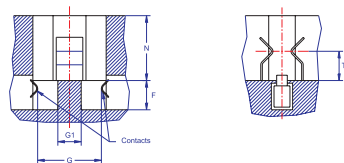


Abbildung 11

Zusammenfassung und Ausblick

Die neue Lampenkonstruktion erfüllt alle relevanten Lampennormen, das neue Sockel-/Fassungssystem G9 befindet sich bereits als Committee Draft in der Phase der nationalen Kommentierung. Die Kleinheit der Lampe, die gegenüber einer normalen Glühlampe deutlich höhere Effizienz und Farbtemperatur, die einfache Handhabung und Installation definieren ein vollständig neues und besseres Produkt.

Der Markt hat sehr positiv auf diese neue Lampengeneration reagiert. Bereits zur Light&Building 2000 zeigte eine Vielzahl von Leuchtenherstellern eine ganze Reihe von Leuchtenlösungen, die die Vorteile dieses neuen Systems in neue Designs umsetzen. Es wird erwartet, daß mittel- bis langfristig v.a. im privaten Beleuchtungsbereich Leuchten mit HALOPIN-Lampen in breitem Umfang Einzug halten werden. Wir gehen davon aus, daß dieses System eine Verbreitung finden wird, die noch über die der bekannten Niedervolt-Halogenlampen hinausgehen wird.

Die flächenförmige Entladungslampe, eine neue Dimension in der Lichterzeugung

A. Wacker, U. Custodis

Seit über sechzig Jahren werden Leuchtstofflampen gefertigt. Es handelt sich dabei um eine der wichtigsten Beleuchtungsquellen, die in allen möglichen Anwendungssegmenten, im Privaten, vor allem aber im Kommerziellen genutzt wird. Es gelang, die Quecksilberentladung in verschiedenen Formen herzustellen. Von den Stablampen über Ringlampen gelangte man zu den Kompaktleuchtstofflampen und schließlich zu Entladungslampen ohne Elektroden.

Alle Entwicklungen und Formen zielten auf höhere Effizienzen ab, einer Verbesserung der Maintenance, sowie einem einfacheren Handling. Es blieb jedoch als Träger der Entladung das Element Quecksilber, das zur Erzeugung einer hoch-effizienten UV-Strahlung unerlässlich schien.

Mit giftigem Quecksilber geht man heute vorsichtig um. Im Zuge der stetigen Verringerung des Quecksilbers im Entladungsraum, nicht zuletzt auch durch die Vorschriften für die Entsorgung von Gebrauchsgütern gefördert, stellte sich die Aufgabe, die Entladung ohne jegliches Quecksilber mit entsprechend angepassten Leuchtstoffen wirtschaftlich zu betreiben und in ein zeitgemäßes Produkt umzusetzen.

Der jüngste Ast im Stammbaum der Leuchtstofflampen basiert nun auf der neuen Technologie der Excimer-Strahlung. Durch die Verwendung des Edelgases Xenon, sowie eines gepulsten Betriebsmodus gelang es eine Lampentechnologie, die völlig neue Formen und Anwendungen zulässt.

In der Excimerentladung wird wie in einer herkömmlichen Leuchtstofflampe UV-Strahlung erzeugt. Durch eine gezielt gewählte, gepulste Anregung der Elektroden ist es gelungen, die Strahlungseffizienz von Excimer-Lampen im Vergleich zu schon früher gefundenen Betriebsweisen der Xe-Entladung um ein Vielfaches zu erhöhen. Damit steht der breite technische Einsatz von Excimer-Lampen bevor.

Dipl.-Ing. Alfred Wacker
OSRAM GmbH
Hellabrunnerstraße 1
D-81543 München

Dipl.-Ing. Udo Custodis
OSRAM GmbH
FLATEC
Werner-von-Siemens-Straße 6
D-86159 Augsburg

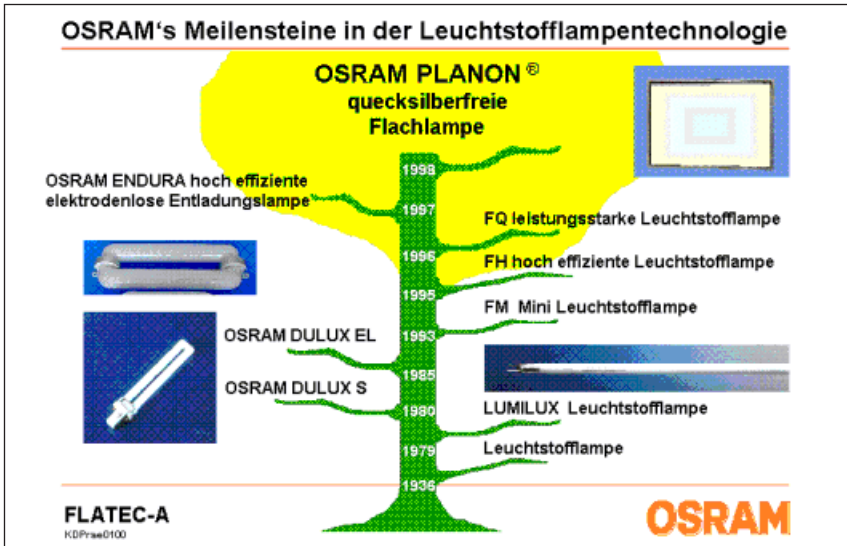


Abb. 1: Eine „neue Dimension der Lampentechnologie“ durch die Excimerentladung, die durch ihren spezifischen Aufbau neue Formen, Dimensionen erlaubt. Von den Punktlichtquellen der Glühlampen, über die linienförmigen Lichtquellen der Leuchtstofflampen, nun hin zu flächigen zweidimensionalen „Lichtkacheln“.

Die „dielektrisch behinderte Entladung“ unterscheidet sich von gewöhnliche Gasentladungen dadurch, daß sich zwischen elektrisch leitenden Elektroden zusätzlich mindestens ein Dielektrikum (Barriere) befindet. Üblicherweise sind die Elektroden in dieser Entladung großflächige Gebilde, die sich in vergleichsweise kleinem Abstand gegenüberstehen. Vorzugsweise befindet sich das Dielektrikum jeweils unmittelbar auf der Elektrode, zu der die Elektronenbewegung hin erfolgt. Eine Funktion der dielektrischen Barriere besteht darin, die Bewegung der Elektronen zur Elektrode zu behindern und schließlich zu unterbrechen. Die Elektronen werden nämlich in ihrer Bewegung zur Anode durch das Dielektrikum nicht nur aufgehalten, sondern aufgestaut, wodurch sich ein Gegenfeld zu dem den Elektronenstrom treibenden äußeren Feld aufbaut, das seinerseits solange anwächst, bis sich das äußere Feld und das Gegenfeld gerade kompensieren und der Elektronenstrom zum Erliegen kommt.

Durch das angelegte Feld und die damit verbundenen Elektronenbewegungen werden im Gasraum angeregte Xenonmoleküle erzeugt. Beim Zerfall dieser „Excimere“ (= excited dimer) entsteht kurzweilige UV-Strahlung.

Um die Effizienz in diesem System zu optimieren, wird gezielt eine gepulste elektrische Anregung gewählt. Da die erzeugte UV Strahlung nicht wie bei der Hg-Entladung bei 254 nm sondern bei 172 nm liegt, ist die Verwendung konventioneller Leuchtstoffe nicht sinnvoll. Nur mit Hilfe speziell angepaßter Leuchtstoffe kann diese UV Strahlung wirtschaftlich in sichtbares Licht umgewandelt werden.

Funktionsprinzip der behinderten Entladung

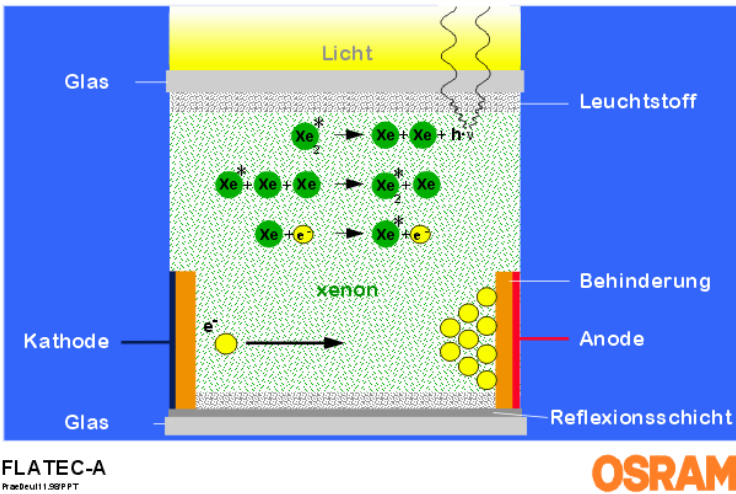


Abb. 2: Funktionsweise der dielektrischen Barriere: Durch Anlegen eines äußeren Feldes werden Elektronen vor der dielektrisch behinderten Anode aufgestaut. Diese Elektronen erzeugen ein Feld, das dem äußeren Feld entgegenwirkt. Die Entladung erlischt.

Dieses Funktionsprinzip erlaubt einen völlig neuen Lampenbau. Es existieren keine freiliegenden Elektroden mehr, die im direkten Kontakt zu einer Gasatmosphäre stehen. Es besteht die Möglichkeit, beliebig große Flächen mit Elektroden zu versehen und zum Leuchten zu bringen.

Funktionsprinzip der PLANON

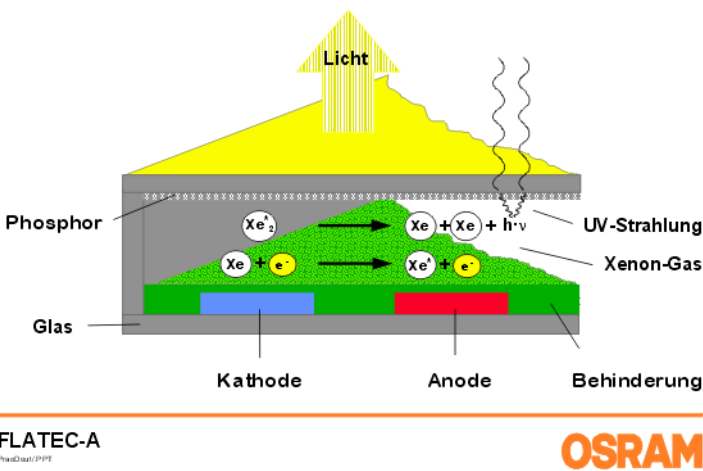


Abb. 3

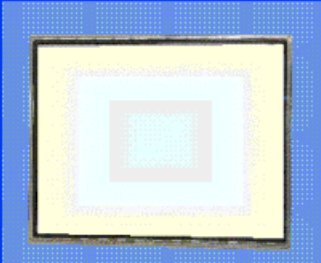
Durch die Verwendung von Xenon an Stelle des Quecksilbers ergeben sich zahlreiche besondere Eigenschaften für diese neue Lichtquelle. Es ist möglich, eine Lampe herzustellen, die Flächendiagonalen von 10 cm bis zu ca. 100 cm bei einer konstanten Dicke von nur 10 mm besitzt. Sie weist eine Leuchtdichte von derzeit 5000 cd/m^2 unabhängig von der Lampengröße auf. Dies ist derzeit mit keiner anderen Lichtquelle möglich.

Mit „Edgelight“-Systemen (seitliche Einspeisung des Lichtes in ein Lichtleit-System), oder auch „Multiple Tubing“-Anordnungen (Leuchtkästen, mehrere nebeneinander angeordnete Leuchtstofflampen) können bei großen Diagonalen nur Leuchtdichten von ca. 2500 cd/m^2 erzeugt, oder nur sehr aufwendige und auch anfällige Systeme mit wesentlich dickeren Bautiefen angefertigt werden.

Durch die Verwendung von Xe-Gas ist der Lichtstrom temperaturunabhängig von $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $+85 \text{ }^\circ\text{C}$. Da das Xe-Gas nicht wie Quecksilber erst in die Gasphase übergehen muß, ist auch ein Sofortlicht bei ca. 100% Lichtstrom möglich. Diese Eigenschaft ist besonders beim Außeneinsatz von hoher Bedeutung. Ebenso kommt es bei der Verwendung von Xe nicht zu der vom Quecksilber bekannten Vergrauung des Leuchtstoffes. Es ist ein wesentlich geringeren Lichtstromrückgang über die Lebensdauer zu erwarten. Die Lampe hat eine Lampenlebensdauer von bis zu 100.000 h (50% Leuchtdichteverlust), nicht zuletzt dadurch, da sie keine Elektroden besitzt, die im direkten Kontakt mit der Gasatmosphäre

Charakteristik der PLANON®

- Lampengröße und Form hat prinzipiell keine Beschränkung (5 Zoll bis $> 1 \text{ m}^2$)
- Eine Lampe – Ein EVG
- Homogene, hohe Leuchtdichte über die gesamte Fläche
- Lampe mit integriertem Reflektor
- Kein Quecksilber
- Leuchtdichte ist unabhängig von der Umgebungstemperatur
- Sofortlicht
- Kein Anlaufverhalten
- Keine Umweltrelevanten Materialien
- Extreme Lampenlebensdauer von 100 000 h
- Kein Verdampfen der Elektroden
- Keine Schwärzung des Leuchtstoffes



FLATEC-A **OSRAM**

Abb. 4: PLANON, die quecksilberfreie flächige Entladungslampe

stehen und somit einer Korrosion ausgesetzt, oder mit Emitter, der verbraucht wird, belegt sind.

Die oben aufgeführten einzigartigen Produkteigenschaften und Vorteile der Lampe eröffnen neue Konstruktions- und Anwendungsmöglichkeiten vor allem für die Hinterleuchtung von LCD-Flachbildschirmen. Diese Bildschirme finden Verwendung als Desktop Monitor, in Industrieanwendungen, Medizintechnik oder Transportsystemen (Auto, Flugzeug, Bahn), in Anwendungen, die extrem hohe Anforderungen an die Lebensdauer stellen. Die Zukunft der LCD Flachbildschirme wird in der Multi Media Anwendung liegen. Die Kombination aus Monitor und Fernsehen und das in LCD Diagonalen von bis zu 30" sind eine technische Herausforderung an die Hinterleuchtungsindustrie. Eine optimale Lösung für diese Aufgaben ist die PLANON.

Die Forderung der LCD-Module nach einem hohen Blickwinkel (jedem ist die Blickwinkelschränkung eines Notebooks bekannt) bei gleichzeitig hohen Leuchtdichten (Seheindruck wie bei der Kathodenstrahlröhre ist gewünscht, d.h. hohe Helligkeit über den gesamten Betrachtungswinkel) und dem Verlangen, extrem flach zu werden, waren die wesentlichen Argumente, diese Lichtquelle für dieses Anwendungssegment in der Anfangsphase zu priorisieren. Zusätzlich spielt die Forderung, das Quecksilber aus der Desktop Anwendung^(x) zu verbannen, eine entscheidene Rolle.

Die PLANON eignet sich im Bereich der LCD Hinterleuchtung vor allem für große Flächen. Da sie durch Ihre Technologie beinahe beliebig groß gebaut werden kann, stehen ihr Anwendungsbereiche zur Verfügung, in denen konventionelle Hinterleuchtungssysteme erhebliche Nachteile besitzen, oder ein sehr großer Aufwand betrieben werden muß.

Die spezifischen einzigartigen schon genannten Vorteile der Lampe ermöglichen zukünftig auch den Einsatz in sehr vielen Anwendungen der Allgemeinbeleuchtung. Die derzeitige Lichtausbeute der Lampe von 28 lm/W macht sie auch für solche Anwendungen interessant, die eine effiziente Lichtquelle fordern.

Die Lampe ist sozusagen zugleich eine Leuchte. Sie beinhaltet durch ihre Konstruktion die Lichterzeugung an sich und zudem durch den innen aufgebrauchten Reflektor die Lichtlenkung. Somit sind die genannten 28 lm/W Systemlichtausbeute nicht direkt vergleichbar mit der Lampenlichtausbeute.

Die spezifischen Eigenschaften der PLANON lassen die unterschiedlichsten Ansätze für neue Lichtlösungen zu:

- Flache Leuchten, aus deren blendfreier Fläche ein homogenes diffuses Licht strahlt.
- Ein kreativer Gegenpol zur Punktlichtquelle Halogen.

(x) Die TCO (Dachverband der schwedischen Angestelltengewerkschaften erstellt Umweltgütesiegel für Bildschirme) fordert bereits in der TCO 99 eine Beschränkung des Quecksilbers in Desktop Monitoren auf max. 3mg.

Einsatzmöglichkeiten der quecksilberfreien Flachlampe OSRAM in Monitoren

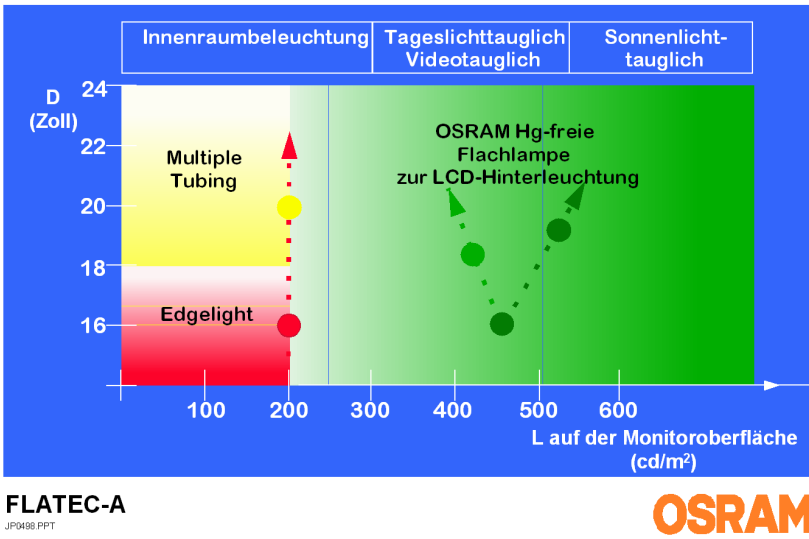


Abb. 5: Die OSRAM PLANON zeigt ihre besonderen Vorteile vor allem bei der Hinterleuchtung großflächiger Monitore mit der Forderung einer hohen Leuchtdichte und Homogenität.

Es gibt derzeit keine so flache Lichtquelle, dessen Fläche so klein wie eine Zigarettenschachtel, bis hin zu einer Größe von mehr als 1m^2 sein kann, und dessen Licht homogen bei hohen Leuchtdichten abstrahlt. Medizinische Anwendungen von Röntgenbild Betrachtern oder Fotosichtgeräten, sowie die Beleuchtung eines Raumes durch große Leuchtflächen, geben den Lichtplanern ein völlig neues Instrument für die Lichtgestaltung. Aber auch die technische Anwendung in der Industriellen Bildverarbeitung weiß die Eigenschaften dieser Lichtquelle jetzt schon zu schätzen.

Die Schalthäufigkeit der Lampe, unabhängig von der Temperatur, oder dem Dimmzustand hat keinen Einfluß auf die Lebensdauer. Bislang haben Testlampen die Schallmauer von 10 Mio. Schaltungen durchbrochen. Eine Art Blitzbetrieb ist mit dieser Leuchtkachel ebenfalls möglich.

Die flächige Lichterzeugung nach dem Prinzip der Xe-Excimer Entladung zeigt somit ihre Potenz für viele Segmente. Von Kacheln für den Boden- oder Wandbereich, also Anwendungen, wo eine extrem dünne Lichtquelle gewünscht wird, über Werbetafeln, Anzeigesysteme oder im Bereich großflächiger Architekturgläser, ist eine Anwendung dieser neuen Technologie möglich.

Wir stehen gerade erst am Anfang, über einen Einsatz dieser Lampentechnologie in der Allgemeinbeleuchtung nachzudenken. Neben der technischen Herausforderung an den Lampenhersteller ist diese Lampe mit Sicherheit auch eine Herausforderung an die Leuchtenhersteller und Architekten, die nun dem lang ersehnten Wunsch nach leuchtenden Flächen als Gestaltungselement ein Stück näher gerückt sind.

Licht mit und ohne Elektronik – wohin entwickeln sich die Lichtquellen im kommenden Jahrhundert?

Fritz Schipp

1. Rückblick /1, 2, 3/

Wenn man eine Aussage über mögliche Entwicklungen in den nächsten hundert Jahren machen will, dann ist es ganz nützlich, zunächst einmal einen entsprechenden Zeitraum zurückzublicken. Welche Lichtquellen gab es bereits vor hundert Jahren? Wir alle wissen natürlich, dass Edison seine Glühlampe mit allen Zutaten wie Sockel, Fassung und was sonst noch nötig war, schon eine ganze Weile vor der Jahrhundertwende, nämlich 1878, vorgestellt hat.

Aber es gab damals auch schon Entladungslampen. Neben der Kohlebogenlampe waren hauptsächlich Quecksilberdampflampen in Gebrauch. Auch der Einsatz von Leuchtstoffen zur Verbesserung der Farbwiedergabe war bereits bekannt. In der Allgemeinbeleuchtung wurden die Entladungslampen im Vergleich zur Glühlampe allerdings weit weniger eingesetzt. Die Haupteinsatzgebiete waren die Projektion und wissenschaftliche Anwendungen. Der Grund für die geringe Verbreitung lag in der aufwendigen Betriebsweise. Speziell der Unterschied zwischen der hohen Zündspannung und der im Vergleich dazu niedrigen Brennspannung war mit damaligen Mitteln schwer zu beherrschen. Aber auch zu diesen Betriebsgeräten sind Untersuchungen schon seit etwa 1880 bekannt.

Alle heute verwendeten Lichtquellen, mit Ausnahme der Halbleiter-Lichtquellen LED, basieren als auf Techniken, die vor hundert Jahren zumindest schon bekannt waren. Natürlich hat es große Fortschritte gegeben. Die Glühlampe hat ihre Lichtausbeute seit Edison verfünffacht. Wenn man die Halogenlampen als Weiterentwicklung der Glühlampe betrachtet, ist es mehr als ein Faktor 10. Und wenn man die Energiesparlampen mit in die Betrachtung einbezieht, so ist man sehr schnell bei einem Faktor 30. Ähnliches gilt für die Lebensdauer. Und auch der Weg von einer Kohlebogenlampe zu einer Metall-Halogenid-Lampe im Keramik-Brenner, die gefärbte Stoffe oder andere empfindliche Waren in einem Schaufenster anstrahlen, war alles andere als einfach. Die Lampenindustrie hat in der Vergangenheit viele Milliarden investiert – und tut es heute weltweit mit über 1 Milliarde DM pro Jahr – um diesen technischen Fortschritt zu ermöglichen. Das ist aber nur ein Aspekt des Fortschritts. Nur weil es neu und technisch machbar ist, ist ein Produkt noch nicht erfolgreich. Was sonst ist noch nötig? Jedes neue Produkt braucht auch einen Markt. Ohne die in der Phase der Industrialisierung gestiegenen Anforderungen an die Beleuchtung wäre der Siegeszug der

Dr. rer.nat. Fritz Schipp
c/o OSRAM SYLVANIA, Inc.
800 N. Church Street
Lake Zurich, IL 60047
USA

Entladungslampen wohl kaum denkbar. Zumindest die Leuchtstofflampe verdankt ihren technischen Fortschritt vor allem ihrer Anwendung in den großen Bürogebäuden – und umgekehrt wären diese ohne die Leuchtstofflampe in diesen Dimensionen gar nicht mehr zu beleuchten. Neue Technologien und neue technische Erkenntnisse reichen also nicht aus, um technischen Fortschritt zu erzeugen. Es müssen noch weitere Faktoren hinzukommen, die den Markt dafür bereiten.

2. Einflussgrößen außerhalb der Lichttechnik

Ich möchte mich dabei auf einige exemplarische Einflussgrößen beschränken:

2.1. Politik und Gesetzgebung

Sicher wird der „Selektionsdruck“ in Richtung auf höhere Energienutzung, also Lichtausbeute, weiterhin eine Rolle spielen. Die Umweltgesetzgebung wird bewirken, dass immer mehr umweltfreundlichere, sprich schadstoffärmere Produkte, bleifrei, quecksilberfrei, radioaktivitätsfrei, auf den Markt kommen.

Weiter kann uns die Politik Kriege bescheren und dadurch bewirken, dass bestimmte Rohstoffe nicht mehr oder nur in begrenzter Menge zur Verfügung stehen. Beispiele sind Wolfram für die Leuchtwendeln in Glüh- und Halogenglühlampen oder für die Elektroden in Entladungslampen, oder Seltene Erden für die Leuchtstoffe in Leuchtstofflampen. Dadurch werden Entwicklung in Richtung Recycling oder zur Einführung von Ersatzstoffen eingeleitet.

2.2. Umwelt und Verhalten.

Entwicklungen auf anderen Gebieten werden Einfluss auf die Art der Lichtanwendung haben und damit auch die Entwicklung der Lichtquellen befruchten. Werden z.B. in hundert Jahren noch Leselampen benötigt? Es gibt heute schon „elektronisches Papier“, eine Folie so flexibel wie Papier, die elektronisch angesteuert wird und wie ein selbstleuchtender Bildschirm wirkt. Der Inhalt des „Buches“ ist dabei auf einem Chip gespeichert, der immer wieder ausgetauscht werden kann.

Ein weiteres Beispiel: Die Wände unserer Büros oder Wohnzimmer bestehen aus „Lichtbausteinen“, die wechselweise als Fenster, als Bild, als Bildschirm für das Fernsehgerät oder den Computer oder schließlich eben auch als Lampe wirken können.

2.3. Mode, Kultur, Soziologie

Daneben wirken noch eine Reihe anderer Größen wie z.B. sich ändernder „Lichtgeschmack“. Länder in südlicheren Breiten bevorzugen Lichtfarben mit höherer Farbtemperatur. Solche Lichtfarben sind besser mit Entladungslampen zu realisieren als mit Glüh- oder Halogenglühlampen. Wenn sich dieser Trend weiter ausweitet wird er neue Impulse in Richtung kleinwattiger Entladungslampen, also Leuchtstoff- und Hochdrucklampen, mit hoher Farbwiedergabe, sowie auf die Entwicklung von kleinen und kleinsten Betriebsgeräten dafür bringen.

Und schließlich wird ein wichtiger Faktor in dieser Richtung die Frage sein, wie viel Licht wir uns in hundert Jahren leisten können.

Alle diese Einflussgrößen werden die Weichen dafür stellen, welche neuen technischen Lösungen sich am Ende durchsetzen. Welche Lösungen aber wird uns die Technik bereitstellen?

3. Technische Weiterentwicklung der heutigen Lichtquellen

3.1. Temperaturstrahler

Der Leuchtkörper einer Glühlampe oder einer Halogenglühlampe strahlt sehr ähnlich wie ein schwarzer Körper, d.h. mit einem sehr breiten Spektrum, das in charakteristischer Weise von der Temperatur des Strahlers abhängt: je höher die Temperatur desto weiter verschiebt sich das Strahlungsmaximum zu kürzeren Wellenlängen. Bei den Betriebstemperaturen einer Wolframwendel sind über 90% der Strahlung im infraroten Bereich des Spektrums und damit als „Licht“ verloren. Gelingt es, diese Strahlung ganz oder teilweise in sichtbares Licht zu verwandeln, könnte die Lichtausbeute der Glühlampe vervielfacht werden. Drei Möglichkeiten werden immer wieder diskutiert:

- IR-Beschichtung des Lampenkolbens
- Strukturierung des Leuchtkörpers /4/
- Anti-Stokes Leuchtstoffe

Bisher hat sich nur die IR-Beschichtung technisch realisieren lassen und in bestimmten Geometrien Steigerungen der Lichtausbeute bis zu 35% gebracht.

Eine weitere Möglichkeit, die Lichtausbeute von Temperaturstrahlern zu erhöhen ist es, den Strahler mit höheren Temperaturen zu betreiben.

Die heutigen Halogenlampen werden allerdings schon nahe am Schmelzpunkt des Wolframs betrieben, so dass eine Steigerung kaum möglich ist, wenn man nicht eine Möglichkeit findet, auch flüssiges Wolfram, oder ein anderes Element in einer Weise in der Lampe zu halten, dass der Betrieb immer noch möglich ist. Ein erster Ansatz in dieser Richtung ist seit einigen Jahren als Speziallampe auf dem Markt: Eine Entladungslampe, die durch einen Kreislauf von Rekombination und Dissoziation eine Atmosphäre von übersättigtem Metall-Halogenid-Dampf erzeugt. Aus diesem übersättigtem Dampf kondensieren immer wieder Mikro-Flüssigkeitströpfchen aus, die mit der Temperatur des Plasmas, einige tausend Grad, strahlen. Inwieweit sich diese Technik auf allgemeinere Anwendungen ausweiten lässt, kann man noch nicht absehen.

3.2. Entladungslampen

Bei den Entladungslampen sind heute schon zwei Trends sichtbar, die sich sicher in den kommenden Jahrzehnten verstärkt fortsetzen werden:

3.2.1. Reduzierung des Quecksilbergehaltes

Quecksilber ist in der Entladungslampen-Technik weit verbreitet weil es leicht verdampft, relativ inert ist und weil es sich mit relativ niedriger Energie anregen lässt. Aus Umweltgründen wird die Verwendung von Quecksilber in den Lampen nun mehr und mehr reduziert. Es gibt auch bereits Entladungslampen ohne jeden Quecksilberanteil.

Bei den Hochdruckentladungen sind seit einigen Jahren Hg-freie Natriumdampf-Hochdrucklampen im Markt, die sich optisch kaum von herkömmlichen Typen

unterscheiden. Auf dem Gebiet der für anspruchsvollere Anwendungen, speziell der Innenbeleuchtung, notwendigen Halogen-Metaldampf Lampen sind solche Entwicklungen noch in den Forschungslabors.

Excimer-Lampen sind Leuchtstofflampen ohne Quecksilber. Sie verwenden die UV-Strahlung von angeregten Edelgas-Molekülen um den Leuchtstoff anzuregen. Diese Lampen werden derzeit nur für Spezialanwendungen als Hintergrundbeleuchtung von LCD-Bildschirmen verwendet, da ihre Lichtausbeute mit ca. 40 lm/W noch deutlich unter der von Leuchtstofflampen liegt. Der Grund liegt in den hohen Verlusten bei der Umwandlung der mit hohem Wirkungsgrad erzeugten UV-Strahlung in sichtbares Licht im Leuchtstoff. Seit Jahrzehnten gibt es Arbeiten zur Entwicklung von 2-Photonen-Leuchtstoffen, allerdings bis heute ohne nennenswerte Erfolge.

Waymouth /4/ schlägt vor, das Quecksilber in Niederdruck-Entladungen durch umweltfreundlichere Alkali- und Erdalkalimetalle zu ersetzen. Das Problem des niedrigen Dampfdrucks dieser Elemente will er dadurch lösen, dass er die Atome in sog. Fullerenen, das sind C₆₀-Cluster-Moleküle, einbettet. Die Fullerenen haben, ähnlich wie Quecksilber, einen relativ hohen Dampfdruck und sind chemisch weitgehend inert. Auch der Einsatz der Fullerenen selbst ohne Dotierungsstoffe ist denkbar. Deren UV-Strahlung würde man dann wiederum durch Leuchtstoffe in sichtbares Licht umwandeln. Man muss sehen, ob sich dieses Konzept technisch verwirklichen lässt.

3.2.2. Elektrodenlose Lampen

Der zweite Trend bei Entladungslampen sind Lampen ohne materielle Elektroden. Elektroden sind diejenigen Teile in einer Lampe, die die Lebensdauer am stärksten begrenzen. In ihnen sind Materialien, sogenannte Emitter, eingebaut, die den Austritt von Elektronen aus dem Metall der Elektrode erleichtern und damit den Entladungsprozess starten und in Gang hält. Betreibt man die Entladung mit höheren Frequenzen, üblich sind Frequenzen zwischen einigen 100 kHz und einigen GHz, so kommt man ohne Elektronenemission an den Elektroden aus. Der Vorteil dieser Lampen liegt in der vielfach höheren Lebensdauer. Bei elektrodenlosen Leuchtstofflampen werden Lebensdauern von 60.000 Stunden erreicht und überschritten.

Elektrodenlose Hochdrucklampen sind aus der Literatur seit längerem bekannt, auf dem Markt aber noch nicht eingeführt. Hier scheint der Aufwand im Verhältnis zum Nutzen immer noch zu groß zu sein.

3.3. Halbleiterlichtquellen

Schon seit langem haben Festkörperlichtquellen (LEDs) die Anzeigelampen in Radios, Haushaltsgeräten und anderen Anwendungen ersetzt. Diese Lichtquellen konnten bis vor einigen Jahren nur im roten, später auch im grünen und blauen Spektralbereich strahlen. Jetzt gibt es auch weiße LEDs. Die Lichtausbeute liegt heute noch im Bereich der Glühlampe, aus den Forschungslabors werden aber in dieser Hinsicht große Fortschritte mit Lichtausbeuten von über 20 lm/W angekündigt /5/.

Inzwischen gibt es auch Halbleiterlichtquellen, die nicht einen Festkörper als Basis haben, sondern organische Werkstoffe benützen (OLEDs). Während LEDs immer aus kleinen Lichtpunkten aufgebaut sind, können OLEDs auch als echte Flächenstrahler ausgelegt werden. Bisher werden sie fast ausschließlich als aktive Anzeigeelemente, z.B. in Mobil-Telefonen, eingesetzt. Eine Anwendung in der Allgemeinbeleuchtung ist in absehbarer Zukunft sehr wahrscheinlich.

3.4. Betriebsgeräte

Mit Ausnahme der Glühlampen benötigen alle anderen bisher angesprochenen Lichtquellen ein Betriebsgerät. Das kann, wie im Falle der Niedervolt-Halogenlampen, ein einfacher Transformator sein oder aber ein aufwendiges kombiniertes Zünd- und Vorschaltgerät, das z.B. bei den Scheinwerfer-Entladungslampen in Automobilen für eine Heiß-Wiederzündung und einen extrem raschen Anlauf der Lampe sorgt. Speziell bei Leuchtstofflampen haben sich elektronische Vorschaltgeräte (EVG) weltweit durchgesetzt. Dabei werden die Lampen typischerweise mit Frequenzen zwischen 20 und 50 kHz betrieben. Verglichen mit dem herkömmlichen Betrieb an magnetischen Vorschaltgeräten ist die Systemausbeute bei Verwendung elektronischer Vorschaltgeräte deutlich höher. Zum einen steigt die Lampen-Lichtausbeute bei höherer Betriebsfrequenz, zum anderen sind die Verluste im EVG selbst in der Regel kleiner als bei magnetischen Vorschaltgeräten. Neue Systeme werden mehr und mehr nur noch elektronischen Betrieb zulassen, da damit der Lampenentwickler mehr Freiheit in der Auslegung der Lampendaten hat und das System besser optimieren kann. Das vor wenigen Jahren eingeführte T5-System ist ein wichtiges Beispiel dafür.

In der Entwicklung der Betriebsgeräte sind heute zwei Trends erkennbar:

3.4.1. Intelligente Betriebsgeräte

Vorschaltgeräte der Zukunft werden intelligenter sein. Sie werden nicht nur mit externen Kontroll-Geräten, wie mit Dimmerschaltern, Bewegungsmeldern und Tageslichtsensoren kommunizieren, sondern auch mit den Lampen selbst. Schon heute erkennt ein elektronisches Vorschaltgerät, ob z.B. eine Kompakt-Leuchtstofflampe innerhalb der spezifizierten Parameterbereiche brennt und wird diese gegebenenfalls abschalten. Es erkennt auch in vielen Fällen schon, welche Eingangsspannung am Gerät anliegt. In Zukunft werden diese Geräte auch erkennen, welche Lampe sie betreiben sollen und wie viele Lampen es sind. Es wird möglich sein, mit einem einzigen Gerät verschiedene Lampen unterschiedlich zu dimmen. So kann man z.B. in Leuchten, die Up- und Downlight kombinieren, stufenlos von der einen zur anderen Beleuchtungsart übergehen. Oder man kann bei Verwendung von Leuchtstofflampen verschiedener Farben in einer Leuchte die Farbtemperatur der Leuchte an die Tageszeit anpassen. Das alles kann sowohl von außen als auch von internen Programmen gesteuert werden.

Elektronische Vorschaltgeräte für Hochdrucklampen werden deren Lichtausbeute, Farbtemperatur und Farbwiedergabe konstant halten oder es erlauben, diese in bestimmten Bereichen frei zu wählen. Sie werden durch „intelligente Fragen“ den Zustand der Lampe ermitteln und in großen Anlagen der Zentrale in der Haustechnik nicht nur melden, wie viele Lampen ausgefallen sind, sondern auch, wie viele in Kürze ausfallen werden.

3.4.2. Miniaturisierung

Vorschaltgeräte der Zukunft werden kleiner sein. Es werden immer mehr Bauteile zu komplexeren Chips zusammengefasst und diese werden wiederum innerhalb des Gerätes enger zusammengepackt. Möglich wird dies durch besseres thermisches Management, wärmeresistenterer Bauteile und geringerer Verluste in den Bauteilen selbst. Weiter werden in Zukunft die Betriebsfrequenzen ansteigen und damit wird es möglich, die relativ zu den anderen Bauelementen deutlich größeren magnetischen Komponenten weiter zu verkleinern.

Wahrscheinlich werden die großen passiven Bauelemente ganz aus dem Vorschaltgerät verschwinden und mit Bauteilen der Lampe kombiniert. So ist es durchaus möglich, dass man bestimmte kapazitive und induktive Bauteilefunktionen in neuartigen Elektroden inkorporieren kann. Dann wird das Vorschaltgerät selbst nur noch aus einem einzigen Chip, vielleicht einem Mikroprozessor, bestehen – und der hat vielleicht im Lampensockel Platz. Für den Anwender sind damit die Vorschaltgeräte als zusätzliches Bauteil in der Leuchte verschwunden.

4. Neue lichterzeugende Prozesse

Wie eingangs bereits erwähnt ist in den letzten hundert Jahren nur ein wirklich neuer Prozess zur Erzeugung von Licht hinzugekommen: die Lichterzeugung durch Halbleiter. Es ist natürlich nicht möglich, solche Quantensprünge im voraus zu sehen. Es gibt aber eine Reihe von Prozessen, die auch Licht erzeugen, die aber bisher aus unterschiedlichen Gründen nicht verwendet werden:

4.1. Elektrodenstrahlen

Wenn ein Strahl von beschleunigten Elektroden auf einen geeigneten Leuchtstoff trifft, so entsteht Licht. Allerdings sind die heute verwendeten Leuchtstoffe mit ganz anderer Zielsetzung entwickelt und daher sind „Lampen“ auf dieser Basis mit heutigen Lichtquellen in ihrer Effizienz nicht vergleichbar.

4.2. Chemisch-elektrische Prozesse

Seit langem gibt es Notlichter, bei denen durch einen chemischen Prozess Licht erzeugt wird. Bisher sind diese Lichtquellen irreversibel. Es ist nicht auszuschließen, dass man geeignete Substanzen findet, die mit elektrischer Energie einen reversiblen Prozess erlauben und damit für eine neue elektrische Lichtquelle zur Verfügung ständen.

4.3. Tribolumineszenz

Nur der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass beim Brechen von bestimmten Kristallen Leuchterscheinungen auftreten. Eine technische Anwendung zur Lichterzeugung ist eher unwahrscheinlich.

4.4. Sonolumineszenz

Ebenso unwahrscheinlich ist die Verwendung dieses Effektes, der die Entstehung von Lichtblitzen beim Beschallen von Flüssigkeiten mit Ultraschall zu beobachten ist.

4.5. Lichtspeicher

Es sei noch erwähnt, dass es auch möglich ist, Licht zu speichern. Bestrahlt man geeignete Leuchtstoffe mit Licht, z.B. Tageslicht, und kühlt sie dabei, so kann man das Licht im Kristallgitter speichern. Erwärmt man den Leuchtstoff anschließend, so wird das Licht wieder freigesetzt. Wärmeisolierte Glasbausteine mit einer beschichteten und kühlbaren Speicherplatte im Innern könnten in dieser Hinsicht als Lichtquellen funktionieren.

Zwei weitere Wege hat wiederum Waymouth vorgeschlagen /4/. Einmal, ausgehend von Modellen der in Pflanzen ablaufenden Photosynthese, verwendet er in seiner theoretischen Lampe künstlich hergestellte organische Moleküle mit ähnlichen Eigenschaften. Diese Moleküle sollten beim Anlegen elektrischer Potentiale je nach Polarität Licht speichern oder abgeben können. In einer zweiten Version wird ein nichtleitender Kristall als Speicher vorgeschlagen, der Licht in sogenannten Traps einfängt und erst nach Erregung mit speziellen Triggerimpulsen wieder abgibt. Speziell diese zweite Version ist nicht ohne technischen Reiz, zumal sie, zumindest in der Theorie, Wirkungsgrade größer als 100% erlaubt.

5. Schlussbemerkung

Ich habe versucht, die technischen Möglichkeiten im Hinblick auf die Entwicklung neuer Lichtquellen aufzuzeigen. Zumindest die nächsten 20 bis 30 Jahre scheinen mir damit relativ gut abgedeckt zu sein. Darüber hinaus wird die Vorausschau naturgemäß immer unspezifischer. Was wirklich eintritt, hängt weniger von der technischen Machbarkeit sondern mehr von anderen Faktoren ab, auf die ich weiter oben bereits kurz eingegangen bin.

Literaturverzeichnis

- /1/ W. Gurski: Lichttechnik 11(1959)643
- /2/ W. Gurski: Lichttechnik 12(1960)663
- /3/ P. A. Baxter: IES Lighting Review 2(1980)21
- /4/ J. F. Waymouth: J. Light & Vis. Env. 13(1989)1
- /5/ A. Plößl, G. Kräuter, U. Gösele: Spektr. d. Wissensch. 4(2000)84

Emotion und Sensation, Licht in der Erkenntnis unserer Zeit

Karl-Heinz Petzinka

Was ist Licht? Eine zunächst auf den ersten Blick einfache Frage, da die Wissenschaft, bezogen auf das physikalische Phänomen, ja eine klare Antwort aufzeigen kann.

Warum aber beschäftigt dieses Phänomen seit Jahrhunderten die Wissenschaftler, ja bis in unsere Zeit hinein? Mit dem Fortschritt wissenschaftlicher Erkenntnis gibt es neue Fragen, neue Antworten, neue Fragen. Eines ist heute gewiss, je mehr Daten über „das Licht“ gesammelt sind, um so rätselhafter das Phänomen, um so größer die Dunkelheit in der wir tappen.

Auf der einen Seite gelingt es einer Gruppe von Forschern am Lowland Institute of Science in Boston Licht auf eine für Menschen fassbare Geschwindigkeit von 50 km/h abzubremesen und stellen gleichzeitig die Frage, inwieweit eine solche Erkenntnis ein Schritt in ein neues Zeitalter ist, die Vision eines Photonen-Beamers gar der Vorstoff in eine Sphäre, die bis heute nur der Science Fiction vorbehalten ist.



Andererseits erkennen wir, dass es zurzeit ein großes Bedürfnis nach Dingen gibt, die mit der Natur in Verbindung gebracht werden können. Die Menschen suchen nach handgemachten, natürlichen und authentischen Produkten, die Biotik, also Zusammenhang von Technik und biologischer Kenntnis, als Lehre über das Bündeln von Kräften der Natur, wird vorangebracht und am Ende hat man gar den Eindruck, Natur und Natürliches bestimmt wieder unsere Welt.

Je mehr an Erkenntnissen der Forschung bekannt wird, um so größer der Durst nach dem Ursprung des Seins. Die Frage nach dem Sinn des Lebens, die Frage nach dem Glück und die Thematisierung der Zufriedenheit sind Indikatoren für das Freiwerden von Emotionen, als Reaktion auf äußere und innere Reize, die ständig auf unsere Sinnesorgane einprasseln.

Professor Dipl.-Ing. Karl-Heinz Petzinka
Petzinka, Pink und Partner
Cecilienallee 17, D-40474 Düsseldorf

Wir wissen alle, dass gleichzeitig erscheinende Reize sich gegenseitig schwächen und unterdrücken. Jeder von uns kennt die sogenannte „Reizüberflutung“ und das Desinteresse, welches sich dabei einstellt und damit dem Glück wieder ein bißchen weiter entfernt.

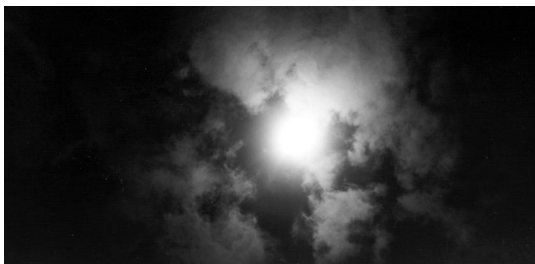
Um so wesentlicher die Frage, ob es eine Art von Mitte gibt, also ein Maß von glücksbringenden und zufrieden machenden Reizen, die in ihrer Überlagerung und Folge das Erreichen, was man mit emotionalem Rausch bezeichnen könnte.



Unsere Zeit, gekennzeichnet durch eine Zeit der Bild- und Abbildereignisse, ein Orkan von Reizüberflutungen, synthetische Lichtbilder über Computersimulationen, den Mog-Ups, den bewegten und dreidimensionalen Fotografien oder der Effekt-Abbildungen, schlichtweg reiht sich eine Sensation der anderen an, während dessen das Ereignis selbst als Übereinanderlagerung von vielen Reizen eine hohe Filterwirkung im Bewusstsein hinterläßt. Das heißt, dass wir über solche Simulationen oder Effekte nur ein Bruchteil noch wahrnehmen und im Ergebnis nimmt das iAbgestumpftsein zu, die Sensationen verblassen schnell und müssen so schnell wir möglich durch neue Sensationen ersetzt werden.

Möglicherweise hat auch die Globalisierung einen großen Anteil an diesem Sensationshunger. Es gibt keinen Ort der Erde mehr, kein Maß der Erdenordnung, das wir nicht beleuchten oder erforschen können. Auch die Kenntnis anderer kultureller Eigenarten erzeugt andere Abbilder in der Erinnerung. Andere Abbilder erzeugen andere Zusammenhänge und fördern auch deshalb ein sich ständig wandelndes Bewusstsein.

Die Menschen, die vom Schatten der Natur geprägt sind, haben einen anderen Lichthunger als die, für die Licht nicht mehr und nicht weniger ist als dürrende Hitze, die demnach auch das Bewusstsein anders prägt.



Suchen die einen aus dem Schatten der Natur die Lichtgestalt, so vergöttern die anderen im Schatten dunkler Höhlen die welterklärenden Geheimnisse. So haben die unterschiedlichen Umweltbedingungen auch ihren Niederschlag im Leben dieser Kulturen. Allein das Kennenlernen dieses „Neuen“ fördert in unserem Bewusstsein ein Stück neue Sensation. So sorgt allein ein anderer Kulturkreis durch Uminterpretation für eine andere Bewusstseinssebene, eine neue Emotion.

Die Subjektivität des Glaubens, eine Lichterscheinung auf eine bestimmte Art wahrzunehmen, sichert die Erkenntnis von Wahrnehmung aus Erinnerung. In Wirklichkeit entstehen jetzt über diese Bilderscheinungen andere Assoziationen als das tatsächliche Ereignis.

Nun gilt es, in der Kunst des Ausdruckes solche Bilderscheinungen so zu beeinflussen, dass damit Emotionen erzeugt werden und wir sind nun mitten im Sensationsbereich unserer Zeitspanne.

In einer solchen emotionalisierten Zeichensprache wird ein Phänomen integraler Zusammenhänge beschrieben, das aus unterschiedlichsten Einflüssen und Gegebenheiten zusammengefügt ist. Ziel solcher gesteuerter Reizbilder ist es letztendlich, in den neuronalen Zentren ein Gefühl des Wohlbefindens oder des Glücks zu erzeugen. Natürlich bleibt dieses Empfinden subjektiv, aber die vier sogenannten Wohlfahrtskonstellationen nach W. Glazer – Wellbeen, Dissonanz, Adaption und Deprivation – bleiben davon unberührt und behalten ihre Bedeutung. Es gilt also in diesem utopischen Glück einen Zufriedenheitsstatus zu erzeugen, der eine Welt aufzeigt, die in jeder Beziehung von dynamischen Prozessen bewegt und beeinflusst ist, also der Himmel auf Erden.

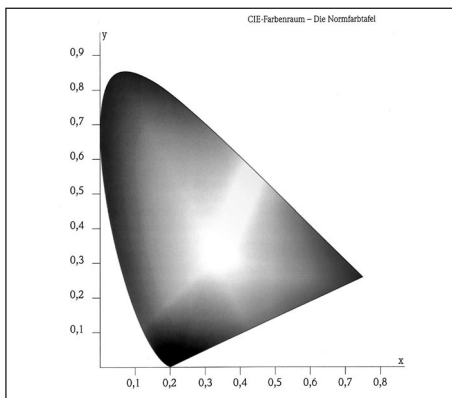
Es scheint naheliegend zu sein, sich eine Vorstellung von lichtbeeinflusstem Wohlbefinden zu eigen zu machen, dass im Gefühl völliger Übereinstimmung aufgeht, einen Konsens von eigener Befindlichkeit und umhüllender Atmosphäre zu finden.



Derzeit sind wir auf dem besten Wege ein monotones Chaos zu erzeugen, voll von Effekten aber ohne die Möglichkeit positiver Filterung, die uns die Sensationslust genommen hat. Vielmehr scheint die emotionale Komponente, als ein Teil solcher Lichtinstallation viel gelebt und gewirkt zu haben, von größerer Bedeutung.

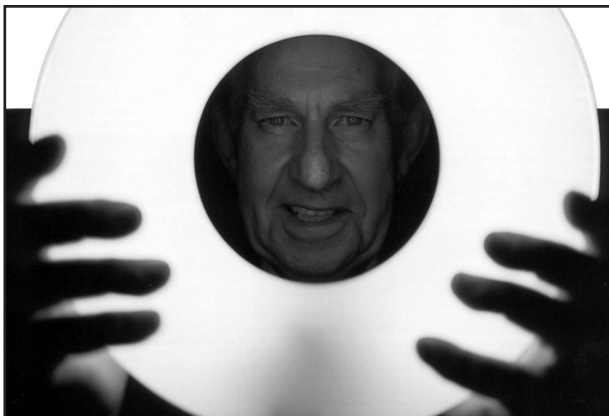
Die Frage nach dem subjektiven Glück erhält in seiner emotional bestimmten Sekunde seine Berechtigung, wird jedoch in der zeitlichen Sequenz und Aufeinanderfolge solcher Ereignisse nicht mehr maßgeblich und verliert gerade auch dadurch seine Dominanz und Bedeutung.

Die Hoffnung, aus diesem Chaos von Sequenzen eine Utopie zu entwickeln bleibt, die neuen Techniken und Seh- bzw. Sichtweisen sind Voraussetzungen, den Menschen in Zukunft zu einer neuen Dimension des „Sehens“ zu führen. Warum stehen wir heute der Sensorik des Sehens bei weitem nicht mit der gleichen Aufmerksamkeit gegenüber, wie bei der Sensorik des Fühlens zum Beispiel. Kann man nicht mit den Augen fühlen lernen oder mit den Augen hören lernen? Wir wissen, dass 3% Unterscheidung bereits ausreichen, um Strukturen zwischen Daumen und Zeigefinger als unterschiedlich festzustellen. Wir wissen, dass eine gleiche Sensorik in der Abhängigkeit zur Temperatur empfindsam auf den Menschen reagiert.



Wir wissen auch, dass die Farbe in einem anderen Temperatursinn auf die Empfindung und damit das Wohlbefinden des Menschen reagiert und hier gilt das Auge als das geschulte Informationszentrum.

Diese Utopie wäre demnach also ein System, das über den Zusammenhang einer Sensorik des Fühlens und des Sehens zu einer neuen Wahrnehmungsebene geführt wird. Die Verknüpfung von emotionalen Gefügen ist möglicherweise das Beherrschen einer anderen Umgebung die letztendlich ein gesteigertes Wohlbefinden als Resultat erzeugt. Es gilt, die bisher angewandte integrative und komplexe Denkstruktur auf eine in jeder Beziehung komplexe sensorisch emotionale Ebene zu steigern, ihr also eine weitere Dimension zuzufügen.



So mag man die Erfindung des „Rise and Shine Lights“, eines Stimmungsaufhellungsgerätes, faktisch eine Sonne zum Mitnehmen, erklären. Emotionsstrategien, sensorgesteuert, bekommen eine soziale Komponente, eine Sensation ganz anderer Art.

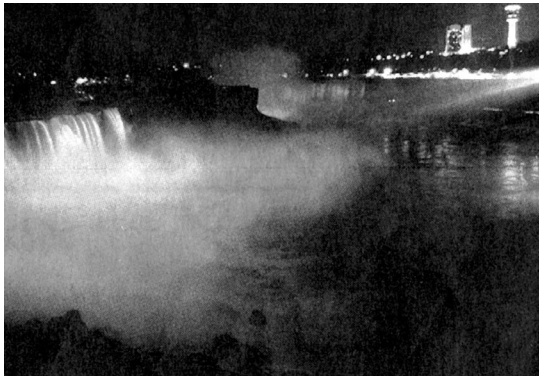
Eine ebenso bemerkenswerte Entwicklung mag der ähnlich komponierte Kiss Communicator sein, die Übertragung einer Emotion in Echtheit. Der eine Communicator berührt das Gerät und haucht ganz leicht seinen Kuss hinein, der andere empfängt bunte und leuchtende Lichtsignale. Eine Antwort auf soziokulturelle Globalisierungserscheinungen, Liebende, die voneinander getrennt sind, virtuell aber emotional miteinander zu verbinden, eine Alternative zum Brief „..... und ich küsse dich tausendmal.....“

Vielleicht ist hier zum ersten mal die Utopie einer neuen Emotion berührt, ein Anfang von Datenübertragung durch Licht, die sich die Eigenart der Geschwindigkeit zunutze macht, vielleicht eine neue Lesart subjektiven Glücks.



Was ist, wenn das Phänomen Geschwindigkeit des Lichtes eine physioplastische Komponente berührt. Wird es möglich sein, Abwehrkräfte auszulösen, anders zu aktivieren als wir es bis heute medizinisch begreifen? Dass ein Vitamin-D-Mangel auf fehlendes oder nicht ausreichendes Sonnenlicht zurückgeführt wird, ist Indikator dafür. Solches Denken und Forschen ist noch nicht beendet. Ein reaktives Verhalten ist immer noch Mittelpunkt solcher Überlegungen. Auch hier ist die „Sonne zum Mitnehmen“ ein Anfang, der vor allem bei Alten und Gebrechlichen schon heute eine andere Bedeutung haben könnte.

Was erst, wenn die Werbung das Licht nicht mehr zuerst als emotionalen Faktor, sondern als reaktiv sensorischen entdeckt? Eine Vorstellung, die Niagara Fälle illuminiert als Seelenzeichen zur Gesundung für gehandicapte Menschen einzusetzen, könnte bereits heute Wirklichkeit sein.



Die emotionale Komponente erfahre eine weitere Steigerung, wenn solche Farberscheinungen nicht der Sensationslust folgen würden, sondern über den Charakter der Farben den Geruch, das Gehör, die metaphorische Ebene, die psychologische und die physiologische Ebene erst miteinander verbinden würde.

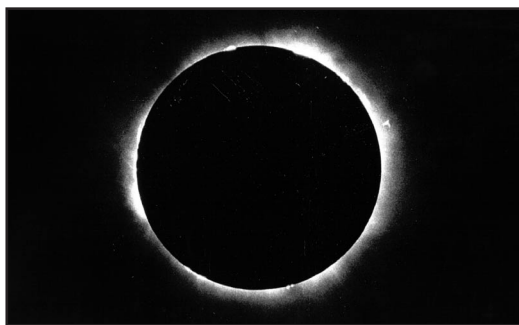
Assoziationen ganz anderer Art lassen sich denken und würden Emotionen auf der subjektiven Glücks- und Empfindungsebene freisetzen und damit tatsächlich eine neue Dimension des Sehens erzeugen, vielleicht schon eine Ahnung des emotionalen Rausches.

Das Doppelleben einer Installation wäre geboren, der Klang der zum Licht wird, das Licht das zur Musik wird und am Ende die Variation des Spiels, eine Emotion subjektiven Glücks. Eine solche Dynamik von Lichterscheinungen ist möglicherweise die Lichtutopie, nach deren Ziel und Erreichbarkeit wir suchen könnten.

Man stelle sich vor, dass der Mensch auf äußere Einflüsse zufrieden oder nicht zufrieden, glücklich oder unglücklich in seiner Feinsensorik bereits Signale ausstrahlt, auf die ihrerseits wiederum die Leucht- und Lichtquellen so reagieren,

dass sie in einem dynamischen Prozess eine sensorische positive Gegenwelt aufbauen. Hier sind Wertvorstellungen von Farberscheinungen, Lichtwirkungen, Wärme- und Kälteempfindungen sicher von außergewöhnlicher Voraussetzung, damit sie in ihrer beeinflussenden Wirkung den Menschen in eine andere Wohlbefindlichkeitsebene hinübergeleiten.

Meiner Ansicht nach ist dies der zentrale Punkt in der Diskussion über zukunfts-fähige Utopien, hier nun die Wirkung des Lichtes jenseits der physikalischen Größe zu begreifen und dadurch wieder eine soziale Komponente zu finden, die eine wesentliche Voraussetzung, immer Motor einer Entwicklung bleiben muss. Wie sonst ist zu erklären, dass es eine Wiederentdeckung des Dunkel gibt. Der Mensch hat möglicherweise vergessen, dass es die Nacht ist, das Dunkel, das ihn zum Licht geführt hat. Die Suche nach subjektivem Glück auf der Schwelle vom Tag zur Nacht muss all denjenigen nahe gewesen sein, die die letzte Sonnenfinsternis in unseren Breiten als vollkommene oder totale Finsternis miterlebt haben.



Solche Phänomene sind hinreichend bekannt, das physikalische Phänomen ausgiebig erläutert, dennoch erzeugt es eine Emotion, die mit nichts anderem vergleichbar ist. Die Erkenntnis der Existenz von Urgewalten ist keine Sensation, ist vielmehr tieferes Erfahren kosmischer Größe. Geburt einer Emotion, die tiefe Spuren subjektiven Glücks hinterlassen kann.

In Kenntnis solcher Emotionen lässt sich unser Gemüt nicht sehr beeinflussen, wenn Licht zum Faktor reiner Effekt-Hascherei genutzt wird, nein, wir sind dessen überdrüssig und suchen vielleicht deshalb nach dem Dunkel, das uns wieder in die Nähe subjektiven Glücks führen könnte. Die Forschung hat im Abbremsen der Geschwindigkeit des Lichtes eine Spur gefunden, die ein weiteres Zeichen der Macht des Lichtes ist.

Was erst, wenn wir die Feinheiten des Lichtes in dem Facettenreichtum des Dunkels, einer Emotion zurückhaltenden Dunkels, schwarzer Finsternis, nächtlicher Fülle, ausgelöschten Mondlichtes, fahler Dunkelheit einer in grau gehüllten Nacht entdecken, was erst, wenn das Licht die Klangfülle der Musik weiterträgt, uns harmonische Gesetzmäßigkeiten vermittelt und das Gefühl der Lichtfarbe und ihrer Temperatur weiterträgt, das die Menschen subjektives Glück erfahren lässt, die Emotionalität weit ab von Sensation, als eine weitere Dimension zulässt?