

Tagungsberichte

2. Internationales
Forum für den
lichttechnischen
Nachwuchs

22. bis 24.9.1995
Freizeitzentrum
Dörnfeld/Ilm



Impressum

Herausgeber:

Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e. V.
Bezirksgruppe Thüringen-Nordhessen
c/o TU Ilmenau
Fachgebiet Lichttechnik
PF 0565
D-98684 Ilmenau
Tel. (03677) 202934 und 202935
Fax (03677) 842463

Tagungsorganisation:

Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e. V.
Bezirksgruppe Thüringen-Nordhessen
in Zusammenarbeit mit dem
Fachgebiet Lichttechnik der TU Ilmenau

Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

mit dem Forum für den lichttechnischen Nachwuchs wurde eine neue Möglichkeit der Verständigung, insbesondere zwischen jungen Lichttechnikern, gefunden. Da die zum ersten Mal 1993 durchgeführte Internationale Jugendtagung "Lux jun. 93" sehr erfolgreich war und bei Bildungseinrichtungen, Firmen und Einzelpersonen große Resonanz fand, haben sich die Veranstalter - die Bezirksgruppe Thüringen-Nordhessen der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft e. V. und das Fachgebiet Lichttechnik der TU Ilmenau - entschlossen, diese Veranstaltung regelmäßig im zweijährigen Abstand durchzuführen.

Unsere Zielstellung ist es, allen beteiligten lichttechnischen Interessierten und Fachleuten eine jugendgemäße Begegnung zu ermöglichen, deren fachliches Niveau sehr hoch ist und in Zukunft auch bleiben soll.

Bei der Ausgestaltung der diesjährigen Veranstaltung wurde an die guten Erfahrungen des letzten Forums angeknüpft. Dabei standen vor allem die Interessen der jungen Lichttechniker im Vordergrund.

Die Organisatoren hoffen auf regen Zuspruch aus ganz Europa, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf der Teilnahme von Jugendlichen aus Osteuropa liegt. Etwa 20 Teilnehmer aus Ländern Osteuropas werden erwartet. Dies ist nur durch die finanzielle Unterstützung durch das Thüringer Ministerium für Justiz und Europaangelegenheiten und die TU Ilmenau möglich, denen wir dafür danken möchten.

Um auch vielen Studenten die Teilnahme zu ermöglichen, sollten die Kosten für die Teilnehmer niedrig gehalten werden. Dies gelang durch die Wahl des Tagungsortes und Spenden der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft Mitteldeutschland, der Thüringer Energie Aktiengesellschaft sowie des Fördervereins des Fachgebietes Lichttechnik der TU Ilmenau. Die Fördergemeinschaft "Gutes Licht" stellt Prospekte und Materialien zur Verfügung. Für all diese Unterstützung sind wir dankbar.

In das Programm des Forums wurde jeder angemeldete Vortrag aufgenommen. Es fand keine Auswahl der Beiträge statt. Zusätzlich zu den Vorträgen der jungen Lichttechniker soll auch dieses Jahr wieder ein Schulungsprogramm von renommierten Fachleuten angeboten werden.

Neben den offiziellen Veranstaltungen gibt es vielfältige Möglichkeiten zu Diskussionen und Gesprächen, auch das gesellige Beisammensein soll nicht zu kurz kommen.

Die Veranstalter wünschen dem Forum "Lux jun. 95" einen vollen Erfolg.



Dr.-Ing. H.-J. Fisch
Vorsitzender der Bezirksgruppe
Thüringen-Nordhessen
der LiTG



Prof. Dr.-Ing. habil. D. Gall
Leiter des Fachgebietes
Lichttechnik der TU Ilmenau

Vorträge

H.-J. Hentschel , Traunreut 1975-1995 Innenbeleuchtung zwischen Normung und Akzeptanz.	6
W. Adrian , Waterloo, Ontario (Canada) Visual Functions and Visual Performance in Mesopic Lighting Levels.	10
H. Hofmann , Lüdenscheid Über die Bedeutung von Beleuchtung für die Akzeptanz von Innenräumen.	21
H. P. Stormberg , Eindhoven (NL) Umweltaspekte von Gasentladungslampen: Probleme und Chancen.	26
F. Schmidt , Ilmenau Einsatz moderner CCD-Technik zur Leuchtdichtemessung.	27
J. Schanda , Wien (A) Farbe und Computer.	30
W. Richter , Ilmenau Beleuchtung und Abbildung mit Laser.	36
Ch. Swarlik, E. Krochmann, Dr. T. Q. Khanh , Berlin Photometrie heute.	39
U. Adomeit , Karlsruhe Messung von Bildschirmfarben mit verschiedenen Farbmeßgeräten.	42
St. Eiselt , Karlsruhe Messungen mit einem Drehspiegel-Goniophotometer innerhalb der photometrischen Grenzentfernung.	45
B. Junghans, I. Fischbach , Ilmenau Leuchtenvermessung mittels bildauflösender Meßtechnik.	48
J. Raditschová, E. Pastuchová, J. Kuma, D. Gasparovský , Bratislava (SK) Die direkte Methode der Untersuchung der Kurven, die die Reflexionsflächen bilden.	52

R. Dorn, Halle Lichtgestaltung bei Sanierung historischer Objekte.	56
St. Salinger, Karlsruhe Licht höherer Farbtemperatur in der Innenraumbelichtung. Komplexe Licht- und Farbgestaltung in Arbeitsstätten.	59
D. Seifert, Halle Komplexe Licht- und Farbgestaltung in Arbeitsstätten mit Planungsbeispielen.	62
U. Greiner Mai, Ilmenau Untersuchungsmethoden für die Lichtenwendung - Erfahrungen und Diskussion.	65
T. Vercek, Karlsruhe Einfluß der Wandleuchtdichte auf die Blendung.	68
C. Vandahl, Ilmenau Betrachtung zu Güte Merkmalen der Einzelplatzbeleuchtung.	71
T. Müller, J. Hesse, K. Stolzenberg, Berlin UGR-Blendungsbewertung - Übereinstimmung zwischen Berechnung und Beurteilung.	74
D. Fischer, Darmstadt Orientierungshilfen für Sehbehinderte im öffentlichen Bereich durch Verbes- serung der visuellen Kontraste.	77
J. Baranski, M. Lewandowski, W. Golik, Poznan (PL) The Visibility of the Obstacles on the Illuminated Road.	80
St. Völker, Ilmenau Untersuchungen zum Beleuchtungsniveau bei Arbeiten mit geringen Sehanforderungen.	83
M. Górczewska, P. Zwierzchowski, Poznan (PL) Visual Work Conditions on the Working Standings Illuminated with "Darklight" Luminaires.	86
A. Nemrawa, Karlsruhe Zeitverhalten von Leuchtstofflampen beim Einbrennvorgang.	89
Th. Dahlem, Darmstadt Methodischer Vergleich von Kraftfahrzeugscheinwerfern des Abblendlichts.	92

H. Rudolph, Arnsberg Computersimulation von Leuchten als Entwicklungswerkzeug des Lichttechnikers.	95
St. Wolf, Ilmenau Örtlich aufgelöste Leuchtdichtemessung mit CCD-Kamera.	98
P. Schaeffer, Karlsruhe Zur Problematik einer Glasabdeckung bei Leuchtstofflampen-Leuchten.	101
W. Kedziora, M. Rózycka, Poznan (PL) The Impairments of the Control Gears in the Installations of Roadway Lighting.	104
M.-G. Caracas, I. Costea-Marcu, M.-A. Sarbu, A.-D. Constantinescu, Bu- karest (RO) The Noise of High Frequency Electronic Ballasts.	107
J. Hesse, Th. Müller, K. Stolzenberg, Berlin Vergleich der Berechnungsergebnisse verschiedener Beleuchtungspla- nungsprogramme mit den tatsächlich gemessenen Werten in Versuchsräumen.	110

1975-1995 Innenbeleuchtung zwischen Normung und Akzeptanz

Hentschel, Hans-Jürgen

Einleitung

Planung und Ausführung von Innenbeleuchtungsanlagen verlangen einerseits quantitative Maßstäbe für Menge und Qualität des Lichtes, andererseits wegen der engen Beziehungen zwischen Licht, Raumarchitektur und Wirkung auf den Benutzer schöpferische Phantasie bei der Lösung der gestellten Beleuchtungsaufgabe. Beides steht scheinbar im Widerspruch zwischen Lichtingenieur und Architekt. Der eine bemüht die quantitative Regel, hier die Norm DIN 5035 als Handwerkszeug, der andere empfindet diese Norm als Fessel seiner individuellen, der Situation des Bauherrn und Nutzers angepaßten Gestaltung. Im folgenden wird versucht, diesen Widerspruch aufzulösen und die heutigen Entwicklungstendenzen zu flexibler Handhabung der Norm - Ursprung des heutigen Normenwerkes 1975 - und zu höherer Akzeptanz durch den Benutzer - Beispiele heute 1995 - deutlich zu machen.

Die Norm DIN 5035

Bis zur Ausgabe Oktober 1979 der Norm DIN 5035 waren die Leitsätze der Deutschen Beleuchtungstechnischen Gesellschaft und der DLTG als Norm erstmals 1935 ausgegeben worden. Diese Leitsätze und späteren Ausgaben als FNL- Norm DIN 5035 von 1953, 1963 und 1972 waren Empfehlungen, denen ein Hintergrund verbindlicher arbeits-hygienischer Richtlinien fehlte. Erst mit dem Begriff "Humanisierung der Arbeitswelt" verbunden erschien am 20. März 1975 die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättVO), die in § 7.3 als ein Schutzziel eine angemessene Beleuchtung fordert, die "...sich nach der Art der Sehaufgabe richtet...". Es gelang in den Jahren 1975 bis 1979 im Sinne einer einheitlichen Planungspraxis die Arbeitstätten-Richtlinien (ASR) zu § 7.3 mit der Ausgabe Okt. 1979 von DIN 5035 zu harmonisieren. Auch die öffentlichen Verwaltungen schlossen sich mit der Ausgabe 1984 der "RiBelÖG" im wesentlichen der Norm an.

Es ist folgendes festzuhalten:

1. Die Norm schreibt als Ergebnis intensiver Beratungen mit allen interessierten Kreisen Mindest-Richtwerte und Grenzwerte fest.
2. Das Erfüllen der Norm, die "normgerechte Beleuchtung" ist zwar nach wie vor nur Empfehlung, bedeutet aber den Nachweis, daß die gesetzlichen Schutzziele des Gesetzes, hier § 7.3 der ArbStättVO erfüllt werden.

Der Nachweis der angemessenen Beleuchtung läßt sich auf andere Weise als nach der Norm nur schwer gegenüber der Gewerbeaufsicht und der Berufsgenossenschaft führen. Daher wird sich der Planer zunächst in der Regel auf die Norm abstützen. Inwieweit und ob dadurch der Spielraum zwischen normgerechter Beleuchtung und Akzeptanz eingeengt wird ist im folgenden zu erläutern.

Prof.Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Hentschel
Technische Universität München
Waldkraiburger Str.14. 83301 Traunreut

Gütemerkmale - Mindest- und Grenzwerte

Die Gütemerkmale sind bekannt. Soweit sie quantitativ erfaßbar sind gibt die Norm Mindest-Richtwerte oder Grenzwerte an. Die Nennbeleuchtungsstärke E_n ist ein solcher Mindest-Richtwert für einen Katalog von Tätigkeiten, während die Leuchtdichte-Verhältnisse von maximal 10:3:1 im Raum und die Kurven zur Begrenzung der Blendung Grenzwerte darstellen, deren Überschreiten zu Beschwerden führt. Insofern fehlen außer qualitativen Hinweisen Empfehlungen in der Norm, wie der Grad der visuellen Annehmlichkeit der Umgebung - die visuelle Akzeptanz - verbessert werden kann. Das ist auch nicht Aufgabe der Norm genauso wenig wie sich die Gestaltung eines Bauwerkes durch den Architekten normen läßt - und das ist gut so!
Am Beispiel des Beleuchtungsniveaus, d.h. Zusammenwirken von Beleuchtungsstärken und Reflexionseigenschaften im Raum mit dem Ergebnis der Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld wird der Begriff der Akzeptanz erläutert.

Von Grenzwerten zur Akzeptanz

Um vom Begriff der Nennbeleuchtungsstärke als zu planender Mittelwert der Allgemeinbeleuchtungsstärke im Raum weiter zu kommen sei der von Köhler formulierte Begriff des Farbklimas eingeführt:

"Das Farbklima ist die im Raum durch Licht (Beleuchtungsniveau und -verteilung, Beleuchtungs- und Farbart) und Farbe (Farbton, Sättigungsgrad, Verteilung im Raum, Farbwiedergabe) in Verbindung mit der Form vorhandene physiologisch und psychologisch wirksame Raumstimmung."

Die komplexen Beziehungen der Wirkung von Licht und Farbe im Raum seien durch Bild 1 veranschaulicht.

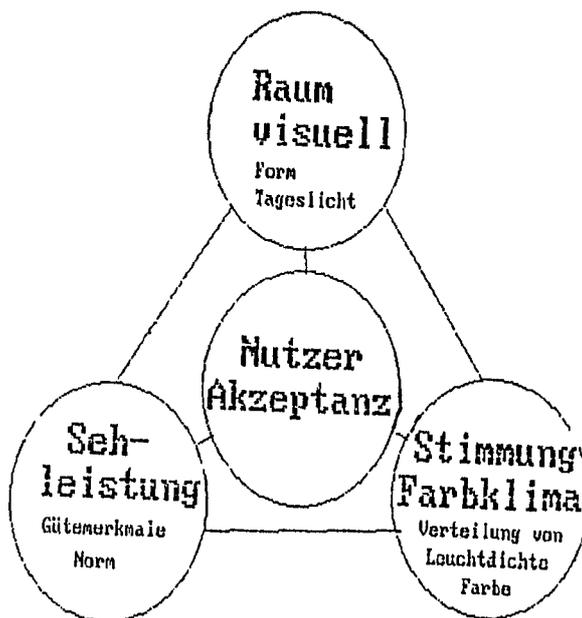


Bild 1: Visuelle Akzeptanz des Raumes

Wir unterstellen, daß die für die Sehleistung bei der betreffenden Sehaufgabe erforderliche Beleuchtung an Arbeitsplatz und Umgebung "normgerecht" ausgeführt ist. Die Stimmung, d.h. die Motivation zur Leistung wird dann durch die Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld in einem als annehmlich bezeichneten Bereich nach Bild 2 günstig beeinflusst. Dieser in Bild 2 schraffierte Bereich "ausgewogener Leuchtdichten" ist wesentlich enger als die Grenzwerte nach der Norm.

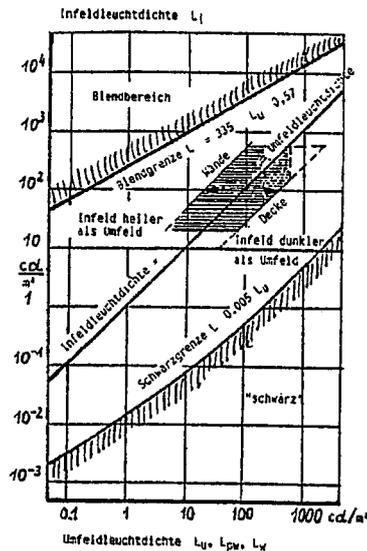


Bild 2: Objektleuchtdichte, Schwarzgrenze und Blendbereich mit schraffiertem "ausgewogenen" Bereich

Daraus ergeben sich konkrete Empfehlungen für annehmbare Leuchtdichteverhältnisse zwischen Sehaufgabe, Arbeitsfläche, Stellwände, Wände und Decke im Raum. Im Dialog zwischen Lichtingenieur und Architekt/Nutzer bedeutet dies eine komplexe Systemplanung mit Festlegungen der Beleuchtungsart (direkt/indirekt, Platz-/Allgemeinbeleuchtung/Beleuchtungszonen/Tageslicht) und der Raumausstattung (Farben/Reflexionsgrade), um die Berechnung der Leuchtdichteverteilung zu ermöglichen. Wenn versucht wurde die Akzeptanz durch eine einzige komplexe Kennzahl zu beschreiben so ist das wohl ein hoffnungsloses Unterfangen. Es erscheint jedoch durchaus möglich, durch eine Bewertung der Leuchtdichteverteilung in Verbindung mit dem Farbmuster zu einer Aussage über die "Annehmlichkeit" im Sinne visueller Akzeptanz zu kommen. Damit sind immerhin die Güte Merkmale Niveau, Kontraste im Gesichtsfeld, Vermeiden von Blendung und im weiteren Sinne auch die Farbharmonie eingeschlossen.

Beleuchtungslösungen mit besserer Akzeptanz

Beispiele neuer Beleuchtungsanlagen vorzugsweise in Büros zeigen Ansätze einer Differenzierung gegenüber der "Lichtsoße" bisheriger Konzepte. Häufig wird die Beleuchtung aufgeteilt in einen arbeitsplatz-bezogenen Anteil und eine Allgemeinbeleuchtung. Bei der Überarbeitung der Norm DIN 5035 ist in diesem Sinne auch eine flexiblere Empfehlung als bisher zu erwarten. Eine arbeitsplatz-bezogene Direktbeleuchtung wird mit einer indirekten Allgemeinbeleuchtung kombiniert. Verschiedene Raumzonen oder auch Zonen mit wechselnden Aktivitäten - z.B. Büroarbeit, Besprechung, Pause usw. werden verschieden evtl. wechselnd beleuchtet. Besondere Bedeutung erlangt die Kombination der künstlichen Beleuchtung mit dem Tageslicht, vorzugsweise mit einer sensorgesteuerten tageslichtabhängigen Steuerung der künstlichen Beleuchtung.

Schließlich erzeugt man die im Gesichtsfeld nötigen Leuchtdichten durch eine Indirektbeleuchtung von Decke und Wänden aus Spiegelrinnen, den "Wallwashern". Der Arbeitsplatz wird durch Strahler über Sekundärreflektoren beleuchtet.

Diese und weitere Beispiele differenzierter Beleuchtung werden technisch und wirtschaftlich möglich mittels Lampen hoher Lichtausbeute an elektronischen Vorschaltgeräten, neue Leuchtentechniken, von Beleuchtungselektronik zur Lichtsteuerung und der Anwendung von Halogen-Niedervoltlampen in Strahlern.

Neue Planungspraxis

Die skizzierte Entwicklung von der Norm zur Akzeptanz der Beleuchtung stellt höhere Anforderungen an den Lichtingenieur. Es genügt nicht, über gute Fachkenntnisse zu verfügen und fachspezifisch zu denken. Ebenso wenig genügt es in Zukunft, einzelne Produkte sprich Leuchten zu verkaufen. Über die enge Spezialisierung hinaus sollte der Lichtingenieur befähigt werden, Problemlösungen für komplexe Systeme von Anlagen zu finden. Dazu ist interdisziplinäres Denken und die Fähigkeit zur Kooperation im Planungsteam, hier mit Architekt und Nutzer erforderlich. Insofern sollten diese Betrachtungen dazu dienen, auch Anregungen zur Erweiterung der Studieninhalte über das reine Fachstudium hinaus zu geben, sei es individuell, sei es im Rahmen erweiterter flexibler Studiengänge.

VISUAL FUNCTIONS AND VISUAL PERFORMANCE IN MESOPIC LIGHTING LEVELS

Abstract

With decreasing luminance levels the spectral sensitivity of the eye changes and it becomes more blue sensitive. This goes in concert with the fading of colours until, in low levels, we perceive brightness only. It can be expected that the basic visual functions such as Contrast Sensitivity, Visual Acuity and Performance as well as the pupil size are dependent on the perceived brightness and not on the photopic luminance, which in the range of mesopic and scotopic vision is an inappropriate measure as it is based on $V(\lambda)$ only.

A photometric quantity that accounts for the changing spectral sensitivity of the eye is called the equivalent luminance L_{eq} . An algorithm has been developed to allow for its direct calculation. This equation system permits the evaluation of the above mentioned visual functions on the basis of perceived brightness. The results show that the brightness expressed in terms of L_{eq} indeed controls the visual functions. Consequently, the equivalent luminance L_{eq} for light of different spectral power distributions can be calculated for levels of mesopic vision to show the effect on the visual functions. As the spectral sensitivity of the eye is shifting to the blue with lower light levels, blue and blue rich power distribution of the light appear brighter and allow to achieve higher visual performance.

Introduction

In order to establish an appropriate luminance measure in the range of mesopic vision, we have to know the relative spectral sensitivity of the eye, which is called $VQ(\lambda)$. Because of the rod cone interaction which occurs in mesopic vision, the $VQ(\lambda)$ curves are dependent on the luminous intensity level. Thus, the need arises for an adequate evaluation of radiance which results in brightness sensation.

In 1964 the CIE suggested a set of curves to describe the relative spectral sensitivity of the eye in the range of mesopic vision¹. This set of curves was partially based on data of J.A. Kinney obtained for a 2° field on 10° extra foveal location.² These curves are depicted in Figure 1. They are embraced by the CIE $V(\lambda)_2$ -function and the scotopic $V'(\lambda)$ function. The restrictions involved in that system which the CIE suggested for

preliminary use, prompted further research that included the effect of the field size. This was done in 1972 and published in English in 1984.³ Three young emmetropic observers matched in a biportite field the brightness of spectral lights to the reference light of 530 nm for six illuminance levels ranging from 30 trol to 0.0003 trol in steps of 10 trolands. This was carried out for field sizes of 3°, 9.5° and 64°, which was the limit given by the apparatus. The subjects observed through an artificial pupil of 2mm diameter. The method and procedure of the investigation is described in more detail in Ref. 3. The resulting data allow to obtain the "equivalent luminance L_{eq} ", that takes the actual spectral sensitivity of the eye into account. L_{eq} reads:

$$L_{eq} = K_{m, L_{eq}} \int L_e V(\lambda, L_{eq}, \epsilon) d\lambda \quad eq.1$$

with K_m , photometric equivalent dependent on L_{eq}
 L_e , the spectral radiant density
 $V(\lambda, L_{eq}, \epsilon)$ spectral sensitivity of the eye termed VQ_e

In photopic luminance levels VQ_e becomes $V(\lambda)_e$

$$VQ_e \rightarrow V(\lambda)_e \quad \text{photopic}$$

in scotopic levels we find good agreement with $V'(\lambda)$

$$VQ_e \rightarrow V'(\lambda)_e \quad \text{scotopic}$$

Stiles suggested a $V(\lambda)$ curve obtained with a 10° field based on colour matching functions that was recommend by the CIE for large field photometry.⁴ The results obtained with the 9.5° field compare very well with Stiles 10° data which indicates, that $V(\lambda)_{10^\circ}$ holds also for brightness matching and correctly describes the large field spectral sensitivity.³

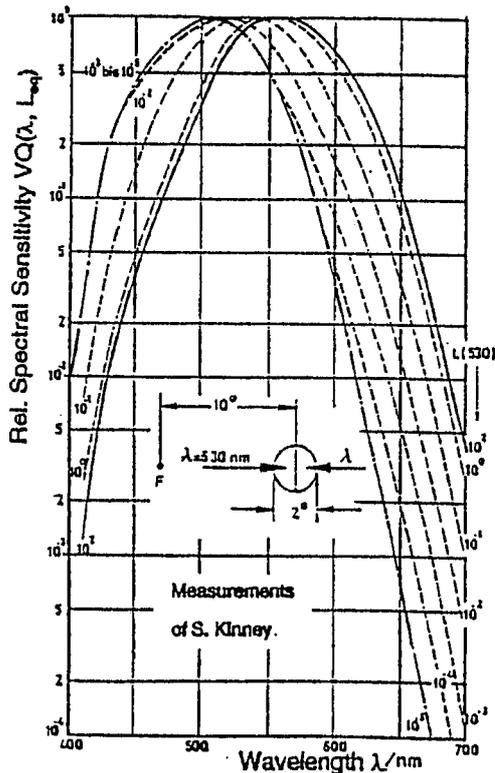


Fig. 1
 Relative Spectral Sensitivity $VQ(\lambda, L_{eq})$ as suggested by the CIE in 1963 (1) for preliminary use. The dashed curves are adopted from measurements of S. Kinney (2) using a field of 2° in size at 10° extrafoveal location.

Development of the model

In order to calculate L_{eq} it is desirable to use equations that can also be applied for the development of an instrument to measure the equivalent luminance. An algorithm was developed on the basis of the data reported in Ref. 3. Fig. 1 reveals that the curves can be approximated by parabolae which read in a general form:

$$\log(VQ) = A(\lambda - H)^2 \quad \text{eq. 2}$$

An analysis of the data for the best fit of the parameter A revealed:

$$A = J \left(1 + \left[\frac{\log L + K}{T} \right]^2 \right)^{1/2} - M + N(e^{10 \log L}) \quad \text{eq. 3}$$

Log is always based on 10

for the parameter H we find:

$$H = \left(\frac{P}{Q + (\log L + R)^2} \right) + S \quad \text{eq. 4}$$

With equation 3 and 4 inserted into equation 2, we obtain the following expression termed Model 1:

$$\log VQ_e(\lambda, L) = \left[J \left(1 + \left[\frac{\log L + K}{T} \right]^2 \right)^{1/2} - M + N(e^{10 \log L}) \right] \times \left(\lambda - \left[\frac{P}{Q + (\log L + R)^2} + S \right] \right)^2 \quad \text{eq. 5}$$

where:

	$\epsilon = 3^\circ$	$\epsilon = 9.5^\circ$	$\epsilon = 64^\circ$
J	2.902E-10	7.68E-06	9.914E-09
K	1.840E+00	2.178E+00	2.049E+00
T	3.692E-05	7.872E-01	9.196E-04
M	1.607E-04	1.549E-04	1.474E-04
N	4.569E-12	1.831E-12	-1.386E-13
P	3.029E+02	1.545E+02	1.017E+02
Q	5.118E+00	2.773E+00	1.858E+00
R	-1.188E+00	-1.193E+00	-1.188E+00
S	4.975E+02	4.988E+02	4.988E+02

In order to improve the model especially to render the fitting less dependent on the field size, a "window function" was superimposed leading to Model 2:

$$VQ_e(\lambda, L) = (\text{Model 1}) + \frac{B/1.8}{1 + \frac{2.286(\lambda - 531)}{-4.84 \log L + Z}} \cos \left(\frac{4\pi(\lambda - 531)}{-4.84 \log L + Z} \right) \quad \text{eq. 6}$$

with:

$$\begin{array}{lll} B_{3^\circ} = 0.08 & B_{9.5^\circ} = 0.06 & B_{64^\circ} = 0.06 \\ Z_{3^\circ} = 171.5 & Z_{9.5^\circ} = 162.85 & Z_{64^\circ} = 154.35 \end{array}$$

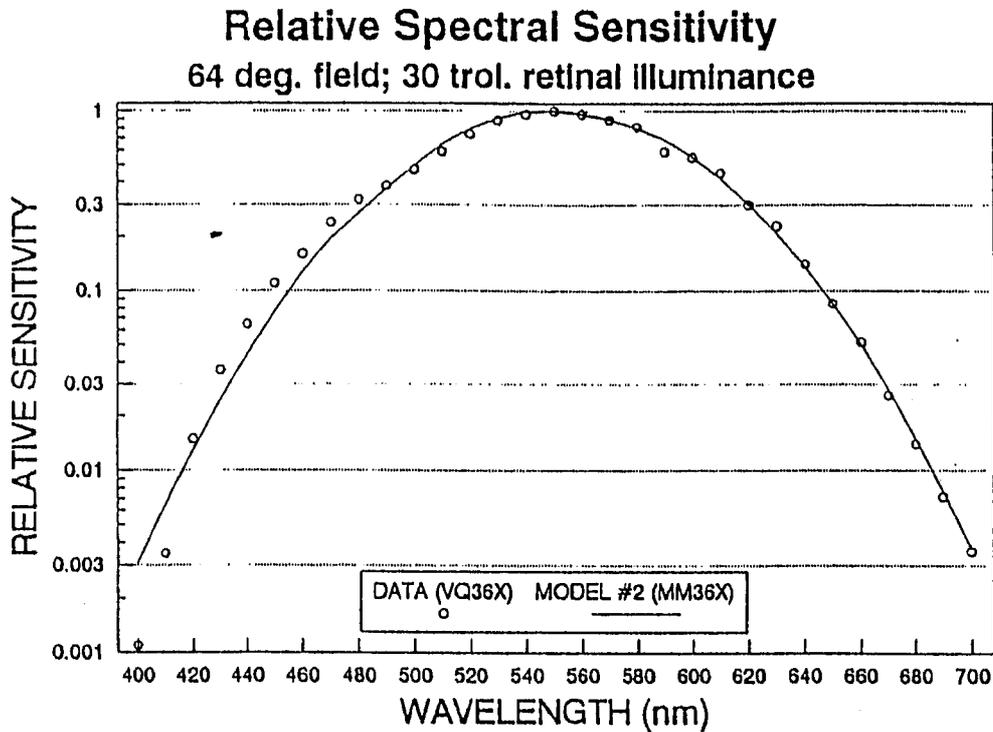


Fig. 2 Relative Spectral Sensitivity for a 64° field of 30 troland calculated using equation 6 (curve) in comparison with measured data (open circles).

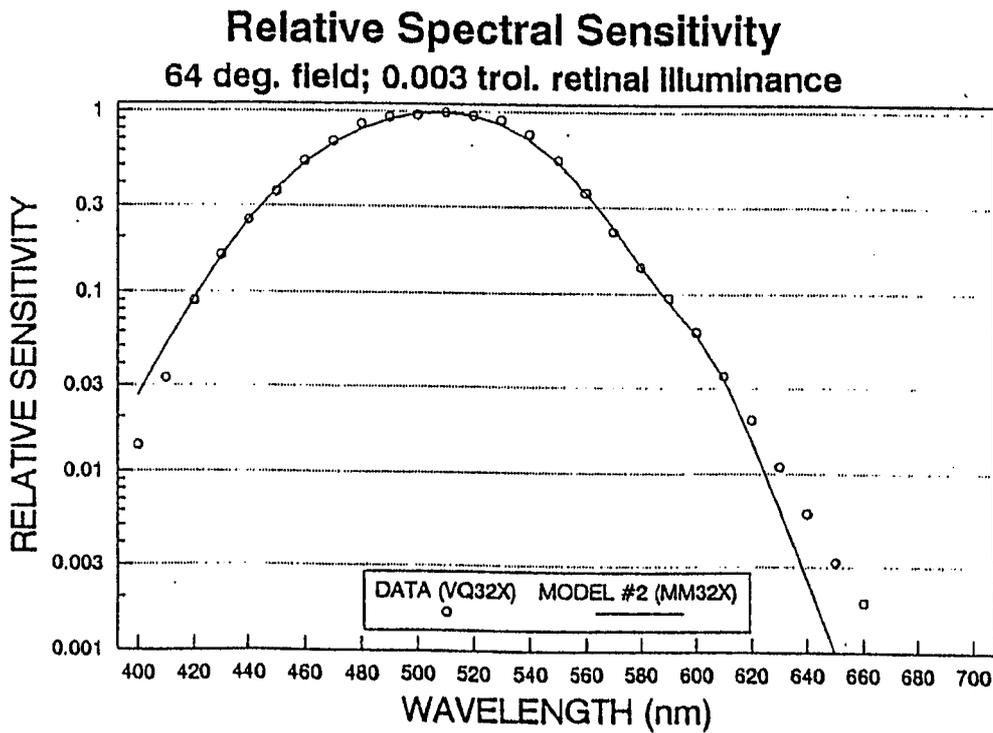


Fig. 3 Relative Spectral Sensitivity as in Figure 2 but for 0.03 troland retinal illumination. The shift of the maximum from 555 nm to around 510 nm becomes obvious.

Model 2 describes the set of data as shown in Fig. 2 and 3. These are typical examples out of a set of 18 following from six luminance levels and 3 field sizes. Larger deviations occur, generally in regions of sensitivity smaller than 10% only.

Basic Visual Functions and L_{eq} :

The Contrast Sensitivity

The relative contrast sensitivity based on 550 nm wavelength at 1 cd/m² is shown in Fig. 4 for six narrow band spectral lights ranging from 431 nm to 660 nm, measured over 3 decades of background luminance. The curves diverge towards lower levels of L_b with the sensitivity highest in blue and lowest in red.

The reason for this effect is that lights of 431 nm dominant wavelength are perceived much brighter at 0.01 cd/m² luminance than for example red of 660 nm. It is clear that RCS is decreasing in concert with longer wavelength of the spectral lights.

The relative contrast sensitivity, however, is found the same for all spectral lights when plotted versus the equivalent luminance L_{eq} , that reflects the *perceived brightness*. The data points for RCS fall around one curve that is close to that for ~530 nm as shown in figure 5.

The Visual Acuity

I measured the Visual Acuity using Landolt rings of high contrast ($C = .92$) of my own eye that was set in the state of Cycloplegia and was corrected for longitudinal chromatic aberration.⁵ The investigation ranged over 2 decades of luminance below 10 asb (3.18 cd/m²). The used small-band interference filters did not allow to produce higher levels. In fig. 6 the average out of 4 sessions are shown for the four spectral lights used. In this graph we observe that for $L_b = 10$ asb the acuity was found the highest with 587 nm (yellow), the same in light of 618 nm (red) and 519 nm (bluish-green) and the lowest in blue of 473 nm. In low levels of luminance L_b this trend is reversed and the blue and bluish-green spectral lights yield higher values of visual resolution than yellow and red. Again this is attributable to the lower brightness that lights of longer wavelength produce at the same luminance level in the mesopic range. This is clear from fig. 7 where the same data points as in fig. 6 are plotted versus L_{eq} . The straight lines become parallel reflecting that the resolution of the eye decreases with L_{eq} for every spectral light with the same slope. Confirming control measurements had been performed for the points $VA = 0.35$. For three wavelengths the necessary luminance levels had been sought which yielded $VA = 0.35$. The results are entered in the graph and fit the lines well.

The results of visual resolution termed Visual Acuity are shown for three levels of luminance (solid curves) and equivalent luminance (dashed curves) as a function of the wavelength of the lights. The curves in figure 8 exhibit the same trend for the 3 different levels of brightness when expressed as equivalent luminance. In low levels of luminance L_b we find the observed increase toward blue, as it is seen brighter.

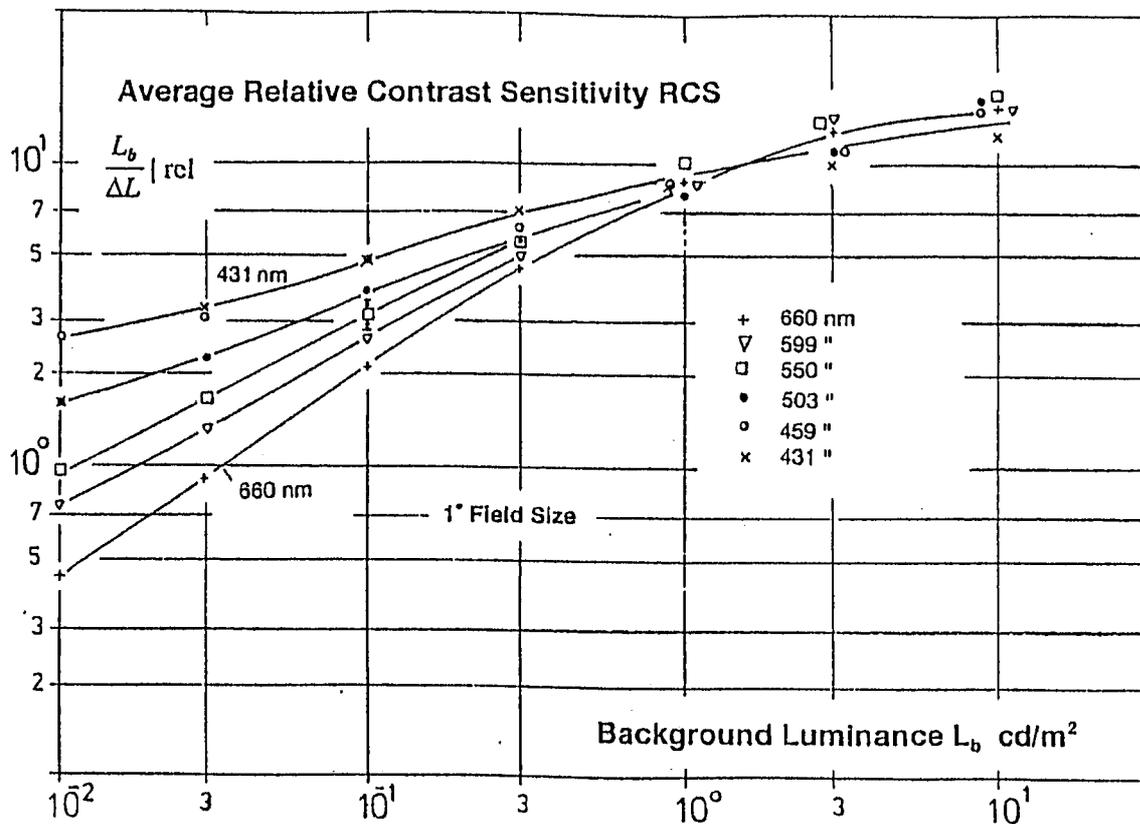


Fig. 4 Contrast Sensitivity for spectral lights of 5 different wavelengths. The measuring field of 1° appeared in a ganzfeld of the same light. The curves are based on 550 nm as RCS equals 10 at a background luminance of 1 cd/m^2 .

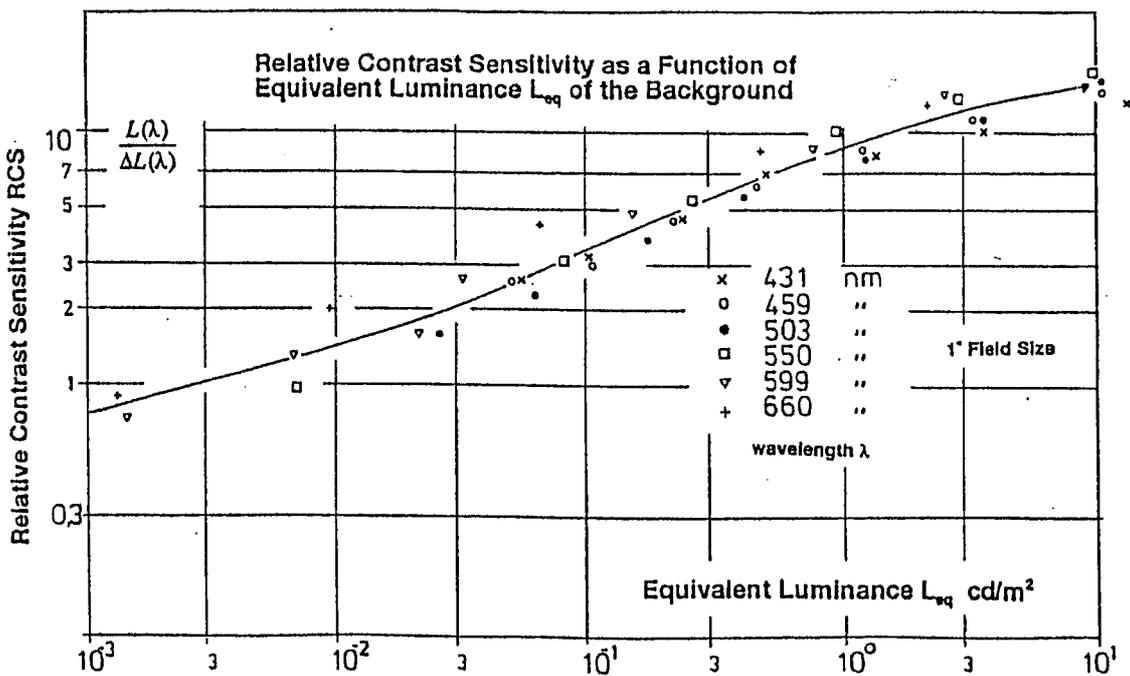
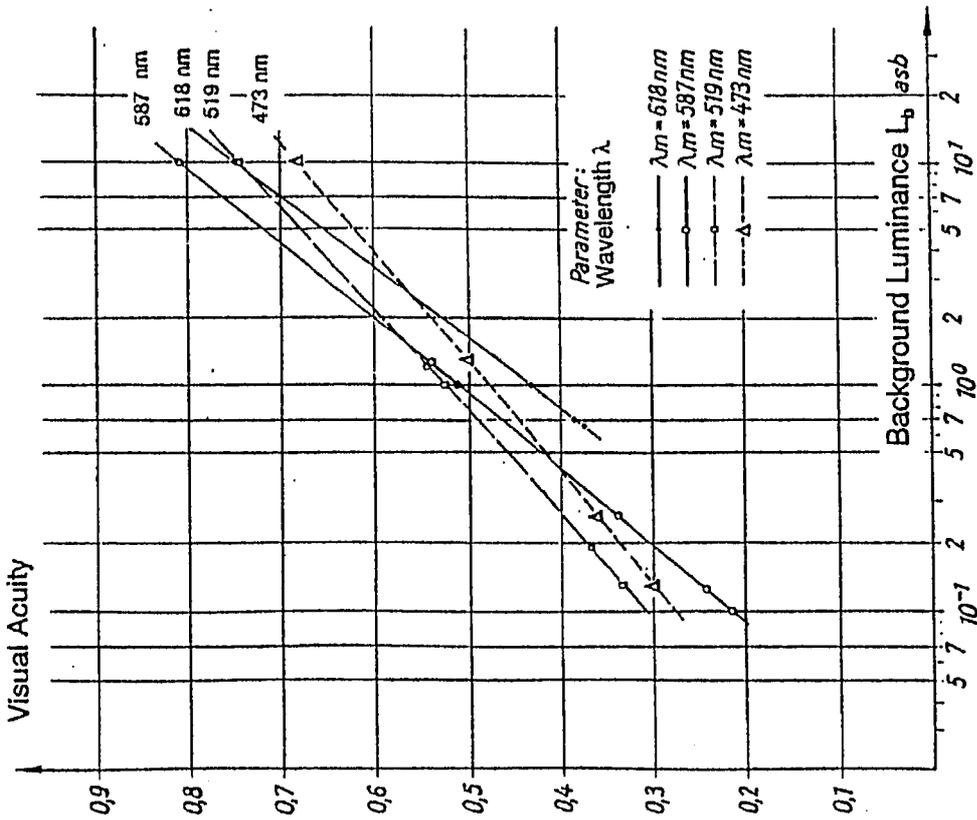
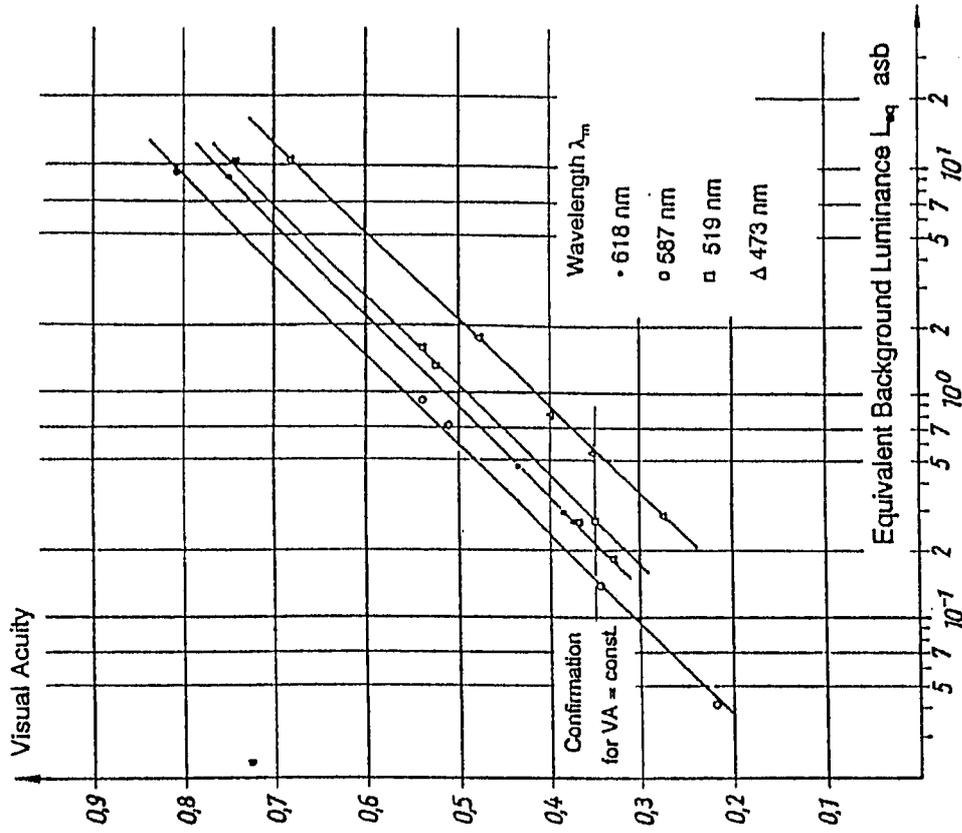


Fig. 5 Contrast Sensitivity RCS as in Fig. 5 but plotted versus the equivalent luminance L_{eq} . The data points seem to fall around one curve, that indicates that CS is dependent on the perceived brightness only.



Regression of Visual Acuity Data of Subject Ad. from Different Experimental Sessions with Cycloplegic Eyes Corrected for Chromatic Aberration.

Fig. 6



Regression of Visual Acuity Data of Subject Ad. From Different Experimental Sessions with Cycloplegic Eyes Corrected for Chromatic Aberration as a Function of the Equivalent Luminance of the Background.

Fig. 7

Moreover, it is evident that in all levels of L_{eq} the visual resolution in blue is the lowest, it reaches a maximum at 587 nm and drops again at 618 nm but not down to values obtained with 473 nm.

The reasons for that may be found in the density of S, M and L cones. Myopia did not occur, as the cycloplegic eye had been corrected for that. The minification due to the used minus lenses had been accounted for. Diffraction effects on the pupil fringe especially in the red portion of the spectrum had been very small due to the large pupil that occurs in cycloplegia and had no limiting effect on the resolution. The graph shows that the visual resolution in the long wavelength part of the spectrum is higher, than in the shorter spectral region. This is in all likelihood due to the considerably greater receptor density formed by M and L cones.

The pupil size

The apparent pupil size has been measured at five different wavelength spread over the spectrum in ganzfeld observations.⁶ The average of different readings gained from several sessions of the authors eye (35 years at that time) are shown in figure. 9. In near photopic luminance levels, the pupil diameter is found to be equal for all wavelength of light except for 473 nm where smaller pupils are resulting if the luminance measurement is based on $V(\lambda)_2$. It appears that the pupil mechanisms has a higher blue sensitivity than $V(\lambda)_2$ predicts. This is often attributed to rod intrusion, although rods contribute minimally in levels around 30 asb or ~ 10 cd/m². The deviation disappears when large field photometry is used (10° field) which more appropriately describes the spectral sensitivity of the eye in ganzfeld condition.

However, this seems not to apply for lower mesopic levels as figure 10 reveals. In this graph the pupil diameters are plotted versus the equivalent luminance L_{eq} showing that with one exception - the brightness controls the pupil size.

Visual Performance

Loe and Waters⁷ investigated visual performance in lights of different power distributions. They applied a method similar to that used by H.C. Weston 1945. The subjects had to read a chart of Landolt rings of different contrast and size. In a second set of experiments the task was more complex. The optotypes seemed to consist of 3 concentric Landolt rings in which the gap of every ring had a different orientation. Visual performance was expressed as the number of the correctly identified ring gaps to the total number of rings read and the speed with which the reading was performed:

$$VP = \frac{\#correct\ rings}{total\ \#of\ rings} \cdot \frac{1}{reading\ time\ (min)}$$

This criterium represented a high resolution task and the necessary time to do it and covers truly visual tasks as occurring in most our activities and visual demands in photopic vision. Loe and Waters performed the experiments in light of five different power distribution of practical lamps termed: MFC (White) MBF (Kolorlux, Kolorarc) SON and Tungsten Halogen. The results of two selected experiments are shown in figure 11 and 12 in comparison with the visual performance function that was derived from H.C. Weston's comprehensive studies. This function has been compared with experimental findings of McNelis, Smith and Rea, Simonson and Brozeck, Muck and

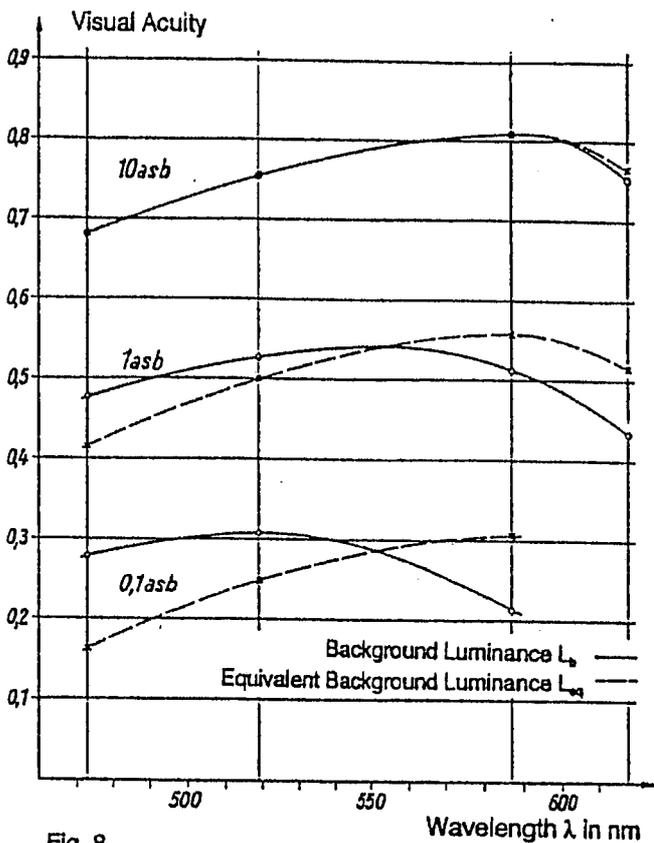


Fig. 8
Visual Acuity of the Cycloplegic Eye Corrected for Chromatic Aberration as a Function of Wavelength

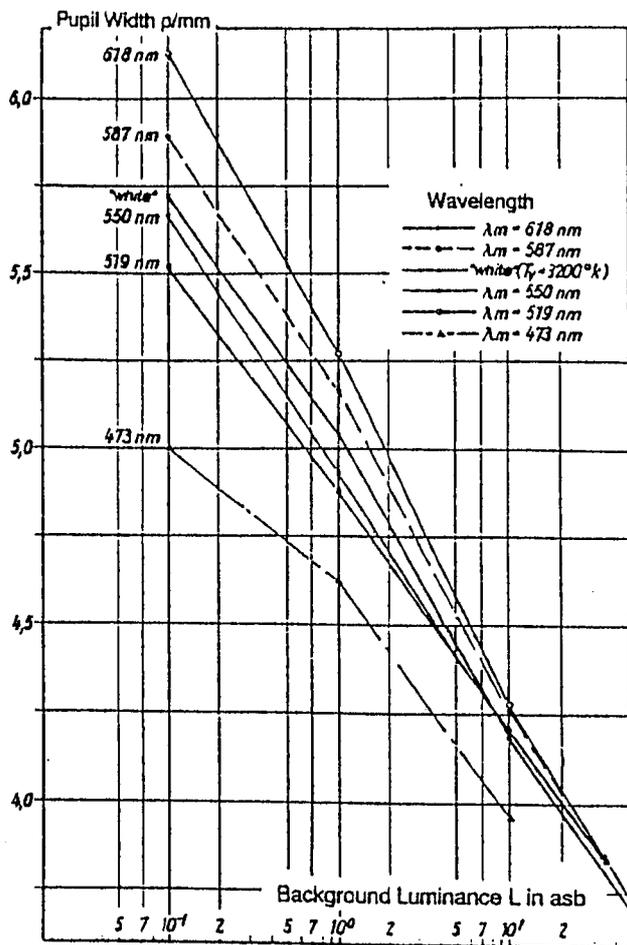


Fig. 9
Average pupil diameter plotted versus the luminance of the visual field of five different spectral lights and "white". The wavelength of the light is parameter to the curves.

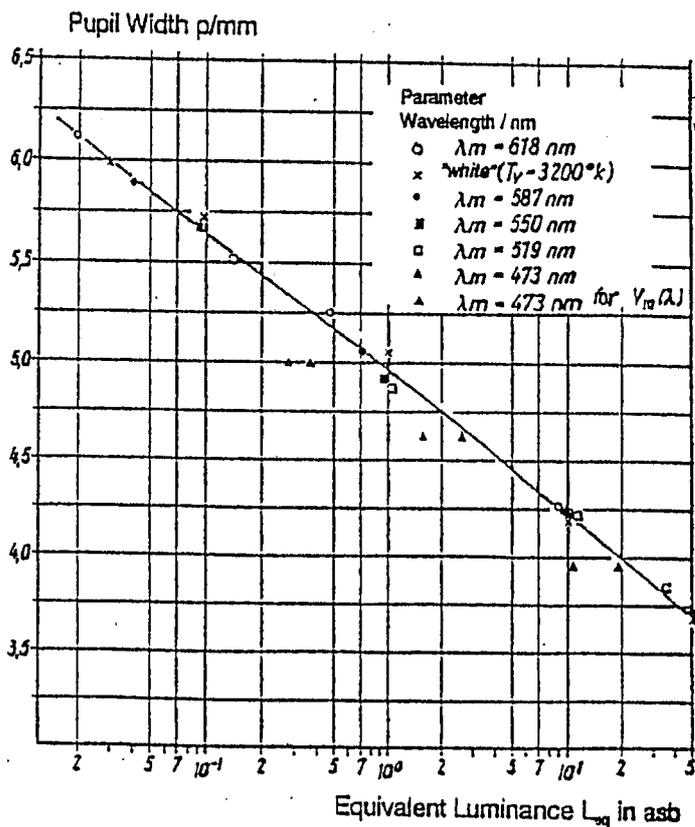


Fig. 10
Data from fig. 9 plotted against the equivalent luminance L_{eq} . The data points fall again around one curve with the exception of 473 nm light. L_{eq} was calculated for $V(\lambda)$ of a 2° and 10° field (large field photometry). The difference of $V(\lambda)$ in the blue between 2° and 10° seems in part to explain the deviation. This could be due to the Macula Pigment absorption which also causes the differences between the blue sensitivity of a 3° and 9.5° field size.

Bodmann and those of Blackwell and proved to be representative for all those studies that required visual tasks of high spatial frequency.⁸ As figure 11 and 12 reveal, no significant difference of visual performance was found in the luminance range between 10 cd/m² and 3000 cd/m². These results are supported by findings of Halonen⁹ who employed a similar criterium, and Vrabel et al.¹⁰ using a test also containing accuracy and the time to complete it. Vrabel et al. used targets of low and high contrast (C = 0.24 and C = 0.9) in luminance levels of ~150 cd/m² from five different light sources with dissimilar spectral power distributions like in the studies of Ref. 7 and 9. The luminance level was clearly photopic. Halonen varied between 155 and 310 cd/m² finding no significant difference of performance.

These findings resembles the contrast sensitivity function as in figure 4 that showed no significant differences between the spectral lights used in luminance levels above 1 cd/m². The near monochromatic lights have a more pronounced spectral diversity than those from different lamps. Nonetheless we may expect the visual performance to change for dissimilar spectral power distributions such as that of sodium low pressure and metal halide lamps for example in low luminance levels. This was experimentally confirmed by A. Lewis and will be presented at this conference. Reaction time was used as a criterion and exhibited significant differences especially in low levels of 0.01 cd/m². This seems to be understandable and can be interpreted by plotting it versus the equivalent luminance as the visual function discussed earlier. Results will be presented at this conference.

Conclusion

It has been shown that the basic visual functions such as contrast sensitivity, visual acuity (resolution of detail) and performance are determined by the perceived brightness in which these functions are measured. In photopic levels this expressed by the luminance. In mesopic and scotopic levels the equivalent luminance appears to be the physiologically reasonable and appropriate measure. The results suggest that the equivalent luminance L_{eq} is suitable to predict the achievable level of visual performance in various spectral light distributions.

L_{eq} could also serve as a basis to develop a figure of merit of different lamps for low luminance level lighting.

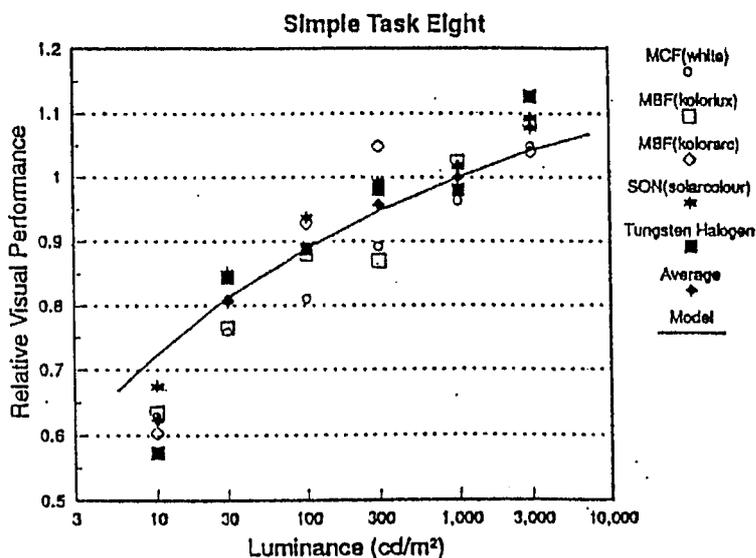


Fig. 11

Loe and Waters data for simple task series 8. The data points apply to lights of different fluorescent lamps (MCF, MBF) high pressure sodium discharge (SON) and Tungsten Halogen Lamps. The model follows from Ref. 8.

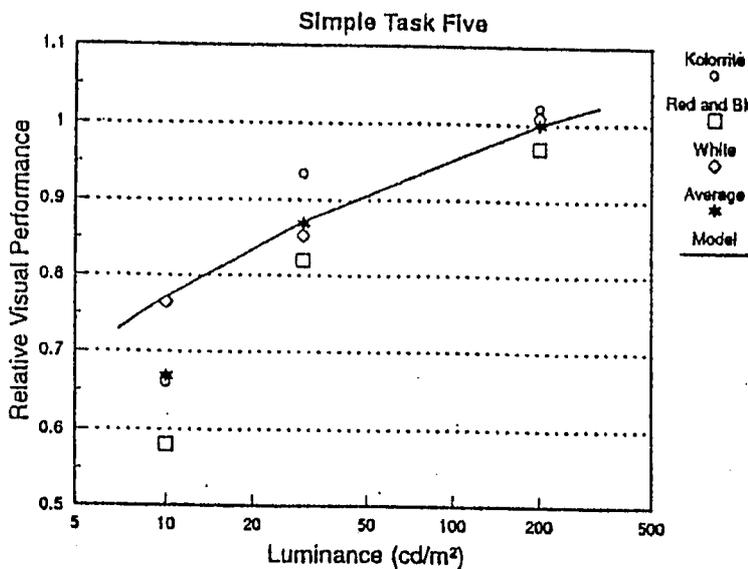


Fig. 12

Loe and Waters data for simple task series 5. Kolorrite is a fluorescent lamp, red and blue are undefined spectral distributions, White is near daylight fluorescent.

References

1. Commission Internationale d'Eclairage. Compte Rendue. quinzieme session. Paris, Juin, 1963. CIE Publication no 11B. 1964: 209-20. Vienna: Bureau Central de la Commission.
2. Kinney, JAS. Comparison of scotopic, mesopic, and photopic spectral sensitivity curves. J Opt Soc Am 1958; 48: 185-90.
3. Kokoschka, S. and Adrian, W.K. Influence of field size on the Spectral Sensitivity of the Eye in the Photopic and Mesopic Range. Amer. Journ. Optom. and Physiol. Optics. Vol. 62 (1984): 119-26.
4. International Commission on Illumination. Principles of Light Measurements. Publication no 18 (E-1.2). Commission Internationale de l'Eclairage, 1979. Vienna: Bureau Central de la Commission.
5. Adrian, W. Neuere Untersuchungen der spektralen Sehschärfe und ihre Bedeutung für das Farbsehen. Farbe, Tagungsband Luzern 1965; 187-202.
6. Adrian, W. Pupil size and Wavelength of light of equivalent Luminance. In: Colour 79: Proceedings of the 1st International Colour Association (AIC) Congress, Stockholm, 1969. Göttingen: Muster-Schmidt Verlag, 1970: 181-7.
7. Loe, D.L., Waters, I.M. Visual performance in illuminating of differing spectral quality. Environmental Research Group. University College, London, UK, March 1973.
8. Adrian, W., Gibbons, R. Visual performance and its Metric Light and Engineering. Vol. 2, Nb. 3, 1994. Allerton Press, New York. pp 1 - 34
9. Halonen, L. Effects of lighting and task parameters on visual acuity and performance. PhD Thesis, Helsinki, University of Technology, 1993, Otakaari tAFin-02150 Espoo.
10. Vrabel, P.L., Bernecker, C.A., Mistrick, R.G. Visual performance and visual clarity under electric light sources. JIES, Winter 1995, p. 69-80.

Authors Address:

Dr. W.K. Adrian, Professor
 University of Waterloo
 Waterloo, Ontario
 Canada N2L 3G1
 Tel.: (519)888-4567 Ext. 3777
 Fax: (519)725-0784

Über die Bedeutung von Beleuchtung für die Akzeptanz von Innenräumen

Hofmann, Harald

Heute weiß man, daß lichttechnische Größen wie Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte nicht in der Lage sind, die komplexen Wirkungen von Licht im visuellen Umfeld des Menschen vollständig zu beschreiben. Merkmale wie Sehkomfort, formale Gestaltung und nicht zuletzt auch die ästhetische Wirkung bleiben unberücksichtigt, wenn eine Lichtplanung nur die Kriterien Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte kennt.

Ein auf Mindestbeleuchtungsstärken gegründeter vereinfachter Planungsansatz als Konzept für eine Innenraumbelichtung führt in eine planerische Sackgasse, weil die gesamte sichtbare Welt auf einzelne "Sehaufgaben" reduziert wird. Eine rein physiologisch orientierte Sicht der menschlichen Wahrnehmung sieht den Menschen lediglich als mobile Abbildungsvorrichtung für Leuchtdichtemuster. Seine auf "Sehaufgaben" reduzierte Umwelt zeigt nur einen kleinen Ausschnitt des tatsächlichen komplexen Wahrnehmungsprozesses.

Die Leuchtdichte reicht zur Beschreibung unserer Umwelt nicht aus

Leuchtdichten sind für das Sehen stets nur Hilfsmittel und Ausgangsbasis, niemals das Ziel des Sehens. Wahrnehmung bedeutet, Konstanten wie Farbe und Form von Gegenständen in einem Raum zu identifizieren, um damit die Dinge unserer Sehwelt, wie den dunklen Tisch in der Mitte des Raumes und den weißen Sessel an der Wand, sicher erkennen zu können, unabhängig davon, ob dies unter voller Tageshelligkeit oder auch beim schwachen Schein einer Kerze geschieht.

In jedem Fall ist beim Sehen die Wahrnehmung konstanter Objekteigenschaften und damit die Gewinnung von Information über die Dingwelt das eigentliche Ziel von Sehleistungen; Licht ist dabei ein notwendiges Medium, welches durch richtigen Einsatz den Vorgang des Wahrnehmens erleichtern und beschleunigen kann.

Dr.-Ing. Harald Hofmann
ERCO Leuchten GmbH
58505 Lüdenscheid

Diese Tatsache zeigt die Fragwürdigkeit jedes Versuchs, allgemein gültige Beleuchtungsregeln definieren zu wollen, unabhängig von der konkreten Situation. Schon allein eine allgemeine, situationsunabhängige Definition der Voraussetzung für das Auftreten psychologischer Blendung, d. h. einer "störenden" Beleuchtungssituation, scheitert meines Erachtens an der mangelnden Einbeziehung des Informationsgehalts der "blendenden" Fläche: Nicht das Fenster mit dem Ausblick auf die sonnige Landschaft blendet, sondern trotz geringerer Leuchtdichte die Opalglasscheibe, die diesen Ausblick verwehrt.

Gesamtkonzepte einer Architekturbeleuchtung **Licht zum Sehen, Hinsehen, Ansehen**

Heute treten zunehmend neue Planungskriterien ins Blickfeld der Lichtplanungen. Sie lösen sich von der physiologisch orientierten Sicht einer Leuchtdichtetechnik und erfahren eine Erweiterung zum inszenierten Gesamtkonzept einer Architekturbeleuchtung.

Diese Impulse erfuhre die Beleuchtungsplanung zuerst durch das Wirken von Lichtplanern, einem Berufsstand, der sich mit dem Siegeszug des International Style in den USA in den 50er Jahren etablierte und im Laufe der 70er Jahre verstärkt auch in europäischen Ländern Fuß faßte. Lichtplaner sehen im künstlichen Licht ein Instrument, das als Ergänzung zum Tageslicht und als eigenständiges Gestaltungselement der Architektur eine weitere Dimension gibt: Licht als die "vierte Dimension der Architektur".

Wahrnehmungspsychologen formulierten bereits zu Beginn dieses Jahrhunderts, wie unterschiedliche Lichtqualitäten das Erkennen räumlicher Formen, Strukturen und Oberflächen ermöglichen und zur Sicherheit unserer Wahrnehmungen beitragen können.

Sie zeigten, wie es dem Menschen gelingt, aus der Lage von Lichtquellen, dem räumlichen Verlauf des Lichts und insbesondere aus dem Zusammenspiel von Licht und Schatten spontanes Wissen über Raum, Material und Struktur zu gewinnen. Nicht von ungefähr haben deshalb viele Lichtplaner als Bühnenbeleuchter Erfahrungen gesammelt. So hat Mitte der 50er Jahre Mies van der Rohe beim Bau des Seagram Building in New York den in Architektenkreisen bekannten Bühnenbeleuchter Richard Kelly als Lichtplaner engagiert. Richard Kelly war auf diesem Gebiet ein Pionier, der aus Kenntnis der Wahrnehmungspsychologie und der Erfahrung eines Bühnenbeleuchters Lichtplanung in ein einheitliches, wahrnehmungspsychologisches Konzept faßte. Kelly löste sich von der Vorgabe einer definierten Beleuchtungsstärke als Zentralkriterium der Lichtplanung. Er ersetzt die einseitige

Frage nach der Lichtquantität durch Fragen nach einzelnen Qualitäten des Lichtes und nach einer Reihe von Funktionen der Beleuchtung, die auf den wahrnehmenden Betrachter ausgerichtet sind.

Zentraler Punkt in Kellys Planungskonzept sind die drei Grundfunktionen der Beleuchtung:

"ambient light", das Licht zum "Sehen"
"focal glow", das Licht zum "Hinsehen"
"play of brilliance", das Licht zum "Ansehen".

Mit "ambient light" wird für eine allgemeine Beleuchtung der Umgebung gesorgt. Es wird sichergestellt, daß der umgebende Raum, seine Objekte und die Menschen darin sichtbar sind. Angestrebt wird keine Pauschalbeleuchtung einer vermeintlichen optimalen Beleuchtungsstärke, sondern eine differenzierte Beleuchtung, die auf dem Grundniveau des "ambient light" aufbaut.

Um zu dieser Differenzierung zu gelangen, wird eine zweite Form des Lichts "focal glow" benötigt. Hier erhält Licht die Aufgabe, aktiv bei der Vermittlung von Informationen mitzuwirken. Berücksichtigt wird dabei die Tatsache, daß hell beleuchtete Bereiche unwillkürlich die Aufmerksamkeit des Menschen auf sich ziehen. Durch eine geeignete Helligkeitsverteilung wird es also möglich, die Informationsfülle einer Umgebung zu ordnen, Bereiche wesentlicher Information durch eine betonte Beleuchtung hervorzuheben und zweitrangige oder störende Informationen dagegen durch ein reduziertes Beleuchtungsniveau zurückzunehmen.

Die dritte Form des Lichts "play of brilliance" ergibt sich daraus, daß Licht nicht nur auf Informationen hinweisen kann, sondern selbst eine Information darstellt. Dies gilt z. B. für Brillanzeffekte, wie sie durch Punktlichtquellen auf spiegelnden oder lichtbrechenden Materialien hervorgerufen werden.

Kriterien einer qualitativen Lichtplanung

Ein an der Wahrnehmung orientierter Kriterienkatalog zur Beschreibung der Anforderungen an eine Beleuchtungsanlage wurde zum ersten Mal von William Lam, einem engagierten Verfechter einer qualitativ orientierten Lichtplanung erarbeitet. Seine Anforderungen an die Beleuchtung orientierten sich zum einen an den "activity needs", den Eigenschaften der vorhandenen Sehaufgaben. Dabei forderte Lam eine differenzierte Analyse aller auftretenden Sehaufgaben nach Ort, Art und Häufigkeit, um danach Lichtmenge und Lichtqualität zu bemessen.

Zum anderen sieht Lam die Bedeutung der "biological needs". Sie zielen auf die Überschaubarkeit und Verständlichkeit der umgebenden Strukturen mit Hilfe des Lichts. Hierbei ist die ausreichende Sichtbarkeit aller Raumbereiche von Bedeutung. Sie ist entscheidend für das Gefühl der Sicherheit. Überschaubarkeit zielt aber nicht nur auf vollständige Sichtbarkeit, sie erfaßt auch die Strukturierung, das Bedürfnis nach einer eindeutigen und geordneten Umgebung, in der Form und Aufbau von Architektur klar erkennbar sind. Licht dient also dazu, anstelle einer verwirrenden und möglicherweise widersprüchlichen Informationsflut einen Raum mit klar geordneten Eigenschaften zu präsentieren.

Licht und Leuchten haben somit die Anforderungen an eine funktional richtige und wahrnehmungsgerechte Beleuchtung zu erfüllen. Sie leisten aber auch einen ebenso wesentlichen Beitrag zur ästhetischen Gestaltung von Architektur. Licht wird immer mehr zu einem Hilfsmittel, um die vorgegebenen architektonischen Strukturen sichtbar zu machen und zu ihrer geplanten Wirkung beizutragen.

Diese Aussage gilt zunächst für das Licht, das eine Architektur in ihrer Wirkung verändern kann, aber auch für die Leuchten und ihre Anordnung. Leuchten können z. B. durch den Einbau in die Decke unauffällig in die Architektur integriert werden. Sie wirken auf diese Weise fast ausschließlich durch ihren Beleuchtungseffekt. Leuchten können aber auch in Form einer Lichtstruktur oder einer Reihung von Strahlern Bestandteil der Architektur selbst sein. Folglich wird die Beleuchtungsanlage selbst zum architektonischen Element, das die Wirkung eines Raums gezielt verändert.

Zusammenfassung

Die aus funktionalen Zusammenhängen zwischen lichttechnischen Größen und den Sehfunktionen abgeleiteten lichttechnischen Grenzwerte für Arbeitsplätze bilden das Regelwerk einer Normung. Sie ist bei der Planung einer Beleuchtungsanlage sowohl mit Tageslicht als auch mit künstlichem Licht für ein sicheres und störungsfreies Erledigen definierter Sehaufgaben von zentraler Bedeutung. Die Einhaltung der Norm ist Voraussetzung für die Akzeptanz eines Arbeitsplatzes.

Die Lichttechnik ist nicht in der Lage, die komplexen Beleuchtungswirkungen außerhalb des unmittelbaren Arbeitsfeldes vollständig zu beschreiben. Eine Beleuchtungsplanung auf dieser Basis erfaßt die individuell unterschiedlichen visuellen Bedürfnisse eines Menschen u.a. nach räumlich-zeitlicher Orientierung, Kommunikation, Privatheit und Sicherheit ebensowenig wie

die von Licht beeinflusste Lenkung der visuellen Aufmerksamkeit und den Informationsgehalt des Gesehenen. Folglich entzieht sich dieses Licht der Erfassung durch Regeln für die Planung von Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte und damit der Normung durch Grenzwerte. Es hat jedoch großen Einfluß auf die Akzeptanz eines Gesamtraums.

Beleuchtung definiert sich auch als formal gestalterisches Element sowohl durch die Leuchtengeometrie als auch durch die räumliche Anordnung. Die Beleuchtungsanlage wird zum Architekturelement und beeinflusst durch Form und ästhetische Wirkung die Akzeptanz eines Raumes. Da Leuchtdichten und Leuchtdichteverläufe an Leuchten nicht unabhängig von ihrer formalen Gestaltung zu bewerten sind, entziehen sie sich ebenfalls einer Normung durch Grenzwerte, soweit nicht Sicherheit und Störungsfreiheit am Arbeitsplatz betroffen sind.

Lichtplanung hat zur Erreichung einer hohen Akzeptanz deshalb die Aufgabe, sich mit der konkreten Nutzungssituation, dem Informationsangebot und dem Bedürfnis bzw. der Erwartungshaltung des wahrnehmenden Menschen in dieser Umgebung auseinanderzusetzen. Ziel muß es sein, für Tag- und Nachtsituation die Raumarchitektur gemäß einer vorgegebenen Nutzung zu beleuchten, die charakteristischen Eigenschaften von Raum und Objekten angemessen hervorzuheben und die Aufmerksamkeit durch optische Führung zu lenken, wobei formale Gestaltung und ästhetische Wirkung der Leuchten selbst besonders zu berücksichtigen sind.

Umweltaspekte von Gasentladungslampen: Probleme und Chancen

Stormberg, H.P.

Seit Beginn der siebziger Jahre wurde der Industriegesellschaft deutlicher, daß unsere Erde Schutz gegen unkontrollierte Verschmutzung von Luft, Wasser und Boden braucht. Im Laufe der verschiedenen Diskussionen wurden auch die Vor- und Nachteile von Gasentladungslampen erörtert. Die Vorteile von Leuchtstofflampen und Hochdruckgasentladungslampen gegenüber Glühlampen liegen hauptsächlich in der wesentlich höheren Lichtausbeute. Die niedrigere Leistungsaufnahme pro Lumen reduziert somit auch die Umweltverschmutzung, die bei der Erzeugung der Elektrizität in den verschiedenen Kraftwerken anfällt. Als wesentlicher Nachteil bezüglich der Umwelt steht gegenüber, daß die Lampen giftige Stoffe, wie z.B. Quecksilber, enthalten. Wenn wir alle Umweltaspekte von Gasentladungslampen mit denen von Glühlampen vergleichen wollen, müssen wir demnach den gesamten Lebenszyklus der Lampen betrachten:

- die Gewinnung von Grundstoffen und die Herstellung der Lampen
- den Betrieb der Lampen
- die Beseitigung der Lampen und ein eventuell mögliches Recycling von Lampen.

Im ersten Teil des Vortrages wird auf den Lebenszyklus der Lampen eingegangen, im weiteren Teil werden dann einige Maßnahmen der Lampenhersteller erörtert, die eine Reduzierung der Umweltbelastung möglich gemacht haben. Die wesentlichen Schlußfolgerungen dieser Erörterung sind:

- Die hohe Lichtausbeute von Gasentladungslampen kann helfen, die Umweltbelastung zu reduzieren.
- Die Menge der toxischen Stoffe, die bei der Erzeugung der für den Lampenbetrieb nötigen Energie anfallen, ist größer als die Menge der gefährlichen Stoffe in der Lampe selbst. Bei der Erzeugung der Energie, die eine 400W-Natriumhochdrucklampe während des Lampenbetriebs benötigt, wird in Europa z.B. ca. 20-mal mehr Quecksilber freigesetzt als in der Gasentladungslampe enthalten ist.
- Leuchtstofflampen sind die am meisten verwendeten Gasentladungslampen in Europa. Die Entwicklungen der Lampenhersteller haben dazu geführt, daß stets weniger toxische Stoffe verwendet werden. Ein wesentlicher Fortschritt wurde 1994 erreicht. Die neue Generation der Philips Leuchtstofflampen enthält nur noch 3 mg Quecksilber, was einer Reduzierung von 80% entspricht.
- Obwohl der Quecksilbergehalt von Gasentladungslampen erniedrigt wurde und noch weiter erniedrigt werden kann, muß das erstrebenswerte Ziel auch in der Zukunft ein totaler Materialkreislauf sein. Zur Zeit werden in Deutschland ca. 70% der Leuchtstofflampen als Sondermüll eingesammelt. Bei einer geeigneten Technologie ist es schon jetzt möglich, den größten Teil des Materials zu recyceln und zum Teil in Lampen wieder zu verwenden.

Dr. H.P. Stormberg

Philips Lighting

PO Box 80020

5600 JM Eindhoven

The Netherlands

Einsatz moderner CCD-Technik zur Leuchtdichtemessung

Schmidt, Franz

1. CCD-Sensorelemente

Die CCD-Sensorbaulemente haben seit ihrer erstmaligen Vorstellung zu Beginn der 70er Jahre eine ständige Weiterentwicklung erfahren. So kann man grob einschätzen, daß sich die Pixelanzahl etwa alle 3 Jahre verdoppelt hat.

Der streng lineare Zusammenhang zwischen der auf das Bauelement auffallenden Strahlung und den in den Pixeln gesammelten Ladungsträgern gibt die Möglichkeit zur bildauflösenden Strahlungs-/Lichtmessung mit vielen neuen Anwendungsfeldern.

Für wissenschaftliche und Sonderanwendungen (Mikroskopie, Astronomie, Raumfahrttechnik u.a.) wurden eine Vielzahl neuer Bauelemente mit hervorragenden Parametern entwickelt. Spitzenwerte sind derzeit (natürlich nicht alle in einem Bauelement vereinigt):

- 5000 * 5000 Pixel
- 500.000 e⁻ Sättigungsladungen
- < 5 e⁻ Dunkelsignalauschen
- 10⁻⁵ lux min. Szenenbeleuchtung
- Mikrolinsen auf den Pixeln
- Ausleseraten bis 120 MHz.

Durch den massenhaften Einsatz im Videobereich (Ersatz der Schmalfilmtechnik vor etwa 15 Jahren) und die Bestrebungen, Multimediasysteme im umfassenden Sinne zur Verfügung zu stellen, war ein ständiger Antrieb zur Verbesserung dieser „normgerechten“ Bauelemente vorhanden. TV-Norm kompatible CCD-Matrizen und -Kameras (CCIR bzw. NTSC: ca. 768 * 576 bzw. ca. 752 * 480 Pixel) sind heute mit guten Parametern und zu niedrigen Preisen verfügbar.

Interessant sind auch die Bestrebungen zum Ersatz der Kleinbildfotografie durch elektronische Kameras. Entwicklungen zu diesen sogenannten Still-Bild-Videokameras gibt es seit vielen Jahren. Ein Durchbruch ist hier aber nur mit der erschwinglichen Möglichkeit der Darstellung und der Erzeugung von Hardcopies zu erreichen. Beides ist erst seit einigen Jahren möglich (hochauflösende Monitore und qualitativ hochwertige und trotzdem preiswerte Farbdrucker aus der PC-Welt).

2. Einsatzforderungen

Im folgenden sollen einige Eigenschaften von CCD-Kamerasystemen mit entsprechenden Einsatzforderungen der bildauflösenden Fotometrie verglichen und Ansätze zur Lösung der dabei auftretenden Widersprüche aufgezeigt werden. Als grundsätzliche Forderung gilt:

Der abgetastete und digitalisierte Pixelwert $p(i,j)$ soll möglichst gut mit der Leuchtdichte des Objektpunkt $L(x,y)$ korrelieren.

Dies bedeutet:

- Der geometrische Zusammenhang $i,j = f_1(x,y)$ muß eindeutig sein und
- der Wert p ist eine Funktion des gewünschten objektbeschreibenden Parameters $L = f_2(p)$.

Ideal wäre ein Zusammenhang $i,j = k_1 * x + a, k_2 * y + b$, d.h. die Vermittlung von Bild- zu Objektkoordinaten erfolgt über den Abbildungsmaßstab (k_1, k_2) und eine Anbindung des Koordinatenursprungs (a, b) für die geometrische Relation. Für die fotometrische Relation wäre $p = k_3 * L - p_0$, d.h. lineare Signalwandlung und konstantes Dunkelsignal ein idealer Zusammenhang.

Im allgemeinen sind die Verhältnisse komplizierter. Sie werden u.a. von folgenden Komponenten und deren Eigenschaften der Kamera/Framegrabber und der Abbildung bestimmt.

- Optisches Abbildungssystem (Verzeichnung, Randabfall, Übertragungsfunktion, Streulichtverhalten)
- Ladungsgenerierung, Ladungstransport in der CCD-Matrix
- Ladungs-Spannungswandlung
- Analoge Signalverarbeitung in der CCD-Kamera
- Signalübertragung zum Bildauswerterechner (gleichwertfreies BAS-Signal) bei Standardframegrabbern
- Analog/Digitalwandlung
- Taktanbindung
- Rauschen (Poison-, Dunkelsignal-, Transfer-, thermisches, Klemm-, Digitalisierungsrauschen)

Über eine Reihe der Probleme und der Möglichkeit des Umganges mit ihnen wurde mehrfach berichtet. /SCHM_92; SCHM_93/

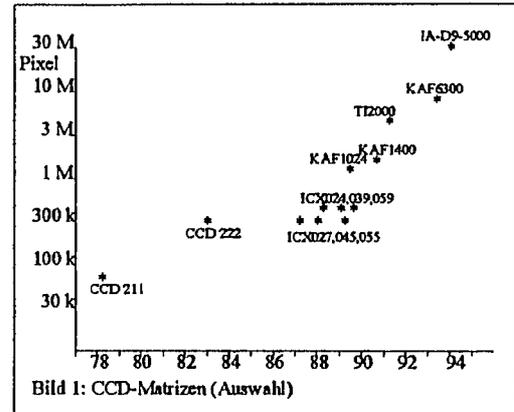


Bild 1: CCD-Matrizen (Auswahl)

3. Realisierung der Forderungen

Untersuchungen verschiedener Autoren haben gezeigt, daß der Einsatz von CCD-Kameras für fotometrische Meßaufgaben kein einfaches Problem darstellt /SCHÜ_92/. Die Grauwert-Auflösung von Standardsystemen liegt bei etwa 7 bit und erlaubt damit nur ein „grobes Schätzen“. Die örtliche Auflösung von CCD-Matrizen (752 * 576) geht dagegen für viele fotometrische Meßaufgaben weit über das geforderte hinaus. Die darin enthaltene redundante Information läßt sich günstig in fotometrische Auflösung umsetzen.

Das Rauschen kann durch die Mittelung über Makropixel (Zusammenfassung von n benachbarten Bildpunkten) im Verhältnis \sqrt{n} verringert werden. Da fotometrisch und bildauflösend messende Systeme vielfach mit 32 * 32 Meßwerten im Bildfeld auskommen, können ausreichende Rauschunterdrückungen erreicht werden.

Derzeitig bemüht man sich intensiv, die analoge Signalaufbereitung bis zur Digitalisierung zu verbessern. Ausgehend von Kameramodulen, die auch in TV-normgerechten CCD-Kameras eingesetzt werden, haben einige Hersteller Kameras entwickelt, die die komplette Signalaufbereitung bis zum Digitalsignal in der Kamera realisieren. Damit ergibt sich die Möglichkeit der festen Gleichwertanbindung und es entfallen Signalstörungen auf der analogen Übertragungsstrecke (BAS) und die Rauscheinflüsse bei der Zeilenklemmung. Dies ist keine neue Idee. Die frühzeitige Digitalisierung des Videosignals wird bei wissenschaftlichen Kameras schon lange verfolgt. Eine videonormgerechte Digitalkamera wurde vom Autor an der TH Ilmenau bereits 1986 realisiert /PRÄ_86/. Die derzeit auf dem Markt befindlichen Digitalkameras (z.B. KAPPA CF8/1 DX, Pullnix TM 9700) besitzen in der Kamera zusätzlich einen Framespeicher und lassen damit eine Reihe interessanter Optionen zu, z.B. die Bildübertragung über eine Standardschnittstelle in den Bildauswerterechner.

Mit der Digitalisierung des Videosignals in der Kamera entfallen nicht alle Probleme. Für die angesprochenen Einsatzfälle sind folgende Eigenschaften weiterhin zu beachten (Die Streuwerte beziehen sich auf eine 8-bit ADU in der Kamera):

- Rauschen (Dunkelsignalauschen $\sigma \approx 0,1$ LSB, Poisonrauschen signalabhängig $\sigma \approx 2...3$ LSB am Ende des Linearitätsbereiches, Elektronikrauschen $\sigma \approx 0,2$ LSB)
- Linearitätsabweichungen der Videosignal-Beleuchtungsstärke-Kennlinie $\approx 1\%$
- Shading (abhängig vom eingesetzten Abbildungssystem (Feldwinkel), Pixelungleichförmigkeit selbst $\sigma \approx 1\%$)
- Wellenlängenabhängigkeit der Empfindlichkeit
- örtliche und zeitliche Übertragungsfunktion des Systems Kamera und Abbildungsoptik

Für die Aufklärung, Erfassung und den Umgang mit diesen nichtidealen Eigenschaften ist die Zuordnung zu statistischen oder systematischen Abweichungen und deren Stabilität zu klären.

Systematische Abweichungen

Die Bestrahlungsstärke-Ladungswandlung auf dem Sensor kann bei CCD-Matrizen als in hohem Maße linear angenommen werden. Auf dem Sensor (on chip) und im analogen Kanal (off chip) sind eine Reihe von analogen Baugruppen vorhanden, die mehr oder weniger nichtlinear sind, aber auf jedes Pixelsignal gleich wirken. Pixelungleichförmigkeit und Shading des Objektivs erbringen ortsabhängig unterschiedliche Empfindlichkeiten und Dunkelsignale $k_3, p_0 = f(i, j)$

Diese Parameter des Systems können korrigiert werden, wenn sie vollständig erfaßt wurden. Der erforderliche apparative und zeitliche Aufwand ist nicht unbeträchtlich, wird aber nur zur Kalibrierung des Systems und nicht für den Meßeinsatz benötigt.

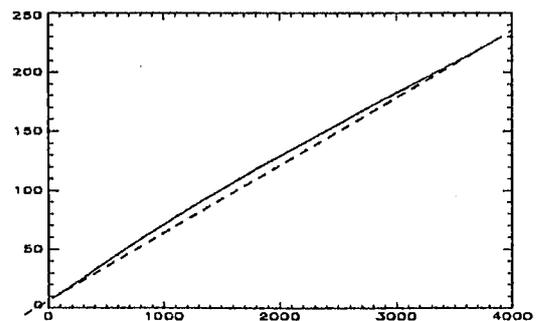


Bild 4: Signal-Beleuchtungsstärke-Kennlinie für die CCD-Kamera XC 77

Stochastische Abweichungen/Rauschen

Weiterhin gibt es eine Reihe von statistischen Einflußfaktoren, die nicht in oben angegebener Weise korrigierbar sind. Dazu gehören vor allem die schon genannten Rauschprozesse. Diese lassen sich in ihrer Amplitudenverteilung und Frequenzcharakteristik aufklären und dann gezielt beeinflussen. /SCHL_91; SCHM,U_93/

Man kann die Schaltungstechnik qualifizieren, um das Rauschen zu vermindern. Weitere wesentliche Verbesserungen erreicht man durch Mittelung über Vielfachmessungen. Angepaßte Algorithmen zur Datenauswertung berücksichtigen das Rauschen und haben mittelnden Charakter.

Stabilität

Drifterscheinungen (Temperaturabhängigkeit der Dunkelsignale, Empfindlichkeiten der Pixel, Verstärkungsfaktoren, ADU-Wandlerkennlinie) können durch geeignete Maßnahmen verringert werden.

Eine Thermostatierung auf weniger als ein Grad Temperaturschwankungen ist mit einfachen Mitteln möglich und stabilisiert die Einflußfaktoren (Dunkelsignal, Kennlinien) soweit, daß man von deren Konstanz in

der notwendigen Größe sprechen kann. Die Stabilisierung der Stromversorgung der Analogbaugruppen, insbesondere der Referenzspannungen des ADU ist ein schwieriges Problem und mit Sorgfalt auszuführen.

Übertragungsfunktion

Neben der Übertragungsfunktion des Abbildungssystems (Beugungsunschärfe, Unschärfe durch Defokussierung, Bildfeldwölbung), die vielfach rotationssymmetrisch angenommen und einfach approximiert werden kann, wirken sich die Einflüsse des 1-D- bzw. zeitlichen Übertragungskanal asymmetrisch aus (Unterschiede in Zeilen- und Spaltenrichtung und richtungsabhängiges Verhalten besonders in Zeilenrichtung). In Bild 2 ist deutlich das Nachschwingen in Zeilenrichtung als Antwort bei einer Spotbeleuchtung bei einer Kamera XC 75 zu erkennen. Diese Erscheinungen sind abhängig von der eingesetzten Schaltungstechnik und von Kameratyp zu Kameratyp sehr unterschiedlich. Eine weitere Beeinflussung der örtlichen Übertragungsfunktion stellt das Streulicht dar.

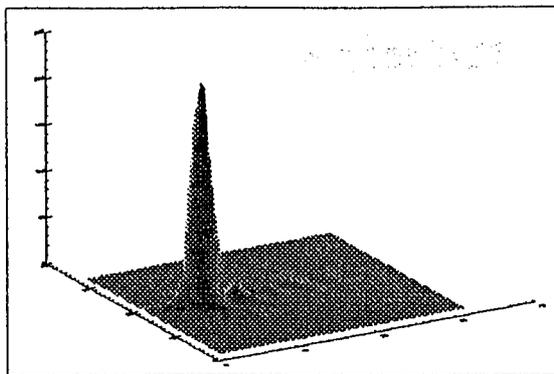


Bild 2: Antwort auf eine Spotbeleuchtung bei XC 75

Besonders bei hochkorrigierten Objektiven (viele Glas-Luft-Flächen) treten nicht zu vernachlässigende Streulichtanteile auf. Diese sind vom Bildinhalt abhängig und damit schwierig zu erfassen und zu korrigieren. Für diese Erscheinungen gilt es, Wege zu deren Minimierung zu finden.

$V(\lambda)$ -Anpassung

Die wellenlängenabhängige Empfindlichkeit der CCD-Sensoren sind sehr unterschiedlich. Die grundsätzliche Form der Kurve wird durch das Silizium bestimmt und durch die auf dem Sensor befindlichen „dünnen“ Schichten beeinflusst. Die Empfindlichkeiten sind nicht nur typabhängig, sondern auch chargenabhängig.

Zur Realisierung von Leuchtdichtmessern sind für den CCD-Sensor gerechnete $V(\lambda)$ -Filter einzusetzen.

4. Bildauflösende Fotometrie

Es wurden verschiedene fotometrisch messende Kameras mit den CCD-Standard-Kameras XC 77, XC 75 und der Digitalkamera CF 8/1 realisiert. Entsprechend dem Entwicklungsstand der Kamerasysteme ergaben sich unterschiedliche Ergebnisse.

Auf der Basis dieser fotometrisch messenden CCD-Kameras wurden nach einer Idee von Prof. Riemann an der Technischen Universität Ilmenau in der Firma *TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH* ein Lichtstärke-Verteilungskörper-Meßplatz /RIE_91/, sowie bildauflösende Leuchtdichtmesser für verschiedene Einsatzfälle entwickelt und in verschiedenen Einrichtungen und Firmen eingesetzt. Sowohl über die angesprochenen Einsatzprobleme als auch über die nicht einfachen Anforderungen an die Geräte- und Meßtechnik zur Erfassung aller genannten Eigenschaften der Bildaufnahmesysteme, sowie zu weiteren Einsatzfällen derartiger Meßtechnik wird im Vortrag berichtet.

Literatur

- /PRÄ_86/ Präckelt, H.; Schmidt, F.; CCD-Matrixkamera mit 6-bit- digitalisiertem Videoausgangssignal; rfe, Berlin 34(1986) H 1
- /SCHÜ_92/ Schübler, J.: CCD-Videotechnik und Bildverarbeitung in der Fotometrie; 10. Lichttechnische Gemeinschaftstagung Saarbrücken, 14.9. - 17.9.1992; Tagungsberichte, S. 216 -233
- /SCHL_91/ Schlichting, B.: Ein Beitrag zur Systemtheorie der Bildsignalwandlung unter Beachtung einiger Eigenschaften von CCD-Sensoren, Dissertation, TU Ilmenau, 1991
- /SCHM,U_93 / Schmidt, U.: Ein Beitrag zur systemtheoretischen Bewertung von CCD-Bildaufnahmesystemen, Dissertation, TU Ilmenau 1993
- /SCHM_92 / Schmidt, F.; Einsatz von CCD-Sensoren für hochgenaue Meßsysteme, Anforderungen an die gerätetechnischen Parameter; 37. Intern. Wiss. Koll. d TU Ilmenau 1992, Tagungsband 2, S. 572-577
- /SCHM_93/ Schmidt, F.; Neuhäuser, U.: Messen im Bild - Probleme und Lösungen; in Tagungsband zum Symposium "Bildverarbeitung '93"; Herausgeber: R.-J. Ahlers; Technische Akademie Esslingen, 1993
- /RIE_91/ Riemann, M.;Schmidt, F.;Poschmann, R.; Verfahren und Anordnung zur Messung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten und Lampen DE 4110574 A1; 30.3.91

Autor

Dr.-Ing. habil. F. Schmidt

(Dozent)

Technische Universität Ilmenau, Fak. E/I, ATE

Am Ehrenberg, PF 327

98684 ILMENAU

Tel. 03677 / 69 2607 FAX 03677 / 69 1152

(Geschäftsführer)

TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH

Langewiesener Straße 16

98693 ILMENAU

Tel. 03677 / 663 285 FAX 03677 / 663 286

Farbe und Computer

Schanda, János

Zusammenfassung

Mit der immer weiteren Verbreitung von Personalcomputern und Farbmonitoren wächst auch deren Einsatz im Farbdesign. Um jedoch den Computer richtig verwenden zu können, müssen einige Randbedingungen berücksichtigt werden. In dieser Arbeit soll auf die Kalibrierung des Monitors eingegangen werden, Fragen der emittierten Farben, Zusammenspiel der Farbe und Reflexionen am Bildschirm, Adaptationseinflüsse und der Bildschirm in einer realen Umgebung werden behandelt.

1. Einleitung

Der Personalcomputer ist heutzutage kaum wegzudenken von den Einrichtungen eines modernen Büros oder Laboratoriums. Nach der Eroberung der Büro-Arbeitsfläche und dem Einsatz in der Steuerung und Datenerfassung im Laboratorium (über Groß-EDV-Anlagen zur Datenaufbereitung, industrielle Prozeßsteuerung, etc. wollen wir hier nicht sprechen) wird der "PC" auch in der gestalterischen Sphäre, im Design und Planung angewendet. Diese neueren Anwendungsgebiete bevorzugen PCs mit Farbmonitoren und sind darauf ausgerichtet, Farbe bewußt einzusetzen.

In der Vergangenheit wurde Farbe nur als ästhetisches Hilfsmittel, zur Setzung von Akzenten, Hervorhebung von wichtigen Informationen und ähnliches, verwendet. Mit dem Einsatz im Designbereich und als Stimulusquelle in der Untersuchung des Farbsehens bekommt die Anwendung der Farbe am Rechner eine neue Bedeutung. Es muß nicht nur kräftig "ins Auge stechend" leuchten, sondern die erzeugten Farben sollen so aussehen "wie in der Natur". Um dieses Problem zu bewältigen, muß Farbe gezielt anwendbar sein, am Bildschirm erscheinende Farben müssen farbmétrisch korrekt beschreibbar sein, und es muß eine Metrik ausgearbeitet werden, die es ermöglicht, Farben nicht nur farbmétrisch, sondern auch empfindungsgerecht darzustellen.

Dazu kommt noch der Wunsch, das am PC entworfene Bild so auszudrucken, daß die Farben am Bildschirm und im Druck empfindungsmäßig gleich aussehen. Mit der weltweiten Vernetzung der Rechenanlagen muß auch die Farbinformation von Rechner zu Rechner und von Rechner zu Drucker einwandfrei übertragbar sein. Zwar haben wir die CIE Farbmétrik schon seit mehr als 60 Jahren zur Verfügung, und wir können auch mit Recht behaupten, daß sie sich in der Farbindustrie bestens bewiesen hat, doch gibt es noch immer Probleme; wenn eine empfindungsgerechte Farbmétrik benötigt wird.

In der Druckindustrie bedient man sich auch des Farbcomputers, der erste Probedruck wird aber noch immer mit dem Original verglichen. Dies wird schwieriger, wenn das Original nur am Bildschirm vorhanden ist und der Computer, an dem das Bild entworfen wurde, viele tausend Kilometer entfernt von der Druckanlage liegt. Dies benötigt eine "Sprache", um die Farbinformation übertragen zu können, und es müssen an beiden Enden des Informationskanals gut kalibrierte Geräte zur Verfügung stehen.

In der professionellen Sphäre hat sich das CIE-XYZ System, oder eines seiner Derivat-Systeme zur Farbinformationsübertragung durchgesetzt [1,2]. Auch hier sind jedoch Fragen der Berücksichtigung des Adaptationszustandes offen.

Im semi-professionellen Sektor herrscht ziemliches Durcheinander. In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl von Softwarepaketen auf den Markt gebracht, die es ermöglichen, farbiges Design auf dem PC zu erzeugen, es stehen aber nur sehr wenige Geräte zur Verfügung, um PC und Bildschirm so zu kalibrieren, daß wenigstens die erzeugte Farbe mit korrekten farbmétrischen Maßzahlen beschreibbar sei. Es gibt noch viel weniger Hinweise, wie im Falle der kalibrierten Emissionsfarben die Umgebungshelligkeit und -farbe berücksichtigt werden kann.

Dr. János Schanda

Lehrstuhl für Bildbearbeitung und Neuralcomputing der Univ. Veszprém & CIE Zentralbüro
Kegelgasse 27, A-1030 Wien Österreich

Fragen der Adaptationsberücksichtigung, Übergang von einer Farbgleichheitsbewertung (Farbmetrik 1. Grades) zu einer Farbpfindungsmetrik (Farbmetrik 2. Grades), und Berücksichtigung der Änderung der spektralen Farbpfindung mit dem Beobachtungswinkel (unsere herkömmliche Farbmetrik arbeitet mit den 2° und 10° Beobachtern, am Bildschirm sieht man die farbigen Flächen oft unter einem erheblich kleineren Sehwinkel; unter solchen Bedingungen benötigt man unterschiedliche Beobachterfunktionen, die jedoch noch nicht normiert sind) sind noch offene Fragen.

Im weiteren soll auf einige dieser Fragengruppen näher eingegangen werden, und auf Lösungsmöglichkeiten hingewiesen werden.

2. Kalibrierung des Farbmonitors

Im folgenden wollen wir uns auf Monitore mit Kathodenstrahlröhren beschränken. Zwar wächst der Anteil von PCs, die farbige LCD-, Plasma-, oder Elektrolumineszenz-Displays verwenden, diese Technologien sind jedoch z.Z. noch nicht ausgereift genug, um mit solchen Bildschirmen aufgebaute Monitore auch im Farbdesign-Bereich anzuwenden (Stabilitätsfragen, Alterungserscheinungen, etc. sind noch nicht in allen Details geklärt, bzw. ändern sich diese Eigenschaften von Gerät zu Gerät noch zu sehr, so daß keine stichhaltigen Aussagen getroffen werden können).

Im der herkömmlichen Farbbildröhre erregen drei Elektronenstrahlen drei verschiedenfarbige Leuchtstoffe, normalerweise einen roten (R), einen grünen (G) und einen blauen (B). Die Farbörter der drei Leuchtstoffe variieren von Hersteller zu Hersteller ziemlich stark [2-4].

Der Hersteller stellt die maximalen Intensitäten der drei Elektronenkanonen so ein, daß bei maximaler Aussteuerung vom PC her eine weiße Farbe erscheinen soll. Als ähnlichste Farbtemperatur (TCC) dieser weißen Farbe wird entweder 6500 K oder 9300 K gewählt. Der D_{93} -Wert wird von amerikanischen Herstellern bevorzugt, da er hellere und kräftigere Blautöne ermöglicht. Selbstverständlich tragen diese Vielfalt der verwendeten Leuchtstoffe und die unterschiedlichen Weißpunkte nicht gerade dazu bei, daß eine gegebene Farbeinstellung an einen Monitor die gleiche Farbe auch am anderen Monitor erzeugt.

Der Anwender hat normalerweise drei Eingriffsmöglichkeiten, um die Farben am Monitor zu gestalten:

1. Mit Hilfe des Helligkeitsreglers (interne Verstärkungsregelung) am Monitor stellt er eine Leuchtdichte ein, um eine akzeptable Helligkeit der Zeichen zu erreichen (oder, im Falle der Textverarbeitung mit hellem Hintergrund und dunkler Schrift, eine Hintergrundleuchtdichte, die der Leuchtdichte der anderen Sehobjekte, wie Klaviatur, Papiervorlagen, etc., entspricht). An den meisten Monitoren ist dies mit dem folgenden Zeichen gekennzeichnet: ●.
2. Mit Hilfe des Kontrastreglers (interne Off-set-Einstellung) am Monitor wird ein Kontrast eingestellt, damit von den dunklen Partien des Bildschirms möglichst keine Emission entsteht. Das Zeichen für den Kontrastregler ist meistens eine kleine strahlende Sonne: ☉.
3. Die eigentliche Farbeinstellung geschieht vom Anwendungsprogramm her, indem im Video-Puffer die digitalen Steuersignale der einzelnen Bildpunkte (Pixels) gestellt werden. Diese Signale werden von Digital - Analog - Konvertern (DACs) in die Videosignale des Monitors umgewandelt.

Die erzeugte Leuchtdichte (L) der einzelnen Pixel ist zu den D DAC-Werten nicht linear proportional. Oft wird die Formel

$$L = DY$$

$$2 - 1$$

verwendet[3]. Die klassische Methode zur Bestimmung des γ -Wertes ist das Aufzeichnen von $\lg L$ gegen $\lg D$. Abbildung 1 zeigt dies an einem Beispiel. Die laut Gleichung 2 - 1 berechnete Kurve (- · - · -) weicht von den gemessenen Werten (o) stark ab. Eine andere Formel, mit drei optimierten Parametern wurde von Berns und Mitarbeitern vorgeschlagen[6]. Die laut dieser Formel berechneten Werte sind durch eine durchgezogene Linie abgebildet. (Bezüglich weiterer Details siehe [7-10].

Mit Hilfe von solchen Messungen, vollzogen für die einzelnen Kanäle, können die γ -Werte und die anderen Modellparameter bestimmt werden. Diese sind jedoch nur für eine Helligkeits- und Kontrasteinstellung gültig, auch können die Werte am Bildschirm ortsabhängig sein.

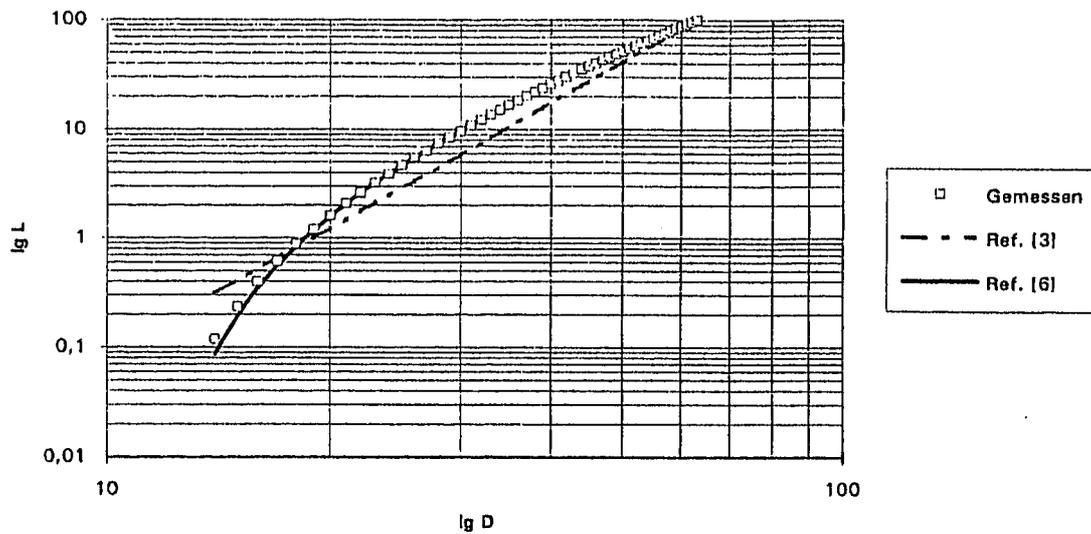


Abb. 1.: $\lg L$ versus $\lg D$ Abbildung zur Bestimmung des γ -Wertes, mit Annäherungsformeln laut Ref. [3] und [6].

Als nächster Schritt werden die Normfarbwerte der R, G, B -Kanäle für die maximale Aussteuerung gemessen. Dies ermöglicht die Erstellung einer Matrix-Transformation, um von den R, G, B DAC-Werten die dazugehörigen Normfarbwerte bestimmen zu können (die Methode ist in [7] ausführlich beschrieben).

Experimente haben gezeigt, daß im Falle eines einigermaßen guten Monitors mit nicht allzu groß eingestellter Helligkeit und Kontrast und nicht zu großen farbigen Flächen am Monitor (zirka 50 % der Bildschirmfläche farbig, der andere Teil schwarz) die berechneten Normfarbwerte von den gemessenen um weniger als $5 DE^*_{ab}$ Einheiten abweichen.

Weitere Verbesserung der Anpassung kann man erzielen, falls stückelweise verschiedene Anpassungspleichungen verwendet werden [11].

3. Einfluß der Umgebungsbeleuchtung

Auf Grund der obenerwähnten Ausführungen können die Emissionsfarbe des Bildschirms eingestellt, und die Farbunterschiede zwischen benachbarten Feldern ermittelt werden. Den Monitor stellt man jedoch meistens in einem beleuchteten Raum auf, so daß der Bildschirm auch von der Raumbelichtung angestrahlt wird. Da der Bildschirm nicht absolut schwarz ist, reflektiert er einen Teil des auffallenden Lichtes zurück. Der Beobachter sieht die Superposition des emittierten und reflektierten Lichtes.

Der Bildschirm reflektiert teilweise gestreut, teilweise gerichtet. Im folgenden werden wir voraussetzen, daß der Bildschirm so aufgestellt ist, daß gerichtet reflektiertes Licht das Auge des Beobachters nicht erreicht, so daß keine störenden Reflexbilder entstehen. Dies ist erzielbar und muß eingehalten werden, um über eine einigermaßen akzeptable Farbwiedergabe am Bildschirm sprechen zu können.

Die gestreute Reflexion kann nicht hundertprozentig vermieden werden. Der Raum muß beleuchtet werden, um die Tätigkeit um den Bildschirm herum durchführen zu können, es ist nur die Frage, wie mit gezielt günstiger Beleuchtung die Beleuchtungsstärke am Bildschirm niedrig gehalten werden kann. In der Arbeitsplatzbeleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen haben sich verschiedene Schulen entwickelt. Im Grunde genommen können diese in drei Gruppen eingeteilt werden:

1. Die Verwendung von Tiefstrahlern, die eine möglichst hohe Horizontalbeleuchtungsstärke an der Tischfläche ermöglichen, um die Klaviatur und Papiervorlagen gut sehen zu können, und eine niedrige Vertikalbeleuchtungsstärke produzieren, um die Bildschirmoberfläche möglichst wenig zu bestrahlen.

2. Die indirekte Beleuchtung, wobei die Decke beleuchtet und eine möglichst diffuse Arbeitsflächenbeleuchtung erzielt wird.
3. Kombinierte Deckenbeleuchtung mit gezielter Arbeitsflächenbeleuchtung: Diffus beleuchtete Decke, um den Raum entsprechend aufzuhellen und akzeptable Sehbedingungen zu schaffen. Gleichzeitig wird mit Tischleuchten die Vorlage am Arbeitsplatz so beleuchtet, daß bequemes Lesen und Schreiben ermöglicht wird.

Für unsere Fragestellung handelt es sich nur darum, wie hoch die Beleuchtungsstärke an der Bildschirmoberfläche ist. Erfahrungsgemäß liegt dieser Wert zwischen 100 und 300 lux.

Die Gesamtleuchtdichte eines Bildschirmzeichens L setzt sich, wie erwähnt, aus der emittierten Leuchtdichte L_0 und der reflektierten Leuchtdichte L_r zusammen, wobei die reflektierte Leuchtdichte gleich dem Produkt der Beleuchtungsstärke E , und des Leuchtdichtekoeffizienten q ist [12]:

$$L = L_0 + qE \quad 3 - 1$$

(In dieser Gleichung haben wir, wie schon erwähnt, die Abhängigkeit der Leuchtdichte von einer sich im Bildschirm spiegelnden Lichtquelle vernachlässigt.)

Ähnlich kann man die resultierenden Normfarbwerte berechnen, wenn die Normfarbwerte der Beleuchtung an der Bildschirmoberfläche bekannt sind. Gleichung 3 - 2 zeigt den Zusammenhang, aufgeschrieben mit den Normfarbwertanteilen:

$$x = \frac{L_0(x_0/y_0) + qE(x_r/y_r)}{L_0/y_0 + qE/y_r} \quad x = \frac{L_0(x_0/y_0) + qE(x_r/y_r)}{L_0/y_0 + qE/y_r} \quad 3 - 2$$

$$y = \frac{L_0 + qE}{L_0/y_0 + qE/y_r} \quad y = \frac{L_0 + qE}{L_0/y_0 + qE/y_r}$$

wobei x, y die Normfarbwertanteile der Bildschirmfarbe, bei Berücksichtigung der Raumbeleuchtung;
 x_0, y_0 die Normfarbwertanteile der Bildschirmfarbe ohne Reflexkomponente;
 x_r, y_r die Normfarbwertanteile der reflektierten Farbe bedeuten.

Der Y Normfarbwert der den Beobachter erreichenden Farbe ist mit L ident.

Abbildung 2 zeigt das an einem Beispiel. Im x, y -Diagramm haben wir hier die Normfarbwertanteile der NTSC Phosphore eingezeichnet. Als Leuchtdichtekoeffizient wurde 0,04 cd/lx angenommen, mit steigender Beleuchtung zwischen 0 und 500 lux, mit Normlichtart A.

Wie ersichtlich, verengt sich mit steigender Beleuchtung des Bildschirms der Bereich der anzeigbaren Farben beträchtlich. Auch die Farben verzerren sich stark. Mit einer korrekten Farbwiedergabe am Bildschirm kann man nur dann rechnen, wenn das am Bildschirm reflektierte Licht auch berücksichtigt wird.

4. Empfindungsgerechte Farbe am Bildschirm

Alle bisher besprochenen Fragen beziehen sich nur auf die normgerechte Farbmeterik, die nur Aussagen darüber treffen kann, ob zwei Farben gleich sind oder nicht. Über die tatsächliche Farbe gibt sie keine Information. So wird z.B. in Abb. 3., wenn ohne zweite Farbe gesehen, sowohl Normlichtart A wie auch Normlichtart D_{65} als weiß empfunden. Wenn jedoch die Umgebung mit Normlichtart D_{65} beleuchtet wird, empfindet man eine Farbfläche mit Normfarbwertanteilen wie Normlichtart A als gelblich.

Es wurden in der Literatur etliche Methoden beschrieben, wie man ein Farbsystem konstruieren könnte, das die Farben der Empfindung gemäß beschreiben würde. Zur Zeit werden hauptsächlich zwei Systeme untersucht, die Adaptation des Beobachters, die Farben und Leuchtdichten im näheren und weiteren Umfeld berücksichtigt: Die Farbsysteme entwickelt von Hunt[13] und von Nayatani und Mitarbeitern[14] werden z. Z.

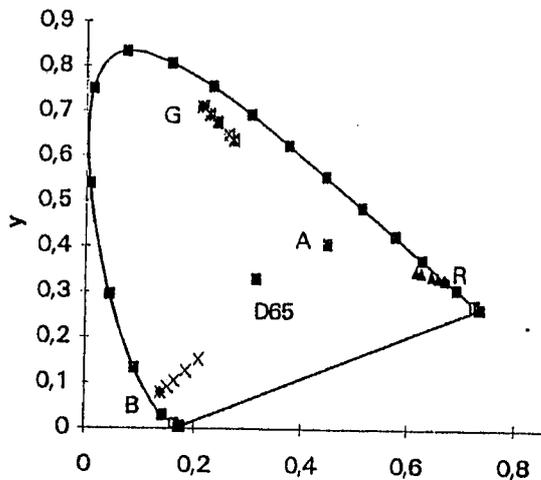


Abb. 2.: x,y-Diagramm mit den Farbkoordinaten der Normlichtart D₆₅ und Normlichtart A; die drei NTSC Phosphore; zunehmende Beleuchtung des Bildschirms mit Normlichtart A: E = 0, 70, 150, 300 und 500 lux, Leuchtdichtekoeffizient: q = 0,04.

international untersucht. Bezüglich weiterer Details siehe [15 - 17]. Diese Methoden ermöglichen die Beschreibung der Farbe in empfindungsangepaßten Koordinaten: Helligkeit, Farbart und Chroma.

Der jetzige Stand der Technik ist noch nicht ausgereift genug, um diese Methoden in ihrem vollen Umfang anwenden zu können, es sind noch zahlreiche weitere Experimente notwendig, bevor sie in die Farbdarstellung am Bildschirm implementiert werden können. Es ist aber zu erwarten, daß Programme und Hilfsgeräte auf den Markt kommen werden, die es ermöglichen, die externen Parameter automatisch zu berücksichtigen, um den Empfindungen gerechte Farbbeschreibung zu erzielen.

5. Zusammenfassung

In dieser Arbeit haben wir auf einige Fragen hingewiesen, die berücksichtigt werden müssen, um Farben am Bildschirm richtig darstellen zu können. Zur Zeit sind nur wenige Geräte erhältlich, die eine partielle automatische Kalibration des Bildschirmes ermöglichen.

Der PC und der Monitor stehen zur Verfügung, um die Visualisierung der Farben zu ermöglichen. Der Anwender muß sich jedoch über die Funktion und die Leistungsgrenzen des Monitors im klaren sein, um ihn richtig anwenden zu können.

Es stehen noch nicht alle farbwissenschaftlichen Erkenntnisse zur Verfügung, um die Visualisierung an alle Adaptationsumstände angleichen zu können. Der Fortschritt ist jedoch rasant, und man kann hoffen, daß die noch fehlenden Details bald zur Verfügung stehen werden, um die Farben empfindungsgemäß richtig darstellen zu können.

Literatur

1. ISO/IEC JTAG 2: Image Technology, JTAG 2 N 94.
2. ISO TC 130 Graphic Technology, ISO/CD 12642
3. Travis D: Effective color displays. Theory and practice, Academic Press, London (1991)
4. Wheeler TRH and Clark MG: CRT technology p 241, in *Color in electronic displays*, ed.: Widdel H, Post DL, Grossman JD, Walraven J: Plenum Press, New York (1992).

5. Clark MG: Flat-panel displays, p 265, in *Color in electronic displays*, ed.: Widdel H, Post DL, Grossman JD, Walraven J: Plenum Press, New York (1992).
6. Berns RS, Motta RJ, Gorzynski ME: CRT Colorimetry. Part I: Theory and Practice, *Color Res. Appl.* **18/5**, Oct 1993.
7. Bodrogi P, Schanda J: Farbmetrische Kalibrierung von Farbmonitoren, Farbtagung, Bled, 1994.
8. Hung PC: Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look-up-table and interpolations, *J. Electronic Imaging* **2**, 1, 53-61, 1993.
9. Post DL, Calhoun CS: An evaluation of methods for producing specific colors on CRTs, in *Proc Human Factors Society 31st Annual Meeting*, 1276-1280, 1987.
10. Lucassen MP, Walraven J: Evaluation of a simple method for color monitor recalibration, *Color Res. Appl.* **15**, 321-326, 1990.
11. Bodrogi P, Muray K, Schanda J, Kránicz B, Accurate colorimetric calibration of CRT monitors, SID '95 Symp., Orlando, 1995.
12. Kokoschka S: Bildschirmarbeitsplätze, in *Handbuch für Beleuchtung*, SLG 1993.
13. Hunt RWG: Revised Color-Appearance Model for Related and Unrelated Colours, *Color Res. Appl.* **16**, 146 - 165, 1991.
14. Nayatani Y, Takahama K, Sobagaki H, Hoshimoto K: Color-Appearance Model and Chromatic Adaptation Transformation, *Color Res. Appl.* **15**, 210 - 221, 1990.
15. Schanda, J: Brightness Evaluation of Colored VDU Signals, in: *Conference Record of the 1985 International Display Research Conference*, California, USA, SID 118 - 122, 1985.
16. Schanda J: Mapping the Colour Space for Equal Character Recognition Probability, in: *IS & T/SPIE Internat. Symposium, El. Imaging Sci. & Techn.: Device Independent Color*, San Jose, 1909- 6, 1993.
17. Schanda J: CIE Colorimetry at the Beginning of the Sixth Decade of Existence LIG/EDP '92 Conf., Nashville, Ten., USA, 1992.

BELEUCHTUNG UND ABBILDUNG MIT LASER

Richter, Wolfgang

0. Einführung

Im Beitrag wird ausgehend von der **geometrischen Natur der Laserstrahlung** gezeigt, unter welchen geometrischen Umständen eine Analogie in den **radiometrischen Formeln** zwischen konventionellen Strahlungsquellen und Lasern besteht. Danach wird gezeigt, wie die **Abbildung** die radiometrischen Größen von Laserstrahlung transformiert.

Im Falle der Bestrahlung rauher Flächen (oder allgemein statistischer Phasenstrukturen) sind **Speckleeffekte** zu beachten, welche Intensitätsverteilung und Indikatrix grundsätzlich verändern. Ursache und Auswirkungen werden veranschaulicht und analytisch abgeschätzt.

Analytische Beweisführungen, numerisch-grafische Beispiele und weiterführende Darstellungen sind in [1] gegeben.

1. Natur der Laserstrahlung

Für Gaußbündel folgt aus der Resonatortheorie [2] lateral als **Intensität** ein Gaußprofil und axial ein hyperbolisches Profil. Weiterhin gilt für Gaußbündel

$$\tan(\theta) = \lambda / (\pi w_0) \quad (1)$$

θ Divergenzwinkel

λ Wellenlänge

w_0 Taillenradius .

Im Falle von Nicht-Gaußbündeln sind die Zusammenhänge komplizierter bzw. analytisch nicht beschreibbar. In jedem Falle gilt aber, daß das **Fernfeld** proportional zur **Fouriertransformierten** des Nahfeldes ist bzw. umgekehrt.

2. Definition radiometrischer Größen für Gaußbündel

Der **gesamte Strahlungsfluß** ϕ_e berechnet sich aus der Integration $d\phi_e$ über die **freie Fläche** A des Laserbündels, das führt für den allgemeinen (rotationssymmetrischen) Fall zu

$$\phi_e = \frac{1}{2} M_{e0} \pi w_0^2 = \frac{1}{2} E_{e0} \pi w^2 \quad (2)$$

M_{e0} Spezifische Ausstrahlung in Taillenmitte

E_{e0} Bestrahlungsstärke auf der Symmetrieachse

w Laserbündelradius .

Üblicherweise sind gegeben Laserleistung und Tailenradius, so daß sich aus (2) die spezifische Ausstrahlung in Tailenmitte und die Bestrahlungsstärke auf der Symmetrieachse berechnen lassen aus

$$M_{e0} = 2 \phi_e / (\pi w_0^2) \quad E_{e0} = 2 \phi_e / (\pi w_0^2) \quad . \quad (3) \quad (4)$$

D.h., einmal gilt folgende Invariante

$$M_{e0} w_0^2 = E_{e0} w_0^2 \quad , \quad (5)$$

zum anderen können die Terme $\pi w^2 / 2$ bzw. $\pi w_0^2 / 2$ als effektive Flächen interpretiert werden

$$A_{0 \text{ eff}} = \frac{1}{2} \pi w_0^2 \quad A_{\text{eff}} = \frac{1}{2} \pi w^2 \quad (6) \quad (7)$$

$A_{0 \text{ eff}}$ effektive strahlende Fläche (Taille)

A_{eff} effektive bestrahlte Fläche .

Ausschließlich im Fernfeld gilt das "quadratische Entfernungsgesetz" für Laserbestrahlung.

$$E_{e0} = I_{e0} \Omega_0 / z^2 \quad (8)$$

mit

$$I_{e0} = \phi_e / \Omega_{\text{eff}} \quad (9)$$

I_{e0} Strahlstärke (in Richtung der Symmetrieachse)

und

$$\Omega_{\text{eff}} / \Omega_0 = \frac{1}{2} \pi \tan^2(\theta) = \lambda^2 / (4 A_{0 \text{ eff}}) \quad (10)$$

Ω_{eff} effektiver Raumwinkel

Ω_0 1 Steradian

Schließlich kann analog noch definiert werden

$$L_{e0} = \phi_e / (A_{0 \text{ eff}} \Omega_{\text{eff}}) = I_{e0} / A_{0 \text{ eff}} = M_{e0} / \Omega_{\text{eff}} \quad (11)$$

L_{e0} Strahldichte (in Richtung der Symmetrieachse) ,

wobei gilt

$$L_{e0} \Omega_0 = 4 \phi_e / \lambda^2 \quad . \quad (12)$$

Für die Winkelabhängigkeit von Strahlstärke und Strahldichte gilt

$$I_e = I_{e0} \exp\left[-2 \left(\frac{\tan(\epsilon)}{\tan(\theta)}\right)^2\right] \quad (13)$$

$$L_e = L_{e0} \exp\left[-2 \left(\frac{\tan(\epsilon)}{\tan(\theta)}\right)^2\right] \cos^{-1}(\epsilon) \quad (14)$$

ϵ Richtungswinkel relativ zur Symmetrieachse .

3. Abbildung von Laserbündeln - Transformation der radiometrischen Größen

Die entsprechenden Transformationsformeln von Laserbündeln (Kogelniksche Formeln) wurden erstmals in [2] für die "dünne Linse" und Gaußbündel veröffentlicht. Die verallgemeinerten Laserabbildungsformeln sind in [3,4] dargestellt.

Eine optische Abbildung des Laserbündels ist dadurch gekennzeichnet, daß sich der Taillenradius von w_0 in w'_0 , die Taillenlage a_0 in a'_0 und die Divergenz von θ in θ' transformieren. D.h., alle bildseitigen radiometrischen Größen werden analog der (objektseitigen) radiometrischen Größen berechnet. Als Beispiel gilt für die "Invarianz" der Strahldichte

$$L'_{e0} = \tau L_{e0} (f' / f)^2 \quad (15)$$

L_{e0}, L'_{e0} objekt- bzw. bildseitige Strahldichte

τ Transparenzgrad (bzw. Reflexionsgrad) des optischen Systems

f, f' objekt- bzw. bildseitige Brennweite des optischen Systems

4. Laserspeckle - Entstehung und analytische Abschätzung

Werden raue Flächen (oder allgemein statistische Phasenstrukturen) kohärent bestrahlt, dann erscheint dieser Sekundärstrahler mit statistischer Helligkeitsverteilung (Speckle) und veränderter Indikatrix [5]. Zur Abschätzung der Specklegrößen dienen folgende Beziehungen

$$d_{sp} \cong \lambda / NA \quad l_{sp} \cong \lambda / NA^2 \cong d_{sp} / NA \quad (16) \quad (17)$$

d_{sp} typischer Durchmesser eines (hellen) Speckle

l_{sp} typische Tiefe eines (hellen) Speckle

NA numerische Apertur

Literaturhinweise

- [1] Richter, W.: Beleuchtung mit Laser - Radiometrische Abschätzungen, Abbildung und Speckle (Manuskript), TU Ilmenau 1995.
- [2] Kogelnik, H. W., Li, T.: Laser beams and resonators. Appl. Opt. 5 (1966) 10, S. 1550-1567.
- [3] Richter, W., Jahn, R.: Kogelniksche Formeln - Verallgemeinerung und Programme, Optik 89 (1992) 4, S. 142-144.
- [4] Richter, W., Schuster, N.: Optimale Fokussierung von Laserbündeln, F&M 102 (1994) 5-6, S. 267-269.
- [5] Dainty, J. C.: Introduction in Laser Speckle and related Phenomena, Topics in Applied Physics Vol 9, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo 1984.

Dozent Dr. habil. Wolfgang Richter

Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau,
Institut für Lichttechnik und Technische Optik, Fachgebiet Technische Optik
Postfach 327, 98684 Ilmenau

Photometrie heute

Ch.Swarlik, E.Krochmann, Dr.T.Q.Khanh
PRC Krochmann GmbH

Anhand von einigen aktuellen Beispielen aus der industriellen Fertigung werden hier Lösungsmöglichkeiten von Problemen in der Photometrie beschrieben.

1. Objektive Weitergabe der SI-Einheit Lichtstärke (cd)

Eine der wichtigsten Aufgaben in der Photometrie ist die präzise Weitergabe der im Internationalen Einheitensystem (SI) festgelegten Basisgröße und Basiseinheit Lichtstärke cd (Candela). Dies wird üblicherweise mit einem $V(\lambda)$ -Empfänger oder mit einer Lichtstärke-Normallampe durchgeführt. Als Lichtstärkenormallampe eignet sich hierfür besonders die von OSRAM noch hergestellte WI 41/G-Lampe für wissenschaftliche Zwecke.

Die subjektive Justage der Lampe sowie der ungeeignete Sockel der Lampe führen hier zu einer unbefriedigenden Reproduzierbarkeit der lichttechnischen und elektrischen Größen.

Mit der neuen Methode zur objektiven Achsenjustierung wurde die erreichbare relative Reproduzierunsicherheit von $\pm 0.2\%$ (typisch für ein gut ausgestattetes Labor) auf $\pm 0.03\%$ verbessert. Die relative Unsicherheit von Strom und Spannung betrug $\pm 0.02\%$

Das Grundprinzip (Bild 1) besteht aus einer speziellen Halterung für die Normallampe und der Möglichkeit, auf diese Halterung präzise einen neuentwickelten Diffraktionsspiegel zu befestigen. Mit einem Laser, dessen Laserstrahl durch einen Strahlteiler in zwei zueinander entgegengesetzten Richtungen aufgeteilt wird, wird eine präzise und objektive Einstellung der Lampe vorgenommen. Es wird die gleiche Position wie bei der Eichung der Normallampe eingestellt!

Dieses Verfahren ermöglicht somit eine genaue und einfache Abstandsmessung, sehr gute relative Reproduzierbarkeit der elektrischen und photometrischen Größen und eine schnelle Justage der Normallampe. Die mechanischen Toleranzen der eingesetzten Photometerbank werden kompensiert. Die Justage ist bei kleinen und bei großen Entfernungen gleichermaßen präzise einstellbar. Natürlich kann dieses Prinzip auf alle Lampentypen angewendet werden [1].

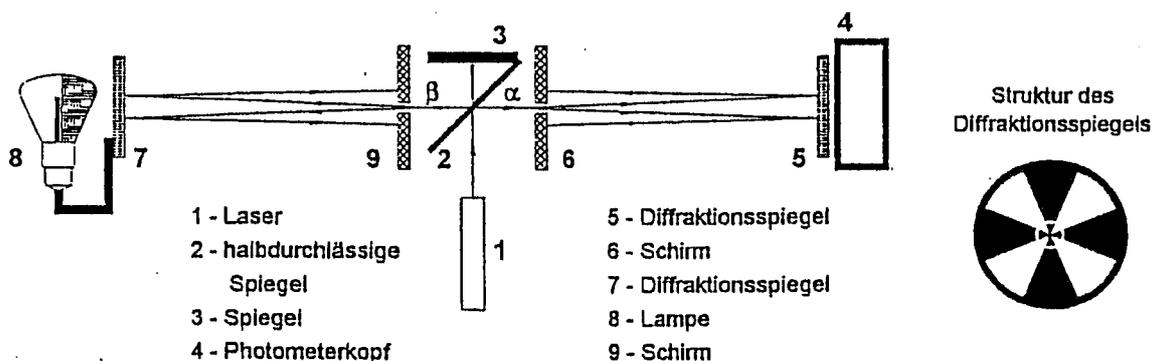


Bild 1: Justagespiegel und das Justageprinzip

2. Goniophotometer mit Exzenter-Drehspiegel

Die Merkmale dieser neuartigen Konstruktion (Bild 2) liegen zum einen in der Meßgenauigkeit bei einer hohen Meßgeschwindigkeit und in einer optimalen individuell gestalteten Raumausnutzung. Zum Beispiel ist es möglich, den direkten und indirekten Anteil von Leuchten mit einer maximalen Diagonale von 2.1 m zu messen, wobei die Gesamthöhe des Gerätes nur bei ca. 5 m liegt.

Die Leuchten und Spiegelarme werden mit separaten Motoren und Getrieben mittels computergesteuerter Koppelung gedreht.

Die Messung des Direkt- und des Indirektanteils erfolgt durch eine vom Spiegelarm unabhängige Drehung des Leuchtenarms ohne schwere körperliche Arbeit.

Mehrere integrierte Laser in den mechanischen Baugruppen ermöglichen eine genaue und schnell reproduzierbare Justage der Leuchten oder Lampen (Gleiches Prinzip wie oben) .

Um bei der konisch-exzentrischen Spiegeldrehung eine exakte und streulichtfreie Messung zu erreichen, wird eine motorisch angetriebene Streulichtblende und ein drehbarer Photometerkopf elektronisch synchron mit dem Spiegel gedreht.

Die Steuerungssoftware ermöglicht eine einfache und sichere Handhabung des Gerätes. Die Planungssoftware unter DOS oder Windows ermöglicht eine schnelle und qualitativ hochwertige Auswertung und Repräsentation der Meßwerte.

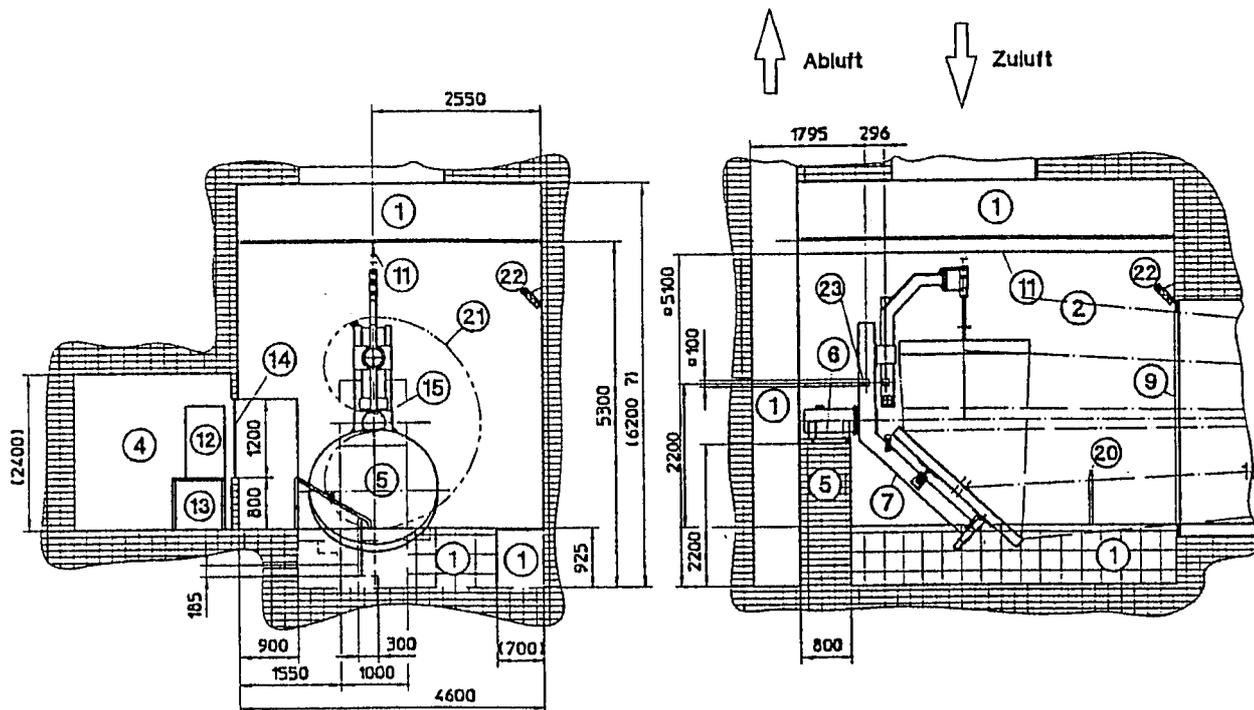


Bild 2: Goniophotometer mit Exzenter - Drehspiegel

3. Kugelradiometer zur Messung des Strahlungsflusses

Eine der grundlegenden Größen zur Kennzeichnung von Lichtquellen ist der "spektrale Strahlungsfluß $\phi_{e\lambda}(\lambda)$ ". Mit dieser Größe können wichtige strahlungs- und lichttechnische Kennzahlen berechnet werden.

Hierzu gehören der Strahlungsfluß (z.B. für UVA- und UVB-Bereiche), Lichtstrom, Normfarbwerte bzw. Normfarbwertanteile (X,Y,Z,x,y) und die speziellen Farbwiedergabe-Indizes R_i und der allgemeine Farbwiedergabe-Index R_a .

Das Kugelradiometer zur Messung von $\phi_{e\lambda}(\lambda)$ (Bild 3) besteht aus einer Ulbrichtschen Kugel /2/ (der Durchmesser kann zwischen 0.3 m und 2 m betragen), einer Hilfslampe, Meßfassungen für verschiedene Sockeltypen (mit einem Schnell-Wechsel-System), einem Monochromator mit entsprechender Eingangsoptik, notwendiger Elektronik und Empfängersystem sowie einer umfangreichen Software zur Steuerung des Meßablaufs und Auswertung.

Die Software ermöglicht eine Dateiverwaltung der Meßdaten, die grafische Darstellung und Protokollierung der Meßergebnisse (Erzeugung von Qualitätsregelkarten und Fehlerprotokollen nach Kundenspezifikation), Justieren der Monochromatoreingangsoptik in der Kugel und eine automatische Absolutkalibrierung. Die Unsicherheit der Meßgröße variiert mit der Wellenlänge. Sie beträgt $\pm 0.5\%$ bei 560 nm und erhöht sich auf $\pm 1.5\%$ bei 380 nm und 800 nm.

4. Sonnensimulation

Die entscheidenden Kriterien zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Sonnensimulators sind die Globalbestrahlungsstärke, die UV-Bestrahlungsstärke, der Sonnenerthemfaktor, die spektrale Anpassung und Gleichmäßigkeit der Bestrahlungsstärke in der Nutzebene. Die heutigen Sonnensimulatoren erfüllen nur die Spezifikation der Klasse B /3/ wegen der großen

Inhomogenität der Bestrahlungsstärkeverteilung, der unbefriedigenden spektralen Anpassung sowie der noch großen zeitlichen Instabilität der Meßsignale. Hinzu kommt der Nachteil, dass ein solcher Sonnensimulator wegen der großen Wärmeeinwirkung für dermatologische Untersuchungen der menschlichen Haut ungeeignet ist.

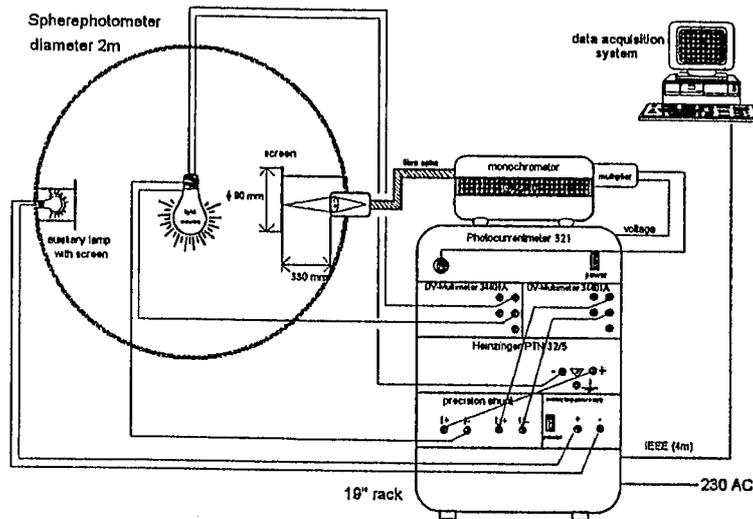


Bild 3: Aufbau des Kugelradiometers

Die wesentlichen Verbesserungen wurden in der Gleichmäßigkeit der Bestrahlungsstärkeverteilung in der Nutzebene erzielt. Hierbei wird eine spezielle Wabenkondensoroptik eingesetzt, mit der eine Gleichmäßigkeit besser als 7% auf einer 20cm durchmessenden Arbeitsebene realisiert wurde. Dies gilt bei der Einhaltung aller anderen geforderten Größen, wie z.B. der Parallelität des Strahlenganges und der Bestrahlungsstärke von 1000 W/m^2 (Bild 4 u. 5). Die Verwendung von dichroischen Spiegeln ermöglichte den erfolgreichen Einsatz eines Sonnensimulators bei dermatologischen Untersuchungen an der menschlichen Haut.

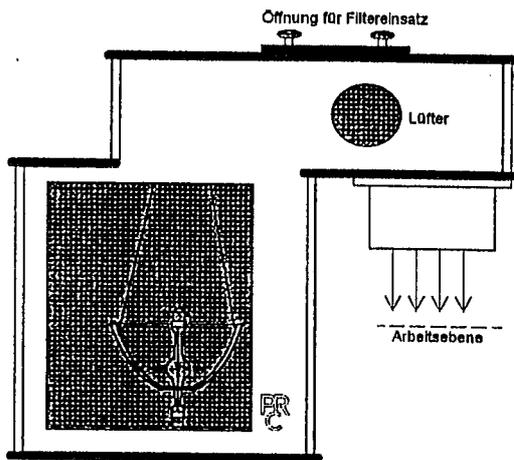


Bild 4: Sonnensimulator für direkte Bestrahlungsstärke

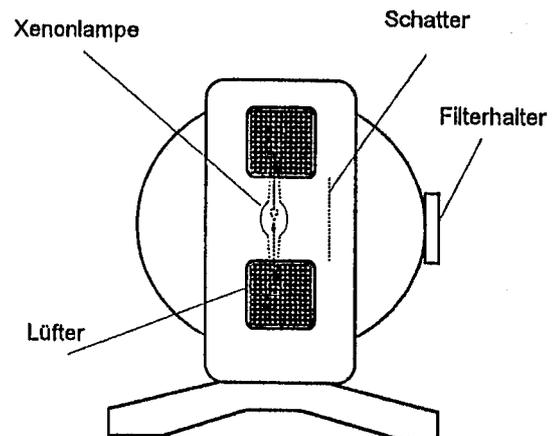


Bild 5: Sonnensimulator für diffuse Bestrahlungsstärke

5. Literatur

- /1/ "Eine Präzise Methode zur Justage und Kalibrierung von Photometern und Goniophotometern", G.Czibula, E. Krochmann im Andenken an Herrn Prof.Dr.Jürgen Krochmann von PRC Krochmann veröffentlicht.
- /2/ CIE 84, The measurement of luminous flux
- /3/ ASTM E927-85, Standard specification solar simulation for terrestrial photovoltaic testing

Messung von Bildschirmfarben mit verschiedenen Farbmeßgeräten

Uwe Adomeit

1. Aufgabenstellung

Im Rahmen einer Studienarbeit am Lichttechnischen Institut der Universität Karlsruhe sollten drei nach verschiedenen Meßprinzipien arbeitende, konventionelle Farbmeßgeräte in Bezug auf Genauigkeit und Zuverlässigkeit bei der Messung von Bildschirmfarben untersucht und bewertet werden. /1/

2. Die zu vergleichenden Farbmeßgeräte

Für die Untersuchung wurden die folgenden Meßgeräte verwendet, deren Eigenschaften in Tabelle 1 zusammengefaßt sind.

MG 1 : Dreibereichsfarbmeßgerät (LMT-Dreibereichsfarbmeßgerät C 1210)

MG 2 : Spektralphotometer mit Diodenarray (Gröbel PC-Spektrometer V3.0)

MG 3 : Gitterspektralphotometer (Pritchard Modell 1980 B)

Die Kalibrierung der Meßgeräte wurden mit einer Lichtquelle bekannter Strahlungsfunktion überprüft, so daß eine gemeinsame Ausgangsbasis vorlag.

	<i>MG 1</i>	<i>MG 2</i>	<i>MG 3</i>
Empfänger	Si-Photoelemente	Si-Photodiodenarray	SEV
Wellenlängenbereich	380nm bis 780nm	400nm bis 1100nm	380nm bis 780nm
Schrittweite	-----	0,7nm	5nm
Meßfelddurchmesser	8 cm	2 mm	12,5 cm
Eingangsoptik	Tubus	Lichtwellenleiter	Optik mit 3° Öffnungswinkel

Tabelle 1: Einige Daten der verwendeten Meßgeräte.

3. Durchführung der Vergleichsmessungen

Zur Farbdarstellung wurde ein 14" Bildschirm vom Typ Samsung Modell No CVM 4787 T verwendet. Dieser Bildschirm wurde an einem Computer mit VGA-Graphikkarte (Auflösung 600 * 400 Bildpunkte) betrieben. Als Farbeditor wurde ein selbstgeschriebenes Programm verwendet, das für jede Bildschirmgrundfarbe die Eingabe von Farbstufen zwischen 0 und 63 (6 bit) erlaubt. Auch die Darstellung von Mischfarben ist damit möglich. Die durch diesen Editor definierte Farbe wird dann auf der gesamten Bildschirmoberfläche dargestellt. Die Farborte der Grundfarben bei maximaler Stufenzahl zeigt Tabelle 2.

	Rot	Grün	Blau	Weiß
L/cd/m ²	11,448	40,238	5,903	57,699
x	0,6228	0,3070	0,1500	0,2900
y	0,3492	0,5975	0,0677	0,3079

Tabelle 2 :

Farborte der Grundfarben des Bildschirms, gemessen mit MG 1. Das Bildschirmweiß hat eine ähnlichste Farbtemperatur von 8300K.

Bei den Messungen wurden die in /2/ definierten Meßbedingungen eingehalten, d. h. die optische Achse des Meßgerätes steht senkrecht zur Oberfläche des Bildschirms, die Messungen erfolgen im abgedunkelten Raum, die Meßeinrichtung ist gegen Streulicht abgeschirmt und Bildschirm und Meßgeräte sind vorgewärmt.

4. Ergebnisse

Zur Untersuchung von Zuverlässigkeit und Genauigkeit wurden mit allen Geräten bei allen vier Farben die Normfarbwertanteile in Abhängigkeit von der Stufenzahl gemessen. Jeder Meßwert setzt sich dabei aus acht unabhängigen Einzelmessungen zusammen. Ein Beispiel für die sich ergebenden Kennlinien zeigt Bild 1. Im Idealfall sollte keine Abhängigkeit von der Stufenzahl vorliegen. Tatsächlich verändern sich die Normfarbwertanteile jedoch etwas mit der Farbstufe. Diese Änderung ist von der Farbe abhängig. Bei kleinen Stufenzahlen (ab etwa 18) sind die Messungen nicht mehr eindeutig. Ursache dafür ist die zu geringe Empfindlichkeit der Meßgeräte und die zu geringe Leuchtdichte der gemessenen Farben.

Genauigkeit :

Zur Überprüfung, in wieweit die drei Geräte bei Messung der Normfarbwertanteile übereinstimmen, wurden die Differenzen der Normfarbwertanteile Δx und Δy für alle drei möglichen Meßgerätekombinationen gebildet. Dabei wurden die Farbstufen 18 bis 63 berücksichtigt. Δx und Δy sind etwa gleich und liegen im Mittel zwischen 0,004 und 0,006, ohne daß ein Gerät besonders gut oder schlecht abschneidet. Berechnet man die ent-

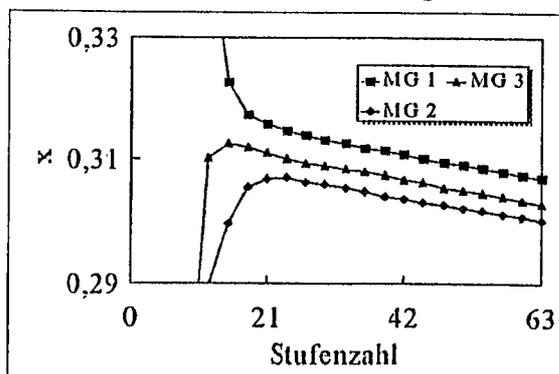


Bild 1 : x-Normfarbwertanteil der Farbe Grün in Abhängigkeit von der Stufenzahl.

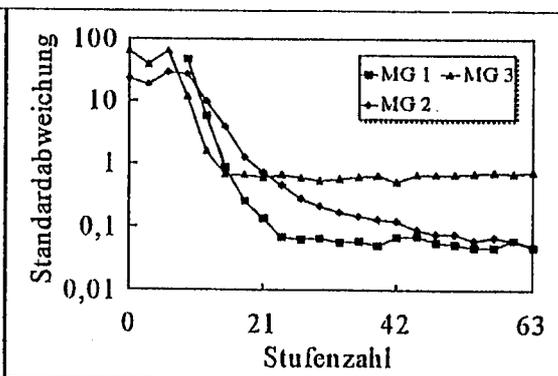


Bild 2 : Standardabweichung in % bei Messung des x-Normfarbwertanteiles der Farbe Grün.

sprechenden Farbabstände im CIELUV-Farbenraum, so ergeben sich mittlere Abstände zwischen 5 und 10 CIELUV-Einheiten. Die Ursachen für diese Unterschiede können in den unterschiedlichen Meßfeldern, Meßbereichen und Auswertungsverfahren liegen.

Zuverlässigkeit :

Als Maß für die Zuverlässigkeit einer Farbmessung wird die Standardabweichung zwischen den Einzelwerten verwendet. Sie wird in Abhängigkeit von der Stufenzahl für jedes Meßgerät und jede Farbe aus acht unabhängigen Messungen bestimmt. Unabhängig bedeutet hier, daß die Messung jedes mal neu aufgebaut und durchgeführt wurde. Es ergaben sich Kennlinien entsprechend Bild 2. Bei MG 1 und MG 3 bleibt die Standardabweichung zunächst weitgehend konstant, um ab etwa Stufenzahl 18 stark anzusteigen. Ab etwa Stufenzahl 9 sind die Meßwerte dann kaum noch von zufälligen Meßwerten zu unterscheiden. MG 2 zeigt ein völlig anderes Verhalten. Hier ist von Stufenzahl 63 an ein kontinuierlicher Anstieg festzustellen. Bei diesem Meßgerät wirkt sich mit sinkender Leuchtdichte ein nicht mehr vollständig zu kompensierender Dunkelstrom immer stärker auf die Messungen aus, was zu obigem Verhalten führt. Bildet man die Mittelwerte aus den Stufenzahlen 18 bis 63, so ergeben sich Werte entsprechend Tabelle 3. Zum Vergleich sind hier auch Standardabweichungen bei abhängiger Versuchswiederholung angegeben. Abhängige Versuchswiederholung bedeutet, das aus 20, nacheinander aufgenommenen Meßwerten die Standardabweichung bestimmt wurde.

	<i>unabh. VW</i>			<i>abh. VW</i>		
	<i>MG 1</i>	<i>MG 2</i>	<i>MG 3</i>	<i>MG 1</i>	<i>MG 2</i>	<i>MG 3</i>
x	0,0003	0,0034	0,0014	0,0002	0,0005	0,0030
y	0,0003	0,0032	0,0015	0,0002	0,0004	0,0020

Tabelle 3 :
Standardabweichungen bei unabhängiger (unabh. VW) und abhängiger (abh. VW) Versuchswiederholung.

Zusammenfassung

Insgesamt haben die Untersuchungen gezeigt, daß alle drei Farbmeßgeräte reproduzierbare Ergebnisse liefern, vorausgesetzt, die Farben sind nicht zu dunkel. Bei der Messung der absoluten Farbmaßzahlen wurden größere Unterschiede zwischen den Farbmeßgeräten festgestellt. Die Ursachen dafür liegen vermutlich in den unterschiedlichen Meßfeldern, Meßbereichen und Auswertungsverfahren der Meßgeräte.

Literatur

/1/ Adomeit, Uwe. "Messung von Bildschirmfarben mit verschiedenen Farbmeßgeräten."
Studienarbeit am Lichttechnischen Institut der Universität Karlsruhe. 1995
/2/ "Methods of measurement of the colorimetric performance of studio monitors"
European Proadcasting Union. 1983

Messungen mit einem Drehspiegel-Goniophotometer innerhalb der photometrischen Grenzentfernung

Stefan Eiselt

1. Aufgabenstellung

Beleuchtungsberechnungen in Innenräumen mit Hilfe des photometrischen Entfernungsgesetzes können unter Umständen zu erheblichen Fehlern führen. Um die Abweichungen zwischen tatsächlichen und berechneten Beleuchtungsstärken je nach Art der Leuchte zu untersuchen, wurde eine vorhandene Drehspiegel-Goniophotometeranlage so erweitert, daß entfernungsabhängige Beleuchtungsstärkemessungen rechnergesteuert durchgeführt werden können.

2. Die Meßeinrichtung

Eine schematische Darstellung der vorhandenen Drehspiegeleinrichtung zusammen mit der Meßerweiterung zeigt Bild 1. Die Positionierung des Empfängers erfolgt mit Hilfe eines schrittmotorgesteuerten Wagens, der auf einer 6 m langen Schiene bewegt werden kann. Die Meßentfernung vom Lichtschwerpunkt kann so in einem Bereich von 2,30m bis 8,10m variiert werden. Auf dem Wagen ist ein Arm mit Tubus und dem Meßkopf angebracht. Die gesamte Meßapparatur mußte mit Hilfe einer speziellen Laserjustiereinrichtung ausgerichtet werden.

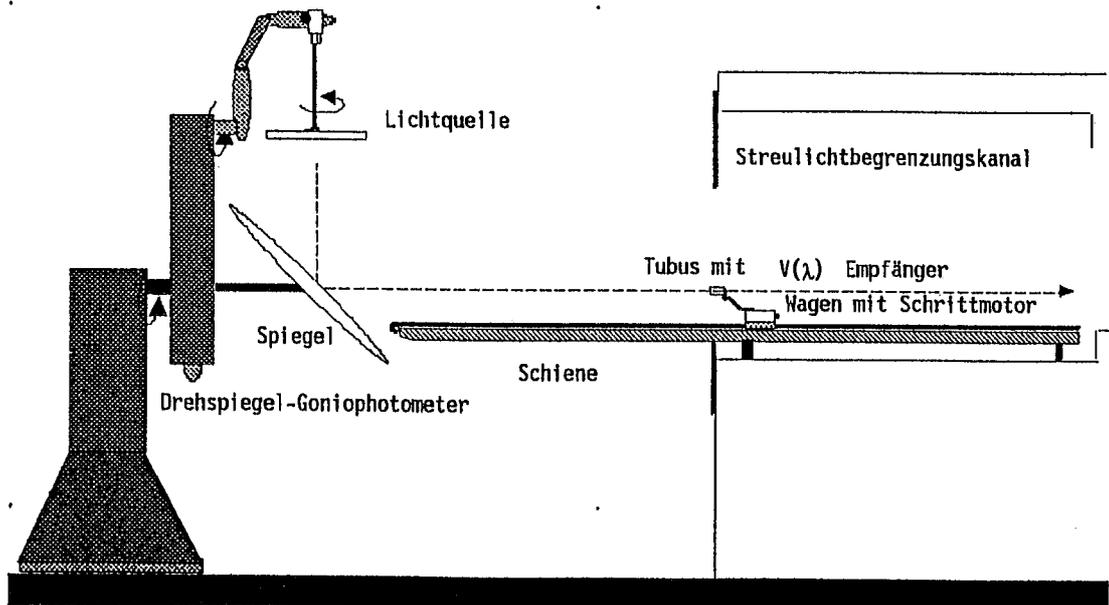


Bild 1:

Schematische Darstellung der Meßeinrichtung. Die vorhandene Meßanlage wurde um eine Schiene erweitert, auf der der Empfänger schrittmotorgesteuert positioniert werden kann.

Ein kritischer Punkt dieser Methode ist der Leuchtenlichtstrom, der nicht über den Spiegel reflektiert wird sondern direkt auf den Empfänger gelangt. Dieser Lichtanteil sowie der allgemein auftretende Streulichtanteil könnten mit einer zweiten Messung bei abgedecktem Spiegel erfaßt werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, Blenden, deren Öffnung von der jeweiligen Leuchtengeometrie abhängt, in den Strahlengang einzubringen.

3. Erste Meßergebnisse

Um einen vollautomatischen Meßablauf der zusätzlichen Meßeinrichtung zu ermöglichen, wurde ein Programm in C++ implementiert, das die Steuerung des Rechners für die Drehspiegelsteuerung sowie des Schrittmotors übernimmt und zusätzlich das Auslesen der entsprechenden Beleuchtungsstärkewerte ermöglicht.

Der Benutzer hat die Möglichkeit zwischen zwei Programmversionen zu wählen:

- I. Messung von entfernungsabhängigen Beleuchtungsstärken bei verschiedenen Leuchtenpositionen (γ , φ) bei einem Meßabstand zwischen 2,3m und 8,1m.

Als erste Versuchsleuchte wurde eine Spiegelrastereinbauleuchte (62,3 cm x 62,3 cm), bestückt mit einem EVG und zwei Kompaktleuchtstofflampen 36W, verwendet. Das folgende Bild 2 zeigt eine Auswertung dieser Programmversion, bei der in einer Winkelposition von $\gamma=0$ und $\varphi=0$ entfernungsabhängige Beleuchtungsstärken aufgenommen wurden.

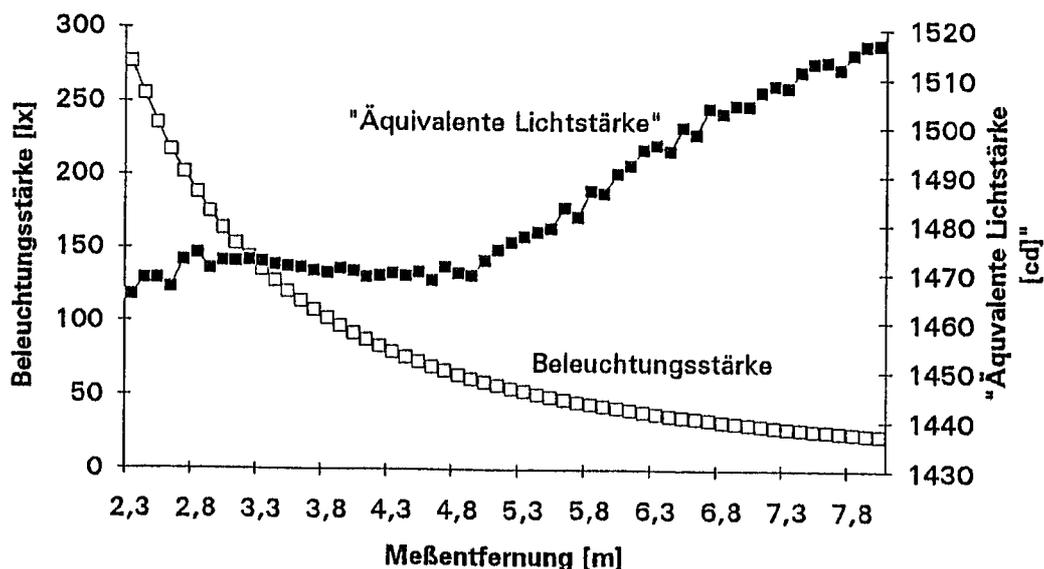


Bild 2:

Entfernungsabhängige Beleuchtungsstärken und "äquivalente Lichtstärken" der Spiegelrasterleuchte bei der Winkelstellung $\gamma=0$, $\varphi=0$.

II. Messung von winkelabhängigen Beleuchtungsstärken bei verschiedenen Meßentfernungen

Eine weitere Möglichkeit photometrische Messungen im Nahfeld darzustellen, ist die Verwendung einer "äquivalenten Lichtstärke". Man erhält sie gemäß der Gleichung $I_{\text{äq}} = E \cdot r^2$, wenn E die Beleuchtungsstärke in lux und r der Meßabstand in m bedeuten. Es handelt sich also nicht um eine echte Lichtstärke, die definitionsgemäß unabhängig von der Entfernung ist.

Bild 3 zeigt eine Darstellung einer "äquivalenten LVK", die entsteht, wenn die winkelabhängigen Beleuchtungsstärken über das photometrische Entfernungsgesetz in "äquivalente Lichtstärken" überführt werden. Diese sind über dem Ausstrahlungswinkel Gamma in der C0-Ebene aufgetragen. Die LVK, die bei einer Meßentfernung unterhalb der photometrischen Grenzentfernung aufgenommen wurde, unterscheidet sich in der Charakteristik nicht von der LVK bei einer üblichen Meßentfernung (> zehnfache Leuchtenabmessung). Die absoluten Werte sind jedoch, wie aus Bild 3 zu ersehen ist, von der Meßentfernung und der LVK abhängig.

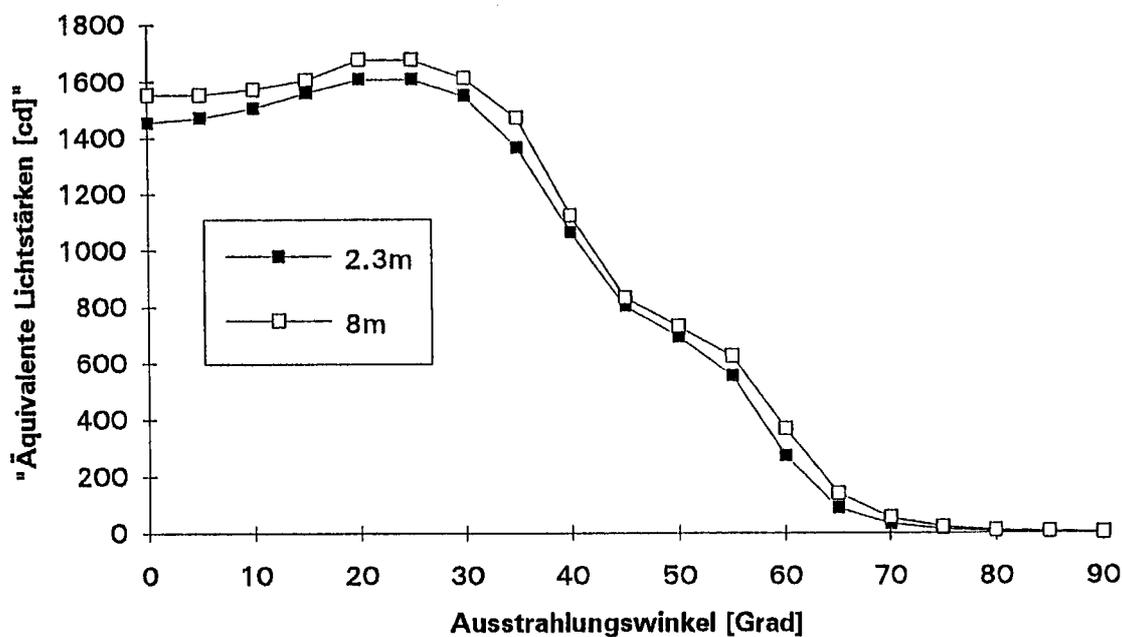


Bild 3:

"Äquivalente Lichtstärken" der C0-Ebene in cd einer Spiegelrasterleuchte bei einer Meßentfernung von 2,3m und 8m.

Die erweiterte Meßanlage befindet sich zur Zeit im Stadium der Erprobung.

LEUCHTENVERMESSUNG MITTELS BILDAUFLÖSENDER MEßTECHNIK

Junghans, Bert
Fischbach, Ingo

Einleitung:

Es sollen die Erfahrungen vermittelt werden, die während eines Industriepraktikums mit bildauflösender Meßtechnik gemacht wurden. Der Beitrag enthält folgende Abschnitte:

- I. Vorteile sowie lichttechnische Anforderungen an bildauflösende Leuchtdichtemeßgeräte
- II. Realisierung, Bestandteile und Komponenten des Entwicklungsgerätes im Ilmenauer Fachgebiet
- III. Erfahrungen mit bildauflösender Meßtechnik zur LVK-Messung während eines Industriepraktikums bei der Bamberger Industriegesellschaft

I. Vorteile sowie Nachteile bildauflösender Meßapparatur :

1. Der Zeitrahmen zur Bewertung von Lichtquellen und Beleuchtungssituationen als Funktion des Ortes ist mit Einzelsensoren oft nicht vertretbar.
2. Im Meßbild sind die Informationen über den geometrischen Zusammenhang der einzelnen zu vermessenden Punkte bereits enthalten.
3. Die Speicherung von Aufnahmeszenen erlaubt das Reproduzieren der Messung.
4. Die rechen-technische Anbindung der CCD-Kamera gestattet eine einfache Handhabung und Protokollierung.
5. Die Werte der CCD-Kamera stellen eine der Leuchtdichte äquivalente Größe dar.

Nachteile:

1. Es ergeben sich wesentlich größere Datenmengen.
2. Die Kalibrierung des Meßsensors ist mit hohem Aufwand verbunden.

Anforderungen an bildauflösende Leuchtdichtemeßgeräte

Wesentliche Anforderungen an derartige Meßgeräte ergeben sich entsprechend DIN 5032 Teil 7. Exemplarisch seien hier folgende genannt:

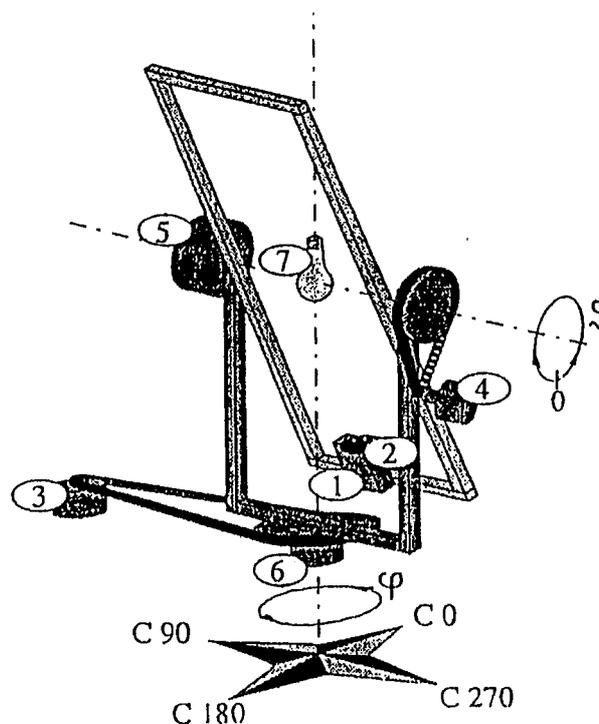
1. $V(\lambda)$ - Anpassung an die spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges
2. Cosinus-getreue Bewertung der Beleuchtungsstärke - Erzeugen einer richtungsunabhängigen Bewertung
3. Linearitätsfehler - Das Verhältnis von Meßsignal zu Leuchtdichtewert ist nicht ideal linear.
4. Temperaturkoeffizient - Driftverhalten des Meßsignals in Abhängigkeit von der Temperatur

5. Fehler durch moduliertes Licht - Nieder-bzw. Hochfrequenzen sowie Pulsationen müssen mit dem Sensor durch Integration minimiert werden.
6. Gesamtfehler -Die Gesamtheit der Einzelfehler kennzeichnet die Güte der Meßanlage und somit die Einstufung in die Genauigkeitsklasse.

CCD-Meßgeräte ordnen sich in die Genauigkeitsklassen A und B ein was einem Gesamtfehler $< 5\%$ bzw. $< 10\%$ entspricht. Somit kann man mit diesen Meßsystemen hohe und mittlere Genauigkeiten erreichen.

Auf die technischen Anforderungen an die Einzelkomponenten der Meßanlage soll hier nicht eingegangen werden, da diese im Vortrag von Dr.Schmidt (TechnoTeam Bildverarbeitung Ilmenau) ausführlich geschildert werden.

II. Prinzipbeschreibung der Meßanlage



- 3 Modellgoniometer
- 1 CCD-Kamera
- 2 Blendscheibe
- 3 Antrieb für Phi
- 4 Antrieb für Theta
- 5 Winkelgeber für Theta
- 6 Winkelgeber für Phi
- 7 Meßobjekt in Gebrauchslage

Mit dem von Prof. Riemann und TechnoTeam Bildverarbeitung Ilmenau entwickelten Gerät handelt es sich um eine Meßanlage, die in der Lage ist, Lichtstärkeverteilungen weit innerhalb der fotometrischen Grenzentfernung der Leuchte zu vermessen. Die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung müßte eigentlich im parallelen Licht also in unendlicher Entfernung von der Leuchte vermessen werden.

Dies wurde bei bisherigen Meßanlagen (Drehspiegelgoniometer) insofern berücksichtigt, daß man in einer Entfernung von etwa dem 30-fachen der Leuchtenabmessung mißt. Dazu wurden bisher große schwarze Meßlabors benötigt. Hinzu kommt, daß sich die Leuchte während der Messung nicht in einer ruhenden Position befindet.

Das Prinzip der neuartigen Meßanlage in Ilmenau beruht darauf, daß die Leuchte mittels einer CCD-Meßkamera in einzelne leuchtende Elemente zerlegt wird, für welche die fotometrische Grenzentfernung eingehalten ist. Die Lichtstärke der Leuchte in eine bestimmte Richtung ergibt sich resultierend als integrale Größe der Einzellichtstärken, die von der Meßkamera entlang einer gedachten kugelförmigen Oberfläche um die Leuchte herum aufgenommen worden. Die Zerlegung der Leuchte in virtuell kleine Elemente erlaubt die Berechnung der Lichtstärke I aus der Leuchtdichte L nach dem quadratischen Entfernungsgesetz. Direkt über der Kamera ist ein $V(\lambda)$ angepaßtes Fotoelement angebracht, welches die Absolutwertanbindung der Kamera über den Lichtstrom vornimmt.

Die Leuchte selbst verbleibt während der Messung vollständig in Ruhe. Die Vorbereitung und Durchführung der Messung wird von einem Rechner mit Windows-Oberfläche gesteuert.

Mechanischer Aufbau des Goniometers

Das Gerät selbst besteht aus zwei kardanisch gelagerten Rahmen, die eine Vermessung von Leuchten bis zu einer maximalen Diagonale von 1,2 m gestattet. Eine Vergrößerung des Rahmens für längere Leuchten ist prinzipiell möglich und wird dieses Jahr am existierenden Goniofotometer realisiert. Das Gerät ist mit einer Aufhängevorrichtung für die zu vermessenden Leuchten versehen, über die auch die elektrische Versorgung der Leuchten erfolgt. Bei Leuchten mit Abstrahlungsanteilen in den oberen Halbraum muß ein fehlender Meßanteil in Kauf genommen werden, da die Meßanlage die Position, an der sich die Aufhängevorrichtung befindet nicht anfahren kann. Der Antrieb der kardanischen Rahmen erfolgt durch rechnergesteuerte Schrittmotoren mit einer Positionierungsunsicherheit von $\leq 0,01^\circ$. Die Winkelschritte in beiden Ebenen sind auf $2,5^\circ$ festgelegt. Da das Goniofotometer nur eine relativ leichte Kamera und das erwähnte (huckepack auf der Kamera sitzende) Fotoelement zu bewegen hat, ist es in Leichtbauweise ausgeführt.

III. Erfahrungen mit dem Goniometer im Rahmen eines Industriepraktikums

Von Oktober 1994 - März 1995 wurden am Entwicklungsgerät umfangreiche Meßreihen während eines von der Bamberger Industriegesellschaft getragenen Industriepraktikums durchgeführt. Das Aufgabengebiet umfaßte folgende Punkte:

1. Beteiligung an der letzten Aufbauphase der Meßanlage
2. Durchführen von Kalibrierungsmessungen und Vergleichsmessungen zum Zwecke der Eichung, Austestung und Vervollkommnung des Goniofotometers
3. Erstellung einer Programmkonzeption zum Erhalt von Beleuchtungswirkungsgradtabellen und Söllnerdiagrammen
4. Erarbeiten eines C-Programms zur Ermittlung der Klassifikation der Leuchten entsprechend DIN 5040
5. Vermessung von 70 Leuchten der BIG und Nutzung der Protokolldaten zur Berechnung von Katalogparametern

Durch die Arbeit an der Meßanlage konnten folgende spezifischen Erfahrungen bei der Vermessung von Leuchten mit bildauflösender Meßtechnik gesammelt werden:

- 1.Über den on-line Monitor der Meßanlage sind direkt Aussagen über die Leuchtdichtevertelung der Leuchte möglich. Diese Information ist bei der Erstellung von Söllnerdiagrammen zur Blendungsberwertung von Bedeutung.
- 2.Über die Farbabstufung des angezeigten Leuchtenbildes ist eine grobe Leuchtdichtebestimmung möglich
- 3.Bei der Justage der Leuchte kann die Anzeige des on-line Monitors genutzt werden, um die Leuchte im Lichtschwerpunkt zu justieren.
- 4.Die Justage der Leuchte kann außerdem über zwei weitere Möglichkeiten vorgenommen werden. Dabei kann entweder ein Laserpointer genutzt werden, oder es wird lediglich eine Probemessung in zwei Ebenen mit dem Photoelement vorgenommen.

Die Kalibrierung der Anlage erfolgte mittels mehrerer unabhängiger Messungen (mit Lichtstärkenormal Wi 40, mit Beleuchtungsstärkemesser Pocketlux der Firma LMT und mit Lichtstromvergleich von 4 Leuchten der Firma Regiolux,Königsberg/Bayern, die am dortigen Drehspiegelgerät vermessen worden). Als Konsequenz der folgenden durchgeführten Untersuchungsmessungen kann hinsichtlich der Genauigkeit folgende Aussage gemacht werden.

Die Messungen zwischen einem Drehspiegelgerät und dem bildauflösenden Goniometer stimmen gut überein. Die Betriebswirkungsgrade differieren um maximal 1% durchschnittlich um 0,4%. Die LVK zeigen eine Abweichung von durchschnittlich 1,6% . Die Messungen von Goniofotometer mit bewegten Empfänger am langen Ausleger der Firma Zumtobel zeigen im Vergleich zu den Ilmenauer Messungen ebenfalls gute Übereinstimmungen (Leuchtenbetriebswirkungsgrad 1% / LVK 1.9-2.9%).

Generell kann somit gesagt werden, daß mit dem bildauflösenden Goniometer in Ilmenau ein gleichwertiges Meßprinzip zu den herkömmlichen aufwendigeren Verfahren gegeben ist.

Im Verlauf des gesamten Praktikums wurden 110 Messungen an Leuchten und 70 Messungen an Lampen durchgeführt. Bei den Leuchten handelte es sich um ein vielseitiges Sortiment von An- und Einbauleuchten sehr unterschiedlicher Größe und Bestückung. Dadurch ist unterstützend zu den bereits erwähnten Messungen nachgewiesen worden, daß mit dieser Anlage und ihrem neuartigen Meßprinzip ein breites Spektrum der Anwendung gegeben ist.

cand. ing. Junghans, Bert (TU Ilmenau)
 Dipl.-Ing. Fischbach, Ingo (TechnoTeam Bildverarbeitung Ilmenau)

Literatur:

- 1/ Manfred Riemann, Franz Schmidt, Ralf Poschmann: Zur Bestimmung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten innerhalb der fotometrischen Grenzentfernung mittels eines bildauflösenden Goniofotometers / Licht 7-8 1993
- 2/ Manfred Riemann, Franz Schmidt, Ingo Fischbach : Zur Leistungsfähigkeit der Messung von Lichtstärkeverteilungskurven mittels bildauflösender Fotometrie / Licht 7-8 1995
- 3/ Ingo Fischbach, Franz Schmidt : Anwendungen angepaßter CCD-Sensortechnik in der fotometrischen Lichtmeßtechnik / IWK-Vortrag 1995

Die direkte Methode der Untersuchung der Kurven, die die Reflexionsflächen bilden.

Raditschová Jana
 Pastuchová Elena
 Kuma Ján
 Gašparovský Dionýz

Die Kurven, die die Reflexionsflächen bilden, sind gewöhnlich zentrische Kegelschnittlinien oder unzentrische Kreislinien. Für die Abgrenzung der Fläche konzentrieren wir uns auf die zentrischen Kegelschnittlinien.

Die zentrischen Kegelschnittlinien (Abb. 1), die die rotationssymmetrischen Reflexionsflächen bilden, haben die Gleichung

$$r = \frac{p}{1 + \varepsilon \cdot \cos(\varphi - \mu)} \quad (1)$$

wobei p - ist der Parameter der Kegelschnittlinie

ε - die Exzentrizität der Kegelschnittlinie, im Fall der Ellipse ist die Zahl ε kleiner als 1,
 im Fall der Parabel ist gleich 1,
 im Fall der Hyperbel ist sie größer als 1.

μ ist der Winkel, den die optische Achse mit der Kegelschnittlinieachse abgrenzt.

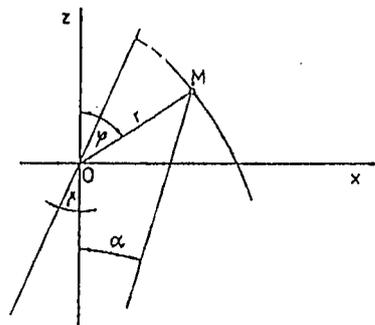


Abb. 1

zentrische Kegelschnittlinie

Der Mittelstrahlenverlauf in der Meridianfläche von den Kurven, die die rotationssymmetrischen Reflexionsflächen bilden, drücken wir aus folgender Differentialgleichung aus:

$$\frac{dr}{r} = \operatorname{tg} \frac{(\varphi - \alpha)}{2} d\varphi \quad (2) \quad \text{davon} \quad \alpha = \pm \left(\varphi - 2 \cdot \operatorname{arctg} \frac{dr}{r \cdot d\varphi} \right) \quad (3)$$

Das Symbol (+) gilt in dem Fall, wenn die zurückstrahlenden Mittelstrahlen weg von der optischen Achse der Leuchte gerichtet sind.

Der Mittelstrahlenverlauf in der Meridianfläche von dem rotationssymmetrischen Reflektor, (bei dem die Kurve, die ihn bildet, die zentrische Kegelschnittlinie ist), ist aus den Gleichungen (1) und (2) abgeleitet

Ing. Jana Raditschová,
 RNDr. Elena Pastuchová,
 Ing. Ján Kuma,
 Ing. Dionýz Gašparovský,
 Firma STU FEI Bratislava
 Adresse Ilkovičova 3, Bratislava 812 19, Slowakei

$$\alpha = \pm \left(\varphi - 2 \cdot \arctg \frac{\varepsilon \cdot \sin(\varphi - \mu)}{1 + \varepsilon \cdot \cos(\varphi - \mu)} \right)$$

wobei das Symbol (+) im Fall der Ellipse gilt und das Symbol (-) im Fall der Hyperbel.

Der Parameter p der zentrischen Kegelschnittlinie, die die rotationssymmetrische Reflexionsflächen bilden, hängt von den Anfangsdaten r und φ jedes Reflektors. Die Exzentrizität der Kegelschnittlinie ε für die Leuchten mit zentrischer und tiefer Lichtstärke wählen wir in den Grenzen 0,9 bis 1,1; für die Leuchten mit halbbreiter und breiter Kurve der Lichtstärke ist es zweckmäßig, die Zahl ε kleiner als 0,9 zu wählen. Der Winkel μ der zentralen Kegelschnittlinien, die die Reflexionsflächen bilden, wird in der Richtung der maximalen Lichtstärke jeder Leuchte bestimmt.

Die Differenzialgleichung (1), mittels derer wir hier den Mittelstrahlenverlauf in der Meridianfläche ausgedrückt haben, ist abgeleitet mit Hilfe der Differenzialen, deren mathematische Adaptierung aus mathematischer Hinsicht nicht ganz korrekt sind.

Unser Vorgang unterscheidet sich darin, daß wir mit Hilfe einfacher physikalischen bzw. geometrischen Kenntnisse entsprechende Differentialgleichungen, (ohne Anwendung von Differentialen) direkt bilden, und mit Hilfe des Satzes über die Existenz und Eindeutigkeit der Lösung zeigen wir noch dazu, daß diese Lösungen die einzigen und maximalen sind.

Wir beschäftigen uns mit folgenden 3 Fällen:

- A) - die zurückgestrahlten Strahlen sind parallel - das Ergebnis ist Parabel
- B) - die zurückgestrahlten Strahlen zielen auf einen Punkt hin - das Ergebnis ist die Ellipse
- C) - die zurückgestrahlten Strahlen gehen aus einem Punkt aus - das Ergebnis ist die Hyperbel

In allen Fällen suchen wir den Achseschnitt des Rotationsreflektors in der Fläche mit winkelrechten koordinierten Achsen o_x und o_y mit der Rotationsachse in der koordinierten Achse o_x und der Punktlichtquelle. Wir setzen voraus, daß die Lösung der gegebenen Aufgabe die graphische Darstellung der Differentialfunktion $\phi : (\alpha, \beta) \rightarrow \mathbb{R}$ ist, wobei (α, β) ist ein offenes Intervall.

Für die Abgrenzung des Raumes führen wir nur die Lösung des Punktes A und des Punktes B an.

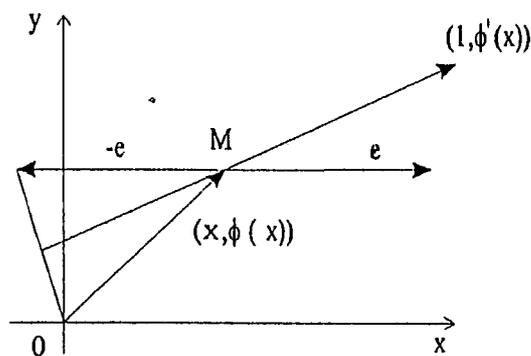


Abb. 2

A)

Wenn die Punktlichtquelle im Punkt (0,0) und die Strahlenrichtung durch den Einheitsvektor $e(1,0)$ gegeben ist, dann ist der Punkt $(x, \phi(x))$ der Punkt der graphischen Darstellung der gesuchten Lösung gerade dann, wenn

$$\left(\frac{(x, \phi(x))}{\sqrt{x^2 + \phi^2(x)}} - e \right) \perp (1, \phi'(x)) \quad \text{das heißt} \quad \left(\frac{(x, \phi(x))}{\sqrt{x^2 + \phi^2(x)}} - e \right) \cdot (1, \phi'(x)) = 0$$

Diese Bedingung ist äquivalent damit, daß die Lösung der Differentialgleichung ist

$$y' = \frac{\sqrt{x^2 + y^2} - x}{y} \quad (4)$$

Diese Differentialgleichung können wir umrechnen in die Form: $y' = f\left(\frac{y}{x}\right)$

was die homogene Differentialgleichung ist, und mit gewöhnlichen Vorgehensweisen finden wir ihre Lösung

$$\phi : (0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}, \quad \phi(x) = \sqrt{a^2 + 2ax} \quad a = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} - x_0^2$$

das in der Menge $(0, \infty) \times (0, \infty)$ liegt und durch den Punkt (x_0, y_0) durchgeht.

Diese Funktion kann wahrscheinlich verbreitert werden auf das Intervall $\left(-\frac{a}{2}, \infty\right)$

und durch die direkte Substitution in (4) wird festgestellt, daß die Funktion

$$\phi : \left(-\frac{a}{2}, \infty\right) \rightarrow \mathbb{R}, \quad \phi(x) = \sqrt{a^2 + 2ax}$$

die Lösung der Gleichung (4) ist, und in der Menge $\mathbb{R} \times (0, \infty)$, und durch den Punkt $(x_0, y_0) \in \mathbb{R} \times (0, \infty)$ durchgeht. Mit Hilfe des Satzes über die Existenz und Eindeutigkeit der Lösung wird schließlich bewiesen, daß durch jeden Punkt $(x_0, y_0) \in \mathbb{R} \times (0, \infty)$ gerade eine Lösung der angegebenen Form durchgeht und maximal ist. Jede andere kontinuierliche Lösung ist deswegen eine Verengung einer von diesen maximalen Lösungen.

B)

Suchen wir den Achseschnitt des Rotationsreflektors, (der in dem System der Koordinaten mit winkelrechten koordinierten Achsen o_x und o_y lokalisiert ist), mit der Rotationsachse in der Achse o_x , wenn die Lichtpunktquelle im Punkt $(-e, 0)$ und die zurückgestrahlten Lichtstrahlen in den Punkt $(e, 0)$ gerichtet sind. Suchen wir diesen Achseschnitt als die graphische Darstellung der differenzierbaren Funktion $\phi : (\alpha, \beta) \rightarrow \mathbb{R}$, unter der Voraussetzung, daß es für jedes $x \in (\alpha, \beta)$ ist $(x, \phi(x)) \in \mathbb{R} \times (0, \infty)$. (Aus den physikalischen Gründen kann die Lösung höchstens zwei gemeinsame Punkte mit der Rotationsachse haben.)

Die graphische Darstellung der Funktion ist die Lösung gerade dann, wenn für jedes $x \in (\alpha, \beta)$ ist

$$\left[\frac{(x, \phi(x)) - (e, 0)}{|(x, \phi(x)) - (e, 0)|} - \frac{(e, 0) - (x, \phi(x))}{|(e, 0) - (x, \phi(x))|} \right] \perp (1, \phi'(x))$$

das heißt
$$\left[\frac{x + e, \phi(x)}{\sqrt{(x + e)^2 + \phi^2(x)}} - \frac{(e - x, -\phi(x))}{\sqrt{(x - e)^2 + \phi^2(x)}} \right] \cdot (1, \phi'(x)) = 0$$

Mit dem Lösungsergebnis der gegebenen Bedingungen gelangen wir zu dem Schluß, daß durch jeden

$\phi(x) = b \cdot \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}$ Punkt $(x_0, y_0) \in \mathbb{R} \times (0, \infty)$ geht eine Lösung $\phi : (-a, a) \rightarrow (0, \infty)$ durch, wobei

$$a = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(x_0 + e)^2 + y_0^2} + \sqrt{(x_0 - e)^2 + y_0^2}; \quad b^2 = a^2 - e^2; \quad b > 0$$

unserer Differentialgleichung.

Ähnlich wie in A können wir mit Hilfe des Satzes über die Existenz und Eindeutigkeit beweisen, daß durch jeden Punkt $(x_0, y_0) \in \mathbb{R} \times (0, \infty)$ gerade eine Lösung der angeführten Form durchgeht und maximal ist. Jede andere kontinuierliche Lösung ist deswegen eine Verengung einer von diesen maximalen Lösungen.

Das Demonstrationsprogramm Luxjun

Das Programm Luxjun dient zur Demonstration der direkten Methode der Untersuchung von Kurven der Reflexionsflächen, deren Verfahren in dieser Arbeit abgeleitet wurde.

Das Programm löst folgende 2 räziproke Aufgaben:

1. Das Folgen des Verlaufs der Lichtstrahlen in der Meridianfläche von den Kurven, gebildet durch die Mittelkegellinie.
2. Die Erklärung der bildenden Kurve des Rotationsreflektors beim bekannten Verlauf der zurückgestrahlten Strahlen in der Meridianfläche.

In beiden Fällen wird mit der Punktlichtquelle im Brennpunkt der Kegelschnittlinie gerechnet, welche eine Parabel, Hyperbel oder Ellipse sein kann.

Bei der Analyse des Problems werden als Eintrittswerten angegeben: die Exzentrizität der Kegelschnittlinie und der Winkel γ . Im Bereich des Intervalls (φ_1, φ_2) , abgrenzenden den Teil der Kegelschnittlinie, kann man dann auf der graphischen Darstellung den Verlauf der Mittelstrahlen mittels der Simulation folgen. Die Ergebnisse sind übersichtlich in der Tabelle geordnet.

Bei der Problemsynthese wird zuerst die bildende Kurve bestimmt und für diese Kurve wird der Mittelstrahlenverlauf gefolgt, ähnlich wie in dem ersten Fall.

Das Programm Luxjun beinhaltet auch das Schema und die theoretische Beschreibung der Problematik.

Die Literatur:

1. Horňák, P., Trembač, V. V., Ajzenberg, J. B.: Svietidlá a svetelné zdroje, Bratislava 1983
2. Guter, R., Janpolskij, A.: Differencialnyje uravlenia, Moskva 1962
3. Šulka, R., Moravský, L., Satko, L.: Matematická anlyza 1, Bratislava 1986
4. Vančura, Z.: Analytická metóda v geometrii I, Praha 1957

Referat zum Themenkomplex II :

Thema : Lichtgestaltung bei Sanierung historischer Objekte (Kurzfassung)

Regina Dom , Wolfsburg

Einleitung

" Die Geschichte des Lichtes in der Architektur ist einerseits die Geschichte seiner zunehmenden und verfeinerten Verwendung für überkommene und neue Zwecke. Andererseits hat sich die Architektur vielleicht mehr als andere Kunstzweige der immerwährenden Gültigkeit von Symbol und Mythos vergewissert."
(Werner Oechslin aus " Licht - ein Gestaltungsmittel zwischen Vernunft und Gefühl ")

" Lichtdesign ist wie Architekturdesign. Es besitzt die gleichen Charakteristika der Ausarbeitung und der kulturellen Modelle "
(Piero Castiglioni)

1. Licht und Architektur - ein kurzer Abriss der Geschichte des Umgangs mit Licht

Die Geschichte des Lichtes begann mit dem Mythos von der Erschaffung der Welt. In der jüdisch-christlichen Vorstellung beginnt das Sechstageswerk Gottes mit der Scheidung von Licht und Finsternis (Engelssturz), wobei ' Licht ' mit ' Gott ' gleichgesetzt wird (Johannesevangelium), denn das himmlische Jerusalem bedarf "keiner Sonne noch des Mondes", da es durch "die Herrlichkeit Gottes erleuchtet" wird. Der Kampf zwischen Licht und Finsternis als Kampf zwischen gutem und bösem Prinzip und die Vorstellung Gott - Licht bilden die Grundlage für die "Lichtmetaphysik" und die "Lichtästhetik" des 12. Jh., welche wesentlich den Charakter der gotischen Baukunst prägten.

Die Licht-Architektur der Gotik sollte die Kathedrale zu einem " himmlischen Jerusalem " machen. Transparente Glasmalereien in glühender Farbigkeit (noch im Original fast vollständig z.B. im Stendaler Dom erhalten), welche raumhohe, langgestreckte Fensteröffnungen füllten, durchsichtige, emporstrebende Baukörper, dessen Konstruktion sich auf die funktional notwendigen Bauelemente zu beschränken suchte, leichte, " schwebende Gewölbe " und die damit verbundene Lichtführung waren ihre Mittel, um ein transzendentes Raumgefühl zu erschaffen.

Auch in der Malerei dieser Zeit spiegelt sich die Vorstellung von der " Göttlichkeit des Lichtes " als selbstleuchtende Farbe vor raumlosem Goldgrund (Eigenlicht , bzw. reflektierendes Licht), im Gegensatz zur Malerei der Renaissance, wo das Licht auch zum " Beleuchtungslicht " wird.

Mit der Entdeckung der Gesetze der Optik (spätestens mit Newtons modellhaften Darstellungen des Funktionierens des Lichtes und des Sehens) wurden Lichtwirkungen immer besser kalkulierbar. Der Mythos Licht , die Darstellung des " Göttlichen " bleibt jedoch noch immer der wesentliche Grund für die Suche nach besonderen architektonischen Lösungen im Sakralbau.

Im Bereich der profanen Baukunst erfüllte das Licht - abgesehen von den an den Höfen besonders im Zeitalter des Barock sehr beliebten und verschwenderischen Fest- und Effektbeleuchtungen - hauptsächlich zweckgebundene Beleuchtungsaufgaben.

Mit der Erfindung des elektrischen Lichtes im 19. Jh. eröffneten sich ungeahnte Möglichkeiten planbaren Lichtes in allen gesellschaftlichen Bereichen. Sedlmayr bezeichnet den nun beginnenden hemmungslosen Lichttausch als " Umschwung von Qualität in Quantität ", hin zu einem " unermesslichen Lichtdurst ". Licht wird allgegenwärtig, der Rhythmus von Tag und Nacht, die Bedeutung von " Licht und Finsternis " wird verwischt- folgenreich ! Doch gibt es mit wachsenden Erfahrungen im Umgang mit dem hist. noch relativ neuen Medium ,seiner rasanten technischen Weiterentwicklung in Verbindung mit altem Wissen um das Phänomen ' Licht ' interessante Ansätze eines wieder bewußteren Umgangs mit Kunst- und Tageslicht.

2. Modernes Kunstlicht in historischen Gebäuden

Lichtdesign für historische Gebäude bedeutet zunächst einmal Auseinandersetzung mit architektonischen Tatbeständen, denn der Idealzustand einer gemeinsamen Entwicklung von Licht- und Gebäudearchitektur dürfte in nur seltenen Fällen, z. B. bei einer radikalen Neugestaltung des Gebäudeinnenlebens zutreffen. Künstliche Beleuchtung kann jedoch wesentlich dazu beitragen, mit modernen technischen Mitteln und der Anwendung architekturgeschichtlichen Wissens historisch gewachsene Inhalte in Hinblick auf zeitgemäße Funktionalität neu zu formulieren.

Neben der Beschäftigung mit der architektonischen Vergangenheit des Gebäudes, geplanten baulichen Veränderungen, neuen Raumfunktionen, denkmalpflegerischen Forderungen ist ein wichtiger Punkt in der Vorplanungsphase die Beobachtung und Analyse der Tageslichtverhältnisse. Die Dynamik des natürlichen Lichteinflusses im Tages- und auch Jahreslauf bestimmt deutlich den sichtbaren Ausdruck, aber auch die mystische Wirkung von Plastik, Farbe und Raum. Sie ist zwar für jede Art von Architektur wichtig, wird aber besonders wesentlich bei Gebäuden, welche die gesellschaftliche Befindlichkeit historischer Epochen interpretieren, in denen der natürliche Rhythmus von Licht und Dunkelheit auch den Lebensrhythmus der Menschen bestimmte. Wie schon unter 1. beschrieben, muß hier besonderes Augenmerk auf Sakralbauten und den hier hauptsächlich religiös bestimmten Umgang mit Licht gelegt werden. Das trifft vorrangig dann zu, wenn es sich um Gebäude relativ "reinen Stils" handelt und ihre ursprüngliche Lichtarchitektur entweder noch vorhanden oder durch wenige bauliche Veränderungen (z.B. Öffnen vermauerter Fenster) rekonstruierbar ist.

Eine künstliche Beleuchtung sollte jedoch nicht die Simulierung von Tageslichtverhältnissen zum Ziel haben - was auch keine technische Beleuchtungsanlage jemals realisieren kann. Die Analyse der natürlichen Lichtverhältnisse ermöglicht jedoch (nicht zuletzt durch neue Seherfahrungen) ein besseres Erfassen der rhythmisch-dynamischen Struktur des Gebäudes und seines Wesens.

Auf der Basis dieser Vorarbeiten kann eine erste Verständigungsebene zwischen Lichtdesigner, Architekten und Denkmalpfleger entstehen. Wichtig ist an dieser Stelle mit allen Beteiligten zu klären, ob die historische Bausubstanz lediglich (obwohl vielleicht noch deutlich auszumachen) den Rahmen oder Hintergrund für eine auch gestalterisch dominierende Neunutzung bilden soll oder ob und in welchem Maße sich das Gebäude oder Gebäudeteile als Denkmal manifestieren werden.

Nur so kann auch der Lichtdesigner gestalterische Schwerpunkte setzen, die anstehenden Sehaufgaben erkennen und sein Maß an notwendiger Zurückhaltung oder gestalterischer Freiheit finden.

Es kommt also bei der Lichtplanung für historische Objekte besonders darauf an, denkmalpflegerische Aspekte (Architekturlicht) und funktionale Aspekte (Zweckbeleuchtung) auch mit Hilfe von Kunstlicht zu einer Synthese zu führen.

Das Kunstlicht

Natürliches Licht dringt von einer Lichtquelle "Sonne" ausgehend von außen durch die Gebäudeöffnungen ein und erfährt weite Teile des Gebäudeinneren als Gesamtheit. Künstliches Licht erhellt über eine Vielzahl von Lichtquellen jeweils nur Teilräume, die sich in ihrer Addition zum Ganzen fügen sollten (Gleichmäßigkeit). Künstliches Licht kann zusätzliche Akzente setzen, Aufmerksamkeit auf Besonderheiten lenken, kann Bereiche, die unter natürlicher Beleuchtung kaum sichtbar werden (z.B. besondere bauliche Details) "ans Licht holen". Künstliches Licht kann durch die Komposition von Lichtstimmungen Vergessenes in ein "neues Licht rücken", Räume vielfältig erlebbar machen. Kunstlicht sollte aber trotz unseres heutigen Bedürfnisses nach "Durchsichtigkeit" behutsam eingesetzt werden, "etwas im Dunkeln lassen" können, um unserer Zeit einen Rest von Mystik zu erhalten.

Zu entscheiden ist auch, ob von den geplanten Beleuchtungskörpern eine selbstständige und gewollt räumlich-plastische Wirkung ausgehen sollte. In historischen Räumlichkeiten ist der sichtbare Leuchtenkörper an der beleuchtungstechnisch richtigen Stelle oft nicht zu vermeiden. Auch Leuchten als reine Funktionsträger stellen als sichtbare Technik einen starken Kontrast zu historischen Raumelementen dar und wirken oft unangenehm dominant. Die Einbindung notwendiger Technik in eine vermittelnde (Leuchten-) Form kann, ohne daß historische Lichtträger kopiert werden, eine mögliche Lösung des Problems sein.

3. Kriterien für eine Beleuchtung mit künstlichem Licht (insbesondere bei der Sanierung hist. Objekte)

Die Nennbeleuchtungsstärke ,die Güteklasse der Blendungsbegrenzung, die Stufe der Farbwiedergabe sollte sich ausgehend von der Raumfunktion an den Empfehlungen der Norm DIN 5035, an den Festlegungen der Arbeitsstättenrichtlinie ASR 7/3, den Vorgaben der AMEV- Richtlinie Beleuchtung '92 (Hinweise für Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden) orientieren. (besonders im Bereich der Sakralbeleuchtung sind Abweichungen von der Norm oft erforderlich !)

Die Not- und Sicherheitsbeleuchtung ist gemäß DIN-VDE 0108 und DIN 5035 sowie nach den Verwaltungsvorschriften der Bauordnungen der Länder auszuführen (Sondergenehmigungen sind möglich) Im Bereich der Sakralbeleuchtung gibt es Sonderregelungen.

Die Beleuchtungsanlage sollte neben optimalen Investitionskosten auch wirtschaftlich im Betrieb sein (möglichst wartungsarm und wartungsfreundlich - besonders bei großen Raumhöhen sollte die Montagehöhe der ortsfesten Beleuchtung beachtet werden - es sollte Möglichkeiten zum Herablassen von abgedeckten Leuchtenkörpern geben - langlebige Lichtquellen verringern den Wartungsaufwand - es sollten auch in der Leistungsaufnahme günstige Lichtquellen (einschl. Vorschaltgerät) eingesetzt werden, allerdings nicht auf Kosten von Gestaltung)

Die verwendeten Lichtquellen müssen denkmalpflegerischen Anforderungen gerecht werden. Sie dürfen auch im Dauerbetrieb keine schädigende Wirkung auf Kunstwerke oder Gebäudeteile ausüben (UV-Strahlung , Wärme ect.)

Durch E- Installation und Montage von Beleuchtung sollte so wenig wie möglich historische Bausubstanz angegriffen werden

Vorrangige gestalterische Kriterien :

Die Beleuchtung darf die Betrachtung z.B. eines Raumes nicht stören (z.B. mit unklarer Schattenbildung, Blendung, unproportionalen Beleuchtungskörpern) und sollte sein optisches Gefüge sichtbar machen

Die Beleuchtung sollte die architektonischen Besonderheiten historischer Räumlichkeiten dem Betrachter bewußt zugänglich machen

Das neue Lichtdesign sollte sich zunächst an den natürlichen Lichtverhältnissen orientieren und bei der Raumbeleuchtung dramatische Effekte mit Hilfe stark gerichteten Lichtes vermeiden (Zergliederung des Raumes durch harte Kontraste- es sollte Gleichmäßigkeit angestrebt werden)

Die Lichtfarbe der verwendeten Lampen sollte für eine natürliche Farbwiedergabe geeignet sein. Effekte mit Hilfe besonderer Lichtfarben sollten im allgemeinen vermieden werden

4. Beleuchtungsplanung am Beispiel " Alltagskirche Torgau "

Die Alltagskirche in Torgau ist eine dreischiffige, gotische Saalkirche, die jedoch schon seit fast zweihundert Jahren profanen Zwecken dient. Das inzwischen reichlich verbaute Gebäude soll nun, nachdem es im Zuge einer Generalsanierung fast in seinen ursprünglichen Zustand verwandelt wird, zu einer großen Aula umgestaltet werden. Mit Hilfe von Einbauten aus Stahl und Glas, die sich locker, ohne Kontakt mit den Raumgrenzen aufzunehmen in den Gesamtraum einfügen, mit gläsernen, versenkbaren Trennelementen ect. sollen weitere separate Räumlichkeiten (wie Bibliothek, Chorprobenraum, Unterrichts- und Musikräume) geschaffen werden. Der gotische Raum mit seinen interessanten Netzgewölben bleibt jedoch bestimmend und in seiner ganzen Ausdehnung wahrnehmbar.

Der Lichtplaner muß, um in Bezug auf dieses Gebäude zu einem angemessenen Ergebnis zu gelangen, fast alle im vorangegangenen Text aufgeführten Gesichtspunkte zum Thema " Licht in historischen Gebäuden " in seine Arbeit einfließen lassen. Darum wurde gerade dieses Beispiel zur Illustration der vorangegangenen Gedanken ausgewählt .

(im Rahmen der Kurzfassung zum Referat " Lichtgestaltung bei Sanierung historischer Objekte " kann auf das genannte Projekt nicht näher eingegangen werden)

Literatur :

Christliche Ikonographie , Verlag Köhler & Amelang , Leipz. 1988

Werner Oechslin : " Licht: Gestaltungsmittel zwischen Vernunft und Gefühl " DAIDALOS Nr. 27, 3/1988

Adolphe Appia : " Darsteller-Raum-Licht " Atlantis-Musikbuchverlag, Zürich 1982

Licht höherer Farbtemperatur in der Innenraumbeleuchtung

Steffen Salinger

1. Aufgabenstellung

In dieser Arbeit, die im Rahmen einer Diplomarbeit am Lichttechnischen Institut der Universität Karlsruhe (TH) durchgeführt wird, soll die Hypothese untersucht werden, daß eine Beleuchtung mit Licht höherer Farbtemperatur besser für das visuelle Leistungsvermögen ist als Licht geringerer Farbtemperatur.

Für diese Hypothese spricht, daß die Pupillenweite des menschlichen Auges vermutlich nicht von der photopischen, sondern von der skotopischen Leuchtdichte gesteuert wird. Eine geringere Pupillenweite hätte dann geringere Abbildungsfehler zur Folge. Andererseits würde aber bei einer geringeren Pupillenweite die retinale Beleuchtungsstärke kleiner werden.

Die Frage nach einem eventuellen Vorteil von skotopisch angereichertem Licht ist auch im Hinblick der Energieeinsparung in der Beleuchtungstechnik von Bedeutung.

2. Versuchsaufbau

Die Experimente finden in einem "weißen" Laborraum statt, der durch eine leuchtende Decke beleuchtet wird. Die Länge des Raum beträgt 3,6 m, die Breite 3,1 m und die Höhe 2,9 m. Der Reflexionsgrad der Wände liegt bei 70 %, der des Fußbodens bei 23 %. Die Fenster sind mit einem Rollo verdeckt, dessen Reflexionsgrad 60 % beträgt. In einem Hohlraum oberhalb der Decke, dessen Reflexionsgrad 80 % ist, sind freistrahkende Lichtleisten für 58W T26- Standardleuchtstofflampen montiert. Die abgehängte Decke besteht aus 3 mm dicken milchig trüben und diffus transmittierenden Plexiglasplatten, wie in Bild 1 dargestellt.

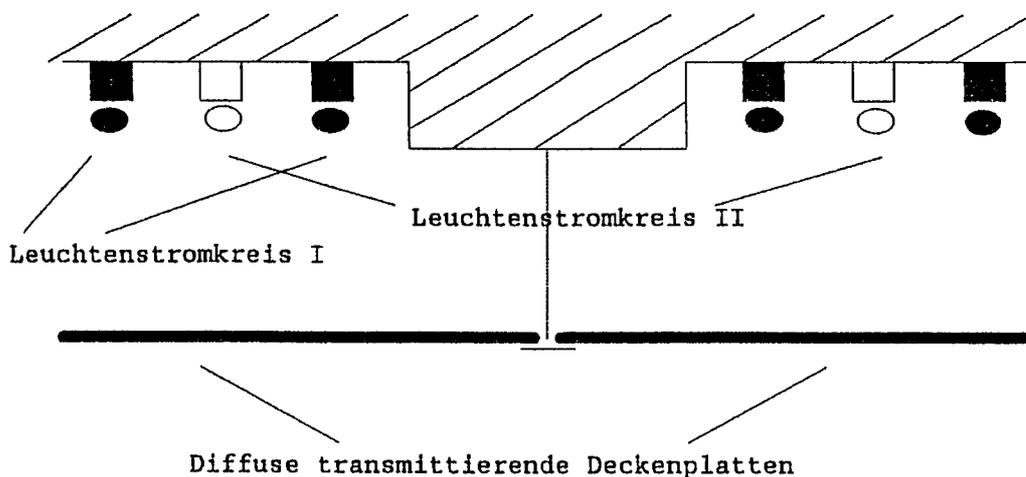


Bild 1:
Schnitt durch die Hohldecke im Versuchsraum Nr. 118 am Lichttechnischen Institut in Karlsruhe

Die an der Hohlraumdecke montierten Leuchten sind über zwei getrennt in ihrer Helligkeit regelbare Stromkreise steuerbar. Die Lampen werden mit dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten betrieben, die über eine 1-10V- Niedervoltschnittstelle angesteuert werden.

In Tabelle 1 sind die Typen der untersuchten Lichtquellen, ihre ähnlichste Farbtemperatur T_n , der allgemeine Farbwiedergabeindex R_a sowie das sogenannte Reizwertverhältnis L'/L zusammengefaßt. Zu Bestimmung dieser Daten wurde von je 3 Lampen eines Typs die spektrale Strahldichte mit einem Spektralphotometer Pritchard 1960b im Bereich von 380 nm bis 780 nm bei einer Bandbreite von 10 nm gemessen.

Das Reizwertverhältnis L'/L ist definiert zu:

$$\frac{L'}{L} = \frac{\int_{380nm}^{780nm} S(\lambda) * V'(\lambda) d\lambda}{\int_{380nm}^{780nm} S(\lambda) * V(\lambda) d\lambda} \quad /1/$$

Darin bedeuten:

- $S(\lambda)$: die relative Strahldichteverteilung
- $V(\lambda)$: die spektrale Hellempfindlichkeitsfunktion des Menschen für Tagessehen
- $V'(\lambda)$: die spektrale Hellempfindlichkeitsfunktion des Menschen für Nachtsehen

Um feststellen zu können, ob und wenn ja, welchen Einfluß die diffus transmittierenden Deckenplatten auf die oben erwähnten Größen haben, wurde der spektrale Transmissionsgrad ermittelt und damit die Strahlungsfunktion der Lichtquelle bewertet. Es zeigt sich, daß die Werte der Farbtemperatur abnehmen, während der allgemeine Farbwiedergabeindex sowie das Reizwertverhältnis relativ unverändert sind. Diese Größen, die mit dem spektralen Transmissionsgrad der Deckenplatte bewerteten Lichtquellen, sind ebenfalls in Tabelle 1 angegeben.

Lampentyp	ohne transmittierende diffuse Deckenplatte			mit transmittierender diffuser Deckenplatte		
	Ähnlichste Farbtemperatur T_n	Farbwiedergabeindex R_a	Reizwertverhältnis $\frac{L'}{L}$	Ähnlichste Farbtemperatur T_n	Farbwiedergabeindex R_a	Reizwertverhältnis $\frac{L'}{L}$
OSRAM L58W/72 BIOLUX	6100 K	96	2,153	5600 K	96	2,090
OSRAM L58W/12 TAGESLICHT	5100 K	94	1,935	4800 K	96	1,881
OSRAM L58W/22 HELLWEIB	3800 K	95	1,611	3500 K	96	1,562
OSRAM L58W/32 WARMWEIB	3000 K	90	1,238	2800 K	91	1,198

Tabelle 1:

Gegenüberstellung der Farbtemperatur, des allgemeinen Farbwiedergabeindex und des Reizwertverhältnisses der untersuchten Lichtquellen im freibrennenden Betrieb und bei der Bewertung mit dem spektralen Transmissionsgrad der Deckenplatten.

3. Versuchsdurchführung

Der Einfluß der spektralen Strahlungsverteilung der Leuchtstofflampen und damit auch der Farbtemperatur auf die visuelle Leistung wird in drei verschiedenen psychophysikalischen Experimenten bewertet.

Grundlage aller Experimente ist eine identische Anordnung der Versuchsperson, der Arbeitsmittel und eine Beleuchtungsstärke von 500 lx bei der Beleuchtung mit der jeweiligen Lichtfarbe.

Der erste Versuch bezieht sich auf die Helligkeitswirkung der jeweiligen Lichtart. Zu diesem Zweck wird auf die Oberfläche eines Bildschirms ein weißes Blatt Papier angebracht, und die Leuchtdichte einer definierten Bildschirmfarbe "Weiß" soll so eingestellt werden, daß beide Flächen gleichhell sind. Mit diesem Experiment soll geprüft werden, ob und wie sich die Farbtemperatur bei gleicher Beleuchtungsstärke auf die Helligkeit der Raumflächen oder des Arbeitsplatzes auswirkt.

Beim zweiten Versuch werden den Versuchspersonen beleuchtete Zeichen dargeboten. Sie muß entscheiden bis zu welcher Schriftgröße die Zeichen gut lesbar sind. Damit soll geprüft werden, ob die Sehschärfe oder auch die Lesbarkeit von der Lichtfarbe beeinflusst wird.

Beim dritten Versuch werden den Versuchspersonen auf dem Bildschirm selbstleuchtende Zeichen dargeboten. Hier soll untersucht werden, ob eine Beleuchtung mit unterschiedlicher Farbtemperatur einen Einfluß auf die Lesbarkeit von Bildschirmdetails ausübt.

Die Untersuchungen sind zum Zeitpunkt der Manuskripterstellung noch nicht abgeschlossen.

Literatur

- /1/ Kokoschka, S., Einfluß des Stäbchensehens auf die Beleuchtung, Licht 94, Interlaken
14.9.-16.9.1994

Komplexe Licht- und Farbgestaltung in Arbeitsstätten

Seifert, Dirk

Farben sind Taten und Leiden des Lichtes

Johann Wolfgang Goethe

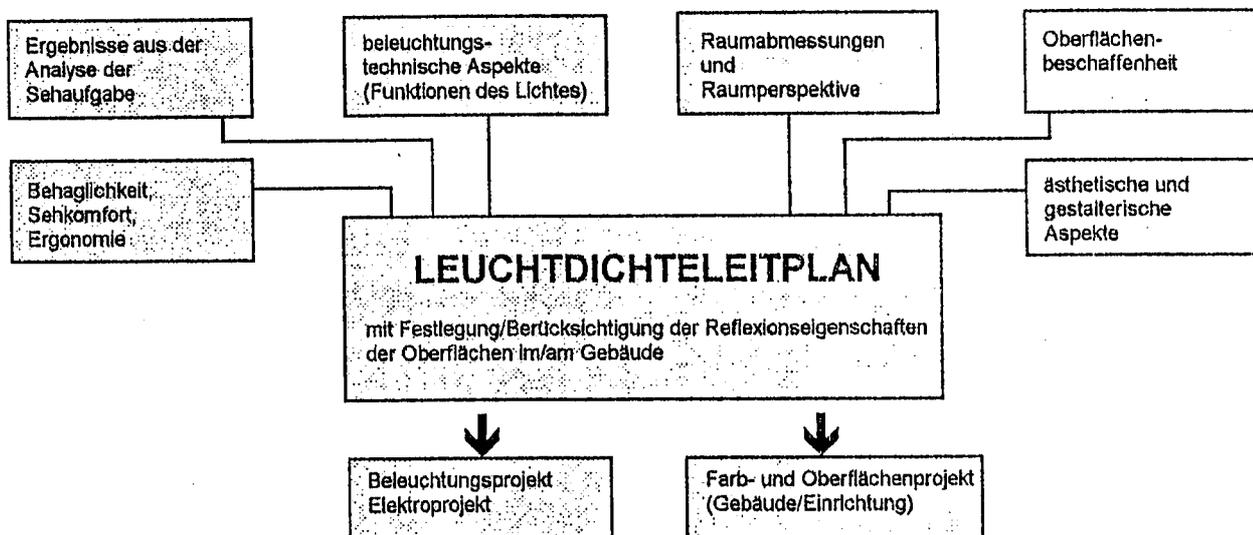
1. Licht- und Farbgestaltung - Einführung

Für das Wohlbefinden und optimale Arbeitsleistungen in Arbeitsstätten wie Büro, Werkstatt, Industrieanlage, Handels- bzw. Dienstleistungseinrichtung usw. ist auch die farbliche Gestaltung der Räume und Einrichtungen von wesentlicher Bedeutung. Gemeinsam mit der Lichtgestaltung wird das „optische Raumklima“ hierdurch beeinflusst.

Deshalb sollten wir Lichttechniker uns neben der Berücksichtigung architektonischer Besonderheiten auch hinsichtlich der Farbgestaltung sensibilisieren.

Eine komplexe Bearbeitung der Gestaltungsprobleme ermöglicht hier ergonomisch sinnvolle Lösungen. Ausgangspunkt der Planung des Lichttechnikers ist der zu entwerfende Leuchtdichteleitplan, welcher bereits unter Berücksichtigung verschiedenster Aspekte entsteht - beispielsweise als Ergebnis der Planung durch Setzen von Prioritäten.

einige komplexe Bestandteile der Entwurfsarbeit (nach Festlegung von Prioritäten)



Die Bearbeitung von Beleuchtungs- und Farbgestaltung erfolgt im Komplex zum Beispiel in Zusammenarbeit mit Architekt bzw. Farbgestalter. Der Ablauf der Bearbeitung könnte in etwa so aussehen, wie im Ablaufplan (Beispiel am Ende dieses Beitrages) beschrieben.

2. Sehen von Farbe, Fläche, Raum als Grundlage der komplexen Licht- und Farbgestaltung

Das Sehen von Farben wird bestimmt durch die Parameter **Farbton** (farbtongleiche Wellenlänge, spektrale Reflexion/Transmission/Absorption von Licht), **Intensität** (Sättigung, spektrale Zusammensetzung), **Helligkeit** (Leuchtdichte-eigenschaft - z.B. Graustufung, Hellbezugswert). Voraussetzung für das Sehen aller Farben einer reflektierenden Oberfläche ist, daß im auftreffenden „weißen“ Licht alle Spektralanteile in ausgewogener Intensität (beispielsweise ähnlich dem Tageslichtspektrum D65) enthalten sind.

In der künstlichen Beleuchtung gibt es jedoch keine idealweißen Lichtquellen. In der Praxis haben wir es mit Licht zu tun, dem wesentliche spektrale Anteile fehlen. Der farbige Eindruck wird bei verschiedenen Lichtarten unterschiedlich bewertet. Licht einer Natriumdampf-Hochdrucklampe gibt nur orangegelb farbig wieder, und das auch nur sehr hell/weißlich. Eine Quecksilberdampf-Hochdruckentladung hat keine Rotanteile.

LICHTSTUDIO HALLE

Änderung des farbigen Eindrucks beleuchteter Flächen durch verschiedene Lichtarten - Beispiel Farberlebnis

Sonnenlicht indirekt Juni	Leuchtstofflampe tageslicht (11,86,10,54)	Leuchtstofflampe weiß (21,84,25,20,33)	Leuchtstofflampe warmton (31,83,41,82,30,29)	Glühlampe 100W (A60)
karminrot	kaum verändert	etwas wärmer	lebhafter	mehr zinnober
lachsrosa	kälter	fast natürlich	lebhafter	orangestichig, hell
hellorange/apricot	kälter und grauer	natürlich	leicht rötlich	matter und gelblicher
gelblich/ocker	blasser und grauer	kaum gelber	etwas rötlicher	weicher, wärmer
zitronengelb	etwas grünlicher	fast natürlich	wärmer	blasser
hell-grüngelb	etwas frischer	kaum verändert	stumpfer	blasser, ockerstichig
mittelgrün	unverändert	unverändert	wenig wärmer	etwas gelblicher
zyanblau, hellblau	unverändert	etwas stumpfer	stumpfer	grünblau, gräulich
blauviolett	intensiv	lebhaft	wärmer	stumpfer, grauer
rotviolett	etwas kälter	etwas rötlicher	rosa-stichhaltig	stumpfer, bräunlicher

Phänomene des Sehvorganges, wie beispielsweise der Simultankontrast beeinflussen ebenfalls den Farbeindruck.

Veränderung einer Farbe durch flächengrößeren Hintergrund (Simultankontrast)

Farbe	wird gehoben durch	verändert durch	nach
signalrot	grünblau, blaugrün	gelb blau leuchtröt	purpur zinnober blassrot
mittlerer Holzton	blaugrün, grünblau	grün rot hellgelb	rötlicher grünlich, oliv kälter, dunkler
Silber, Chrom, Stahl	dunkle, warme Farben	gelbocker rot, purpur violettblau	kälter, bläulicher grünlicher goldiger
blaugrau	orange (gelb)	weiß schwarz blau rot/purpur	dunkler heller mausgrauer grünlich/grauer

Der Simultankontrast herrscht auch zwischen Lichtquellen verschiedener Lichtfarben: neutralweiß neben tageslicht erscheint wie bläulich gegen orange, neutralweißes Licht neben warmton erscheint wiederum bläulicher und der warmton orange.

Neben den Farbwirkungen sind natürlich die Helligkeiten (Leuchtdichten) für die Beleuchtungsgestaltung entscheidend. Für ein normales Helligkeitsgefälle im Raum werden häufig Empfehlungen gegeben, welche sich auch in Normen und Vorschriften manifestiert haben.

Häufig empfohlenes normales Helligkeitsgefälle (Reflexionsgrade) im Raum:

Decke: 60-80% / Wände 40-50% / Boden 15-20% / Einrichtung (Möbel, Türen) durchschnittlich um 20%

LICHTSTUDIO HALLE

Verändertes Helligkeitsgefälle im Raum erzeugt veränderte Raumeindrücke:

- dunkle Decke - drückt, macht niedrig („Höhleneffekt“)
- dunkle Stirnwand - rückt näher, (helle Stirnwand rückt weiter)
- helle Decke gegen dunklere Wand - erhöht
- heller Boden gegen dunklere Wand - öffnet nach unten

Bei der Auswahl der Farbtöne und Abmischungen für Arbeitsstätten in Bezug zum Licht werden bestimmte auf Empfinden und Erfahrungen aufbauenden Beziehungen angewendet:

- Syntaktischer Bezug (Mittelbezug, zugrundeliegendes System der Ordnung der Mittel und Farben und ihre Relation zu anderen z.B. in Umgebung)
- Semantischer Bezug (Objektbezug, Deutung - symbolische bzw. assoziative Bedeutung)
- pragmatischer Bezug (Interpretation aus Erfahrung, Zweckrealisation, Anmutungscharakter)

„Anmutungsfarben“ für verschiedene Arbeitsstätten - gewisse vorgeprägte und durch Assoziation/Erwartungen begründete Vorstellungen von Versuchspersonen (diese Farben können nicht willkürlich im Raum verteilt werden, da auch Raumgesetze/ergonomische Aspekte eine Rolle spielen, aber sie stellen die Farbstimmung dar, die „man“ vorherrschend erwartet - nach Untersuchungen im Institut f. Farbenpsychologie, Marquartstein, Licht=übliche Beleuchtungsempfehlung)

Arbeitsstätte	führende Farben	Nebenfalten	Aussage	(Licht)
Großbüro, Gruppenbüro	braun, oliv, hellgrau, weiß	(Akzente) weinsteinrot	gemütlich perfekt	(nw, ww)
Großküche	elfenbein, weiß	kaltblau	hygienisch	(nw)
Reifenherstellung	grüntöne (kühl)	beige	Sicherheit	(nw)
Druckerei	graublau, weiß	gelb, dunkelblau	sachlich	(nw,ww)
Gießerei	eisblau	rotorange	kalt gegen warm	(nw)
Feinmechanik	graublau oder mattgrün	beigegelb	ruhig	(nw, ww)
Lebensmittel	grün/weiß, blau/weiß	orange/orangegelb	vital, sauber	(ww,nw)

Beispiel Ablaufplan komplexe Licht- und Farbgestaltung:



Dieser Beitrag soll das Interesse am Thema Licht und Farbe wecken und auf einige Probleme der interdisziplinären Zusammenarbeit hinweisen.

Einige Literaturhinweise zum Thema:

- Gericke, Richter, Schöne / Farbgestaltung in der Arbeitsumwelt, Berlin, 1981
- Frieling / Bau Raum Farbe, München, 1974
- Zeugner / Farbenlehre für Maler, Berlin 1963

Diskussion zur Bedeutung von Semantiken in der Lichtenanwendung

Ulf Greiner Mai

Bis Anfang der 70er Jahre wurde die Güte von Beleuchtungsanlagen im Rahmen der deutschen Normung (DIN) durch die Beleuchtungsstärke und die Funktionalität der elektrischen Einheiten beschrieben. Dann wurden als weitere Gütemerkmale einer 'Guten Beleuchtung' die Lichtfarbe, die Farbwiedergabe und der Grad der Blendungsbegrenzung für die lichttechnische Anwendung definiert. Seit dieser Zeit hat sich die Lichtenanwendung in der Praxis zu einem interdisziplinären Fachgebiet entwickelt, welches über die eigentliche Lichttechnik im Sinne von Licht und Technik hinausgewachsen ist. Parallel dazu entwickelte sich eigendynamisch ein Konglomerat aus technischen, künstlerischen und medizinischen Semantiken, mit denen versucht wird, Licht in den unterschiedlichsten Anwendungen, Erscheinungen und Wirkungen in Worte zu fassen oder durch Wortgebilde erlebbar zu beschreiben.

Übersicht zu einigen Begriffen und Größen der Lichtenanwendung

direkte Meßgrößen = ablesbar	Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte, Lichtverteilungen, Licht- und Farbspektren, Glanz
indirekte Meßgrößen = erchenbar, ablesbar	Kontrast, Kontrastwiedergabe, Schattigkeit, Lichtfarbe, Referenzgrößen, Farbwiedergabe, Stoffkenngrößen
Erfassungsgrößen	Lichtstimmungen, Akzeptanzen, Lichtwirkungen, Motivationen, Befindlichkeiten
Beschreibungen	Lichtdruck, Zwischenlicht, Lichtnebel, Lichtflut, Bestrahlungslicht, Dauerlicht

Diese umgangssprachlichen Beschreibungen für Parameter der Lichttechnik und Lichtenanwendung sind oftmals uneinheitlich und mehrdeutig und dadurch vielerorts mißverständlich. Die Kreativität und Exotik der Wortschöpfungen erscheinen dabei oft mehr als 'Flucht' denn als 'Weg'. Für den Anwender ergibt sich nicht zuletzt daraus eine durchaus ernstzunehmende Unzufriedenheit mit dem (Erfassungs-) Stand der angewandten Lichttechnik und deren Vermittelbarkeit.

Das Erfassen und Vermitteln von Befindlichkeiten und Stimmungen sind oft gewünschte Ziele in der Planung von Räumen im Innen- und Außenbereich, die als Lebensräume für Menschen gestaltet werden sollen. Gestaltungsziele, die oft nur durch gutes Licht erreicht werden können, lassen sich derzeit weder semantisch noch numerisch verständlich und angemessen auszudrücken oder vermitteln. Oft wird dann bei Beschreibungen von Lichträumen und Beleuchtungsanlagen versucht, auf bildliche Semantiken aus Natur und Gestaltungslehre zurückzugreifen, um möglichst für jedermann verständlich zu sein. Das führt zwangsläufig zu einem Widerspruch zwischen notwendiger wissenschaftlicher Exaktheit, interdisziplinärem und praktischem Verständnis.

Eine spezifische Unzufriedenheit mit einigen lichttechnischen Bewertungssystemen läßt sich auch dahingehend beobachten, die diese Bewertungen in vielen praktischen Anwendungen ignoriert werden (u.a. Lichtverteilungen, Grenzleuchtdichten, Blendungsbegrenzungen, Lichtfarben). Den heutigen, oft pragmatisch handelnden Anwender interessieren schon einfache lichttechnische Güten wie Helligkeiten und Leuchtdichten nur untergeordnet. Vorrangig sind bei der anstehenden Leuchtauswahl vielmehr Kriterien der gewünschten künftigen emotionalen Licht- und Raumwirkungen, Attraktivität, Behaglichkeit oder der Bedienkomfort.

Diese Nichtanwendung lichttechnischer Normative und Begriffe verschärft sich insbesondere dann, wenn zum künstlichen (Arbeits- oder Wohn-) Licht noch andere Kunstlichteffekte (gedacht sei an dekorierende Elemente, Spiegel, sichtbares Leuchtmittel u.a.m.) hinzukommen. Sind dann auch noch natürliche Lichteinflüsse wie Tageslicht, direkter Sonnenschein, blauer Himmel oder Sonnen-Schatten-Spiele zugegen, ist diese Komplexität des "täglichen Lichtes" nur noch durch individuelle Begriffswelten zu erfassen. Eine quantitative Erfassung von Kriterien ist hier nicht mehr möglich. Die Einflüsse, die Wohlbefinden, Motivation und Arbeitsfähigkeit beeinflussen, verschwimmen. Durch einfache Änderung der (Nenn-)Beleuchtungsstärke allein kann hier längst kein zufriedenstellender Ausgleich mehr geschaffen werden. Aber was will man eigentlich ändern, ausgleichen oder verbessern? Wie entkommt man dem Lichtdruck? Warum ermüdet das Licht?

Diese tägliche Misere konventioneller und numerischer Bewertungsverfahren läßt sich deutlich auch am Verständnis von Parametern wie Lichtfarbe, Farbwiedergabe, Zwielicht, Blendung u.a. erkennen. Untersuchungen zeigen, daß schon das Verständnis und die Deutung der Fachbegriffe intraindividuell so differieren, daß kaum allgemeingültige Tendenzen abzuleiten sind. Es liegen dahingehend beispielsweise Ergebnisse vor die zeigen, daß bei einer als subjektiv 'ungünstig' eingeschätzten Beleuchtung durchaus aber ein hoher Grad der Zufriedenheit mit dem Umfeld gewertet wurde. Weiterhin zeigen positive Ergebnisse aus

Leistungstests auf, daß bisher als 'ungünstig' eingestufte Gütekriterien durchaus leistungsförderlich sein können und gleichzeitig 'wohlbefindlich' akzeptiert werden. Auch ist beispielsweise durchaus nicht für jede Anwendung eine optimale Farbwiedergabe erwünscht, man ist hier oft mit weniger "mehr zufrieden", wenn durch Licht Atmosphären erzeugt werden sollen. Bei sichtbar hohen Leuchtdichten haben offene oder gestaltete Lichtquellen, die lichttechnisch als Blendquellen beschrieben werden, in der Praxis inzwischen einen beachtenswerten Grad der Akzeptanz und sind verbreitet.

Während man bei Meßgrößen rein numerisch zu Richtwerten oder Normativen kommt, bleiben Fragen und Erhebungen nach Akzeptanzen und Lichtwirkungen meist mit großen Toleranzen uneindeutig. Dabei ist es besonders schwierig, Langzeitwirkungen auf reine Lichtursächlichkeit zurückzuführen. In den meisten Fällen werden dabei Befindlichkeiten, Motivationen und Leistungsvermögen durch andere (Umwelt-) Einflüsse dominierend überlagert, so daß kaum eine reine Lichtwirkung ausgefiltert werden kann.

Außer allgemeinen Umfeldparametern wie Lärm, Temperatur spielen die individuelle Tagesform und der persönliche Wissens- und Erfahrungsschatz eine wesentliche Rolle. Insbesondere diese Elemente unterliegen ihrerseits wieder mehrseitigen Wechselwirkungen. Bei besonderen, individuellen Konfigurationen kann es hierbei zu extremen Befindlichkeiten kommen. Dann überlagern bzw. kompensieren subjektiv vorgeprägte Meinungen und Erfahrungen die rein emotionalen Wertungen.

Kommt es bei Bewertungen zu einem bewußten Denken an die Lichtsituation, sind objektive Ergebnisse kaum zu erwarten, da dann einfach in 'Klischees' gewertet wird. Dies kann sich sowohl positiv als auch negativ im Sinne der Wertung äußern. Letztlich prägen jedoch diese Werteparameter die Mittelwerte bei Probandengruppen erheblich, sind aber leider nicht in jedem Fall zu erkennen und auszufiltern. Beispielsweise zeigen Probandengruppen mit lichttechnischer Vorbildung deutlich erhöhte Sensibilitäten bei direkter Befragungen zu Lichtwirkungen als der Bevölkerungsdurchschnitt. Ist dies nur im erlernten Begriffswissen begründet oder wird hier nicht auch unbewußt wiedergegeben, was nach einer vorgefaßten Meinung so sein müßte? Inwieweit ist unbewußtes oder gezieltes Manipulieren bei Befragungen durch geeignete Erfassungen auszuschließen?

Erfassungen, insbesondere in Form von Befragungen, werden dann angewendet, wenn subjektive Eindrücke und individuelle Empfindungs- und Meinungsparameter gesammelt werden sollen. Diese Wertungen, über eine hinreichend große Gruppe gemittelt, können dann den Aussagen eine gewisse Repräsentanz und Allgemeingültigkeit verleihen. Befragungen, meist in Form von Fragebögen ausgeführt, sind methodisch unterschiedlich auszubilden und durchzuführen. Die Art der Fragestellungen, die Wortwahl und Begriffswichtung entscheiden hierbei bereits im Vorfeld darüber, inwieweit Antworten und Befindlichkeiten wertneutral abgefragt werden sollen oder ob nicht durch Suggestivwirkung der Begriffe lediglich Bestätigungen gewollter Antworten gesucht werden, was letztlich als Ergebnismanipulation gewertet werden muß.

Entscheidungsfragen (ja/nein) sind dahingehend auswertefreundlich, suggerieren jedoch oft das Befragungsziel und sind dahingehend meist undifferenziert. **Antwortvarianten** (a,b,c..) sind dann differenzierender, lassen aber dem Befragten gleichsam kaum die Alternative.

Werteskalen bieten sich in der Art als Alternativen zu bisherigen Befragungsmethodiken an, sofern durch geeignete Wortwahl folgende Kriterien einzeln bzw. im Testverbund erfüllt werden:

- Wahrung der Testanonymität Einschränkung der Manipulierbarkeit durch Mehrfachhinterfragung einer Zielstellung oder Zustandes
- Einfaches Handling und mögliche Selbsterklärung des Testes
- Darstellbarkeit von temporären Befindlichkeitsverläufen (Prä-Post-Vergleiche)
- Darstellbarkeit von Wertungsverläufen

Werteskalen, als bipolar oder unipolar aufgelegt, erweisen sich als günstig, um dem Probanden individuelle Entscheidungsfreiheiten zwischen den Wertungspolen zu lassen (Darstellung als BIPOLARKETTE).

Bsp.: Wie empfinden Sie das Licht an Ihrem Arbeitsplatz?
angenehm OOOOOOOOOOOOOOOOOOO unangenehm

Die Darbietung der Skale kann grafisch als freie Linie, besser jedoch mit vorgegebenen Wertungsabschnitten erfolgen. Bei bipolaren Skalen, die zwei gegensätzliche Beschreibungen oder Wertungen darstellen, kann auf einer Skale der individuelle Grad der Zugehörigkeit/Zustimmung zu einem Pol dargestellt werden.

Auf Grundlage eines Basiserfassungsbogens, des LuM-Fragebogen, wurden im Fachbereich Lichttechnik an der TU Ilmenau mehrere einzelne spezielle Situationsfragebögen entwickelt und systematisch getestet.

Situationsbewertungen für die Lichtenwendung als Strategie für Fragebögen

sugerierte...		LuM - Fragebogen 'Licht und Mensch' erfaßbare...		merkbare...
direkt : allgemeine Lichtwirkung	indirekte allgemeine Lichtwirkung	lichttechnische Wirkungen		psychologische und psycho-physiologische Lichtwirkungen
Empfinden, Gefallen, Motivation, Bewertungen der Umwelt...		Kontrast, Schattigkeit, Farben, Blendung, Helligkeiten...		Ermüdung, Anstrengung, Ruhe, Aufmerksamkeit, Behaglichkeit...

Im Zusammenhang mit der Untersuchung von blendungsrelevanten Parametern moderner Leuchten wurde auch die Werteskala in Form der BIPOLARKETTE angewendet. Ein differenziertes Herangehen war hier insbesondere bei der Auswertung von Befragungen des Parameter BLENDUNG notwendig wenn man bedenkt, welche mannigfaltigen Einflüsse in jedem Raum erlebbar sind. Beispielsweise erzeugten eingerichtete Räume andere Blendeindrücke als unmöblierte. Auch hatte das offensichtliche Vorhandensein einer Grünpflanze im Raum bereits ebenso Einfluß auf eigentlich lichttechnische Befindlichkeiten wie die 'Anwesenheit' einer Schaufensterpuppe am Tisch gegenüber.

Zeitliche, ökonomische und gesellschaftliche Wandlungen widerspiegeln sich unmittelbar auch in der Lichtenwendung und provozierten die Lichttechnik zu immer neuen Innovationen. Die Entwicklungen verliefen beispielsweise im Bürobereich über Großraumbüros, Zellenbüros, klimatisierte Büros, Bildschirmarbeitsläden bis hin zum individuell gestalteten Einzelplatz...

Doch kann man moderne lichttechnische Anwendungen wie Direkt-Indirekt-Systeme, Einzelplatzleuchten oder Tageslichtsysteme mit Werkzeugen erfassen, die einst zur Bewertung von Leuchtstofflampen in Großraumbüro oder Tiefstrahlern in Werkhallen normiert wurden? Sind diese moderne Lichtqualitäten wirklich noch mit demselben Vokabular treffend zu beschreiben, wie einst? Was ist heute verständlicher zu beschreiben?

Dahingehend waren wir auch bemüht, Ansätze zu einem erlebbaren Vokabular zu finden, um beispielsweise die sogenannten Blendungserscheinungen treffend zu beschreiben. Auf dem Weg dahin wurden Begriffe und Beschreibungen gewichtet, es entstand u.a. der Blendungsfragebogen. Dabei zeigten sich im Ergebnis der Faktorenanalyse folgende Gruppenbildungen, wobei nach den jeweiligen Items im Zusammenhang mit Blendung oder blendungsähnlichen Erscheinungen gefragt wurde.

Zur Beschreibung der BLENDUNG sind folgende Items / Semantiken...

...sehr signifikant	blendet mich, blendet durch Leuchten, ist zu grell, lenkt ab, stört mich, fördert Aufmerksamkeit, Unwohlsein, belästigt mich, strengt mich an, wirkt natürlich, beruhigt mich.
....signifikant	zwingt zum Blinzeln, erhöht Leistungsbereitschaft, ermüdet mich
...nicht signifikant	zu helle Arbeitsfläche, ist zu hell, Unkonzentriertheit, wirkt aufdringlich, vermittelt Behaglichkeit

Mittels der Werteskala (BIPOLARKETTEN) wurden in einem weiteren Feldversuch an über 90 Probanden Fragen mit gleichen Begriffen zu unterschiedlichen Bezügen, nämlich Gesamtraum und Einzelplatzleuchte gestellt. Es ergaben sich dabei unterschiedliche Korrelationen, die deutliche Rückschlüsse auf das Vorhandensein dritter Einflüsse oder uneindeutiger Wortwahl anstrengen.

Korrelationen mit der 'ZUFRIEDENHEIT MIT DER BELEUCHTUNG

...IM RAUM	Ermüdung, Lichtfarbe, Helligkeit,
...DER EINZELPLATZLEUCHE	Gestaltung der EPL, Helligkeit, Lichtfarbe, Größe der ausgeleuchteten Fläche, Blendung

Aus der Vielzahl der Problematiken läßt sich erkennen, daß auch bei vergleichbaren Versuchsbedingungen aufgrund unterschiedlicher Testmethodiken und Befragungen vergleichbare Ergebnisse kaum möglich sind. Dies liegt häufig schon in der unterschiedlichen Wortwahl und Semantik begründet. Die Mehrzahl der Semantiken sind seit längeren Zeiten unverändert. Doch die Sprache, und eben auch Sachwörter und Wertbegriffe sind nicht unwesentlich einem Zeitgeist unterlegen. Daraus ergeben sich dann zwangsläufig Widersprüche. Deshalb ist jedes Bemühen zu unterstützen, eine moderne Semantik auch in der Lichtenwendung anzuregen.

ZUSAMMENFASSUNG

An Stellen, wo in LUX-Planungen oder Meßwertdiskussionen verharrt wird, zeigen sich insbesondere bei Lichtenwendern konkrete Defizite und Akzeptanzverluste. Befindlichkeiten, Lichtwirkungen und Motivationen lassen sich kaum glaubhaft in ein Meßwertkorsett schnüren. Es kann sicherlich nicht Ziel und Zweck sein, eine 'zeitlose' Begriffswelt aufzubauen. Das für praxisnahe Anwendung erforderliche Vokabular sollte jedoch systematisch hinterfragt und auf Verständlichkeit getestet werden. Damit kann auch verhindert werden, das unaktuelle Bewertungssysteme definiert werden, nach denen letztlich Lebensräume entworfen und gebaut werden, die ungewollte Wirkungen auf menschliche Befindlichkeiten haben.

Ilmenau/Weimar/Carwitz im August 1995

AUTOR: Ulf Greiner Mai (DI), Freier Ingenieur, Planungsgruppe MLP Weimar/Carwitz

Einfluß der Wandleuchtdichte auf die Blendung

Torsten Vercek

1. Aufgabenstellung

In den lichttechnischen Gremien wird zur Zeit die Einführung eines einheitlichen Systems zur Bewertung der Blendung in Innenräumen diskutiert /1/. Dieses sogenannte UGR-Verfahren ermöglicht eine Bewertung der Blendung einer komplexen, aus unterschiedlichen Leuchten aufgebauten Beleuchtungsanlage. Ein wesentlicher Einflußfaktor bei diesem Verfahren ist die adaptionsbestimmende Umfeldleuchtdichte. Für diese Umfeldleuchtdichte läßt sich zum einen die mittlere Leuchtdichte des gesehenen Halbraumes oder aber die mittlere Leuchtdichte der angeblickten Wand einsetzen. In dieser Arbeit wird untersucht, inwieweit die Berechnung des UGR-Wertes durch diese beiden Methoden beeinflußt wird.

2. Die Bewertung der Blendung durch die UGR-Formel

$$\text{UGR} = 8 \cdot \log \left(\frac{0,25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{P^2} \right) \quad (1)$$

Darin bedeuten:

- L_b die adaptionsbestimmende Umfeldleuchtdichte
- L die mittlere Leuchtdichte der Leuchte in Richtung des Beobachters
- ω der Raumwinkel, unter dem eine Leuchte vom Beobachter gesehen wird
- P der Postionsfaktor, abhängig vom Höhen- und Seitenwinkel

Zur Bestimmung von L_b werden zwei Methoden angewendet:

Methode 1:

Bei dieser Methode wird angenommen, daß die Umfeldleuchtdichte der mittleren Leuchtdichte des gesehenen Halbraumes entspricht. Die Bestimmung erfolgt über die am Auge des Beobachters vorhandene indirekte Beleuchtungsstärke:

$$L_b = E_{\text{ind}}/\pi$$

Methode 2:

Hier wird die Umfeldleuchtdichte mit der mittleren Leuchtdichte der angeblickten Wand gleichgesetzt:

$$L_b = L_{\text{wand}}$$

Da in realen Räumen mit unterschiedlichen Wandleuchtdichten gerechnet werden muß, ist von vornherein nicht klar, wie sich die oben genannten Methoden auf die UGR-Werte auswirken.

3. Die Untersuchung der Unterschiede bei der Berechnung des UGR-Wertes

Der angestrebte Vergleich der nach beiden Methoden berechneten UGR-Werte wurde mit denjenigen Räumen durchgeführt, für die im Rahmen einer Felduntersuchung /2/ die subjektive Blendbewirkung gemessen wurde. Von einer trainierten Gruppe von Versuchspersonen wurden Räume mit unterschiedlichen Beleuchtungssystemen bewertet. Untersucht wurden zum einen Arbeitsräume im Lichttechnischen Institut (LTI) und im Neubau der Badenia Bausparkasse (BAD) in Karlsruhe aber auch Arbeitsräume mit repräsentativerem Charakter in der Zentrale des Deutschen Reisebüros (DER) in Frankfurt, sowie vorwiegend repräsentative Räume im Bundesgästehaus Petersberg (PET) in Königswinter.

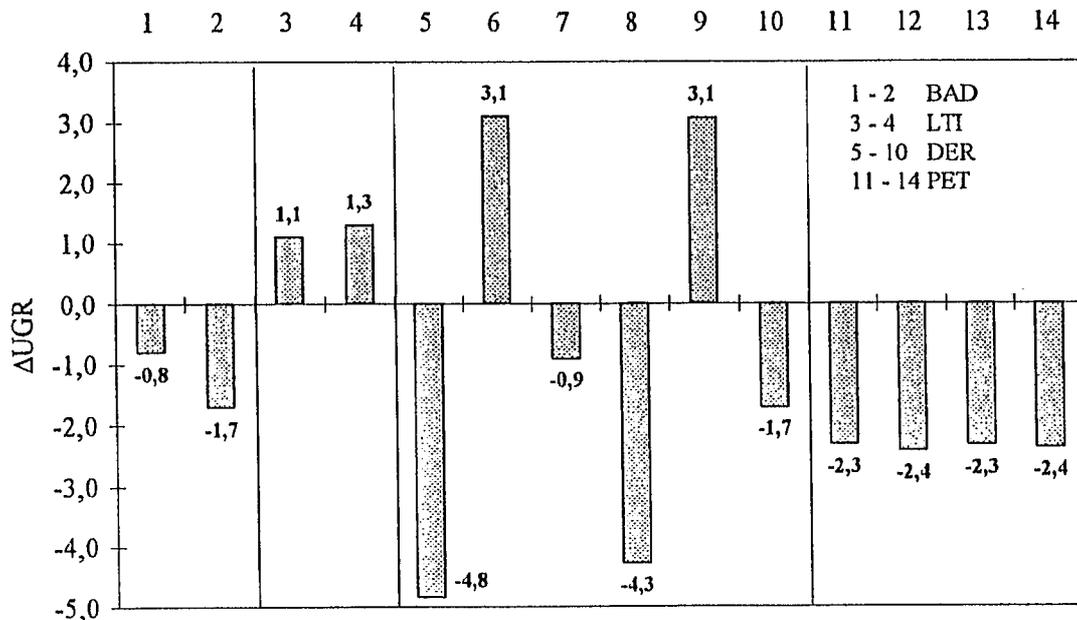


Bild 1:

Differenz der UGR-Werte $\Delta UGR = UGR(E_{ind}/\pi) - UGR(L_{wand})$ berechnet nach Methode 1 ($L_b = E_{ind}/\pi$) und Methode 2 ($L_b = L_{wand}$) für 14 verschiedene Räume und Situationen. In den einzelnen Räumen wurde Berechnungen sowohl für unterschiedliche Beleuchtungsvarianten als auch für mehrere Beobachterpositionen durchgeführt. Alle Berechnungsvarianten wurden im Feldexperiment nachvollzogen.

Bild 1 zeigt, daß erhebliche Differenzen bei der Bestimmung des UGR-Wertes nach Methode 1 und 2 auftreten können. Sie können hierbei sowohl positiv als auch negativ werden. Im Mittel der hier dargestellten 14 Anlagen beträgt die Abweichung etwa 2,3 UGR-Einheiten. Es liegt nahe, die Differenzen mit den Reflektionsgraden ρ der Wände in

Blickrichtung in Verbindung zu bringen. Die Korrelation zwischen dem ΔUGR und ρ ist aber nur mäßig, sie liegt bei rund 77%. Es hat sich gezeigt, daß die Unterschiede nicht nur von den Reflektionsgraden der Wände abhängig ist, sondern daß auch die Gestaltung des Raumes einen wesentlichen Einfluß nimmt.

4. Ein Vergleich der Berechnung und der subjektiven Bewertung

Weiter stellt sich die Frage, ob eine der beiden Methoden besser mit der visuellen Blendung korreliert. Zu diesem Zweck wurde in Bild 2 die Differenz zwischen den nach beiden Methoden berechneten UGR-Werte und den subjektiven Blendwerten für jede der 14 Situationen aufgetragen.

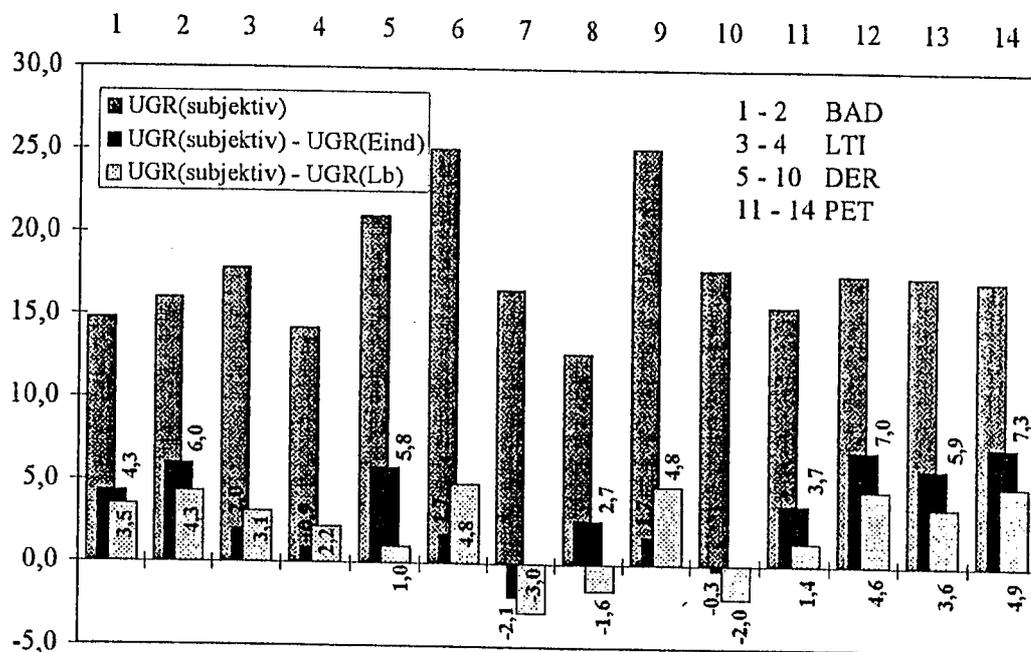


Bild 2:

Vergleich der Differenzen der nach beiden Methoden berechneten UGR-Werte, die zwischen -3,0 und +7,3 liegen. Außerdem wurden auch die Absolutwerte der subjektiven Blendbewertung eingetragen.

Es zeigt sich hierbei keine klare Überlegenheit von einer der beiden Methoden. Dies bedeutet, daß der Blendeindruck noch von Faktoren abhängig ist, die nicht von der UGR-Formel erfaßt werden. Andererseits läßt sich feststellen, daß für Reflektionsgrade von Wänden in Blickrichtung von unter 45% die Verwendung der Wandleuchtdichte als adaptionsbestimmende Umfeldleuchtdichte zu besseren Ergebnissen führt.

Literatur

- /1/ Fischer, D., Blendung, Licht 1/1990, S. 50 - 56
- /2/ Vereck, T. Modellierung und Bewertung von Blendung in Innenräumen, Diplomarbeit LTI

Betrachtungen zu Güte Merkmalen der Einzelplatzbeleuchtung

Vandahl, C. (Ilmenau)

Einleitung

In den letzten 2 Jahren fanden im Fachgebiet Lichttechnik der TU Ilmenau umfangreiche Untersuchungen zu den Güte Merkmalen der Einzelplatzbeleuchtung statt. Im Folgenden sollen die Untersuchung und eine Auswahl der Ergebnisse vorgestellt werden.

Ziel der Untersuchungen

In der Innenbeleuchtung kam bisher die Allgemeinbeleuchtung zur Anwendung. Zu dieser Thematik gibt es eine Vielzahl umfangreicher Untersuchungen.

Mit dieser Untersuchung sollten die Bedingungen ermittelt werden, die notwendig sind, um eine gute Sehleistung und einen hohen Sehkomfort unter Gewährleistung einer hohen Arbeitssicherheit bei Anwendung einer Einzelplatzbeleuchtung zu garantieren. Dazu wurden im Labor Grundsatzuntersuchungen und in einer Feldstudie die Überprüfung der Ergebnisse durchgeführt.

Unsere Untersuchungen bezogen sich ausschließlich auf die kombinierte Beleuchtung. Diese besteht immer aus einer Allgemeinbeleuchtung und einer Einzelplatzbeleuchtung.

Im Laufe der Untersuchungen wurden folgende Güte Merkmale im einzelnen untersucht:

- Nennbeleuchtungsstärke
- Beleuchtungsstärkeverhältnis zwischen Allgemeinbeleuchtung und Einzelplatzbeleuchtung
- minimal zulässige Größe der beleuchteten Fläche
- zulässige Ungleichmäßigkeiten innerhalb der Hauptarbeitsflächen
- förderliches Leuchtdichteverhältnis zwischen Haupt- und Nebenarbeitsfläche
- Blendwirkung der Einzelplatzleuchte in Kombination mit der Blendwirkung der Allgemeinbeleuchtung.
- Zwielflicht (Kombination verschiedener Lichtfarben im Raum)
- Aufstellort der Leuchte

Es ist leicht vorstellbar, daß sich diese Güte Merkmale nicht voneinander losgelöst betrachten lassen. Bei jeder Einzeluntersuchung wirken die anderen Güte Merkmale als Parameter, die mit einbezogen werden müssen.

Die Einzelplatzbeleuchtung ermöglicht mehr Individualität bei der Beleuchtung eines Arbeitsplatzes, wobei der Nutzer die Beleuchtung nach seinen Wünschen einstellen kann. Ziel

Dipl.-Ing. C. Vandahl
Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau, Fachgebiet Lichttechnik
PF 0565
D-98684 Ilmenau
Telefon (03677) 202935, Fax (03677) 842463

dieser Untersuchung war es deshalb nicht, Mittelwerte für die ermittelten Gütemerkmale, sondern Wertebereiche anzugeben.

Durchführung der Untersuchungen

Die Laboruntersuchungen fanden in einem speziell hergerichteten Raum statt, in dem die zu untersuchenden Parameter veränderbar waren.

Die Laborversuche erfolgten mit 40 Versuchspersonen. Der Proband konnte verschiedene Einstellungen am Arbeitsplatz selbst vornehmen. Es fanden weiterhin umfangreiche Leistungstests und Befragungen statt. Ziel war es dabei immer, die individuellen Wünsche der Versuchsperson bzw. dessen Leistungsfähigkeit bei der jeweiligen Lichtsituation zu erfassen.

Zur Überprüfung der Ergebnisse wurden Feldversuchen an 100 Büroarbeitsplätze durchgeführt.

Ergebnisse

Die angegebenen Ergebnisse resultieren aus den Labor- und den Feldversuchen, wobei die Feldversuche die Ergebnisse der Laboruntersuchungen weitestgehend bestätigten.

Nennbeleuchtungsstärke

Eine minimale Allgemeinbeleuchtungsstärke von 250 lx sollte eingehalten werden, damit der Raum aufgehellert ist und als Ganzes erfaßt werden kann.

Es hat sich gezeigt, daß die geforderten Allgemeinbeleuchtungsstärken der DIN 5035, Teil 2 nicht erreicht werden müssen. Einen erheblichen Beitrag zur Gesamtbeleuchtungsstärke sollte die Einzelplatzleuchte bringen. Es wird als angenehm empfunden, wenn sich die Einzelplatzbeleuchtung deutlich vom restlichen Raum abhebt.

Als günstige Werte für die Einzelplatzbeleuchtungsstärke wurden 500 bis 750 lx festgestellt. Diese Werte wurden unabhängig von der vorhandenen Allgemeinbeleuchtungsstärke gefordert. Dadurch ergibt sich eine Gesamtbeleuchtungsstärke, die zu einer von der Allgemeinbeleuchtung abhängt und zum anderen deutlich über den Werten der Normung liegen kann.

Tests zeigten, daß es für die kurzzeitige Leistungserbringung unerheblich ist, ob das Beleuchtungsniveau auf der Arbeitsfläche nur durch die Allgemeinbeleuchtung oder zum Teil durch die Einzelplatzleuchte erzeugt wird. Eine Beleuchtung nur durch Einzelplatzleuchten erwies sich als ungünstig.

Beleuchtungsstärkeverhältnis zwischen Allgemeinbeleuchtung und Einzelplatzbeleuchtung

Da die gewünschten Einzelplatzbeleuchtungsstärken bei verschiedener Allgemeinbeleuchtung etwa die gleichen sind, ergeben sich Beleuchtungsstärkeverhältnisse im Bereich von 2 : 1 bis 1 : 3.

Minimal zulässige Größe der beleuchteten Fläche

Größen von 60 cm x 60 cm oder mehr erwiesen sich als günstig, kleinere Flächen wurden abgelehnt.

Mindestgleichmäßigkeiten innerhalb der Hauptarbeitsfläche

Die Untersuchungen zu Gleichmäßigkeiten bzw. Ungleichmäßigkeiten bezogen sich auf den Wert $g_2 = E_{\min} / E_{\max}$. Es wurden sowohl Gleichmäßigkeiten der Einzelplatzbeleuchtung als auch der Gesamtbeleuchtung untersucht.

Für die Einzelplatzbeleuchtung wurden Werte unter 0,3 werden als störend empfunden. Deshalb sollte dieser Wert auf keine Fall unterschritten werden. Als optimal wurde eine Gleichmäßigkeit von 0,6 eingeschätzt.

Blendung

Für die Begrenzung der Blendung ist es wichtig, daß die Lampe für den Nutzer nicht sichtbar ist. Die Einstellbarkeit der Leuchte in eine solche Position muß gewährleistet sein.

Zwielicht (Kombination verschiedener Lichtfarben im Raum)

Die Lichtfarben im Raum sollten sich nicht zu sehr voneinander unterscheiden. Große Farbtemperaturunterschiede sollten vermieden werden. Am günstigsten erscheinen neutralweiße Lichtfarben für Allgemeinbeleuchtung und Einzelplatzbeleuchtung.

In der folgenden Tabelle sind die ermittelten Wertebereiche für die untersuchten Parameter noch einmal in übersichtlicher Form angegeben.

Parameter	Untersuchungsergebnis
Gesamtbeleuchtungsstärke $E_{\text{Ges}} = E_{\text{Allg}} + E_{\text{EPL}}$	für Leistungserbringung (Kurzzeitleistungstest) gleiche E_{Ges} wie bei reiner Allgemeinbeleuchtung für Annehmlichkeit minimal 750 lx
Einzelplatzbeleuchtungsstärke E_{EPL}	500 bis 750 lx unabhängig von E_{Allg}
Allgemeinbeleuchtungsstärke E_{Allg}	minimal 250 lx
Beleuchtungsstärkeverhältnis Allgemeinbeleuchtung zu Einzelplatzbeleuchtung $E_{\text{Allg}} : E_{\text{EPL}}$	2 : 1 bis 1 : 3 unabhängig vom Reflexionsgrad der Arbeitsfläche
Gleichmäßigkeit der Einzelplatzbeleuchtung $g_{2 \text{ EPL}} = E_{\text{EPL min}} : E_{\text{EPL max}}$	minimal 0,3 optimal 0,6
Gleichmäßigkeit der Gesamtbeleuchtung $g_{2 \text{ Ges}} = E_{\text{Ges min}} : E_{\text{Ges max}}$	bei Verwendung einer Allgemeinbeleuchtung im Verhältnis 1 : 1 zur Einzelplatzbeleuchtung: $g_2 = 0,65$
Größe der beleuchteten Fläche	minimal 60 x 60 cm ²
Blendungsbegrenzung	Lampe darf nicht einsehbar sein
Lichtfarben	möglichst gleiche Lichtfarben, Kombination warmweiß-tageslichtweiß vermeiden, Einzelplatzleuchte warmweiß oder neutralweiß

UGR-Blendungsbewertung - Übereinstimmung zwischen Berechnung und Beurteilung

Müller, Thomas
Hesse, Jörg
Stolzenberg, Klaus

1. Einleitung

Tiefstrahlende Reflektorleuchten (Downlights, BAP-Rasterleuchten) sind für kleine Beobachtungswinkel zur Horizontalen (0° - 40°) sehr gut entblendet. Ihre Lichtstärkeverteilung weist daher einen hohen Gradienten auf, der sich für den bewegenden Beobachter in einer plötzlichen starken Änderung des Blendeindrucks (Aufblitzen) bemerkbar macht. Dieser Effekt der dynamischen Blendung wurde im Rahmen einer Diplomarbeit (J. Hesse) dem relativ konstanten Blendeindruck breitstrahlender Leuchten mit streuenden Abschlußgläsern gegenübergestellt. In 1:1-Modellräumen wurden eine Büroarbeitsplatzsituation mit sitzender Tätigkeit und eine Flursituation simuliert. Für diese Veröffentlichung wurden die unter statischen Beobachtungsbedingungen erlebten Blendurteile von Versuchspersonen statistisch ausgewertet und mit den mit dem UGR- und DIN 5035-Blendungsbewertungsverfahren berechneten Blendwerten verglichen.

2. Versuchsdesign

2.1 Raumdaten

Büro:	Länge: 4,06m	Breite: 3,68m	Höhe: 2,68m
Flur:	Länge: 8,17m	Breite: 1,8m	Höhe: 2,68m

Reflexionsgradkombination: 0,85 / 0,51 / 0,2

Das Büro war möbliert. Beide Räume waren mit Bildern ausgestattet, die unter anderem den Versuchspersonen als Orientierung dienten, die vorgeschriebene horizontale Blickrichtung einzuhalten.

2.2 Leuchtentypen und Deckenspiegel

Die Anordnung der Beleuchtungsanlagen ist in Bild 1 dargestellt, wobei den Kürzeln folgende Leuchtentypen entsprechen:

Büro:	BDS	Spiegelreflektor-Downlight	(2*TC-D 26W)
	BDG	Floatglas-Downlight	(2*TC-D 26W)
	BLS	Spiegelraster-Langfeldleuchte	(1*T26 58W)

Dipl.-Ing. Thomas Müller
cand.-Ing. Jörg Hesse
Prof. Dr.-Ing. Klaus Stolzenberg

Technische Universität Berlin
Institut für Lichttechnik
Einsteinufer 19
10587 Berlin

	BLG	Floatglas-Langfeldleuchte	(1*T26 58W)
Flur:	FDS	Radialspiegelraster-Downlight	(2*TC-D 26W)
	FDG	Floatglas-Downlight	(2*TC-D 26W)
	FLS	Spiegelraster-Langfeldleuchte	(2*T26 36W)
	FLG	Floatglas-Langfeldleuchte	(2*T26 36W)

Bei der Beurteilung der Beleuchtungsanlagen war jeweils nur eine Leuchtenart eingeschaltet.

2.3 Beobachtungspositionen

Die Beobachtungspositionen und -richtungen sind in Bild 1 durch Pfeile mit entsprechenden Kürzel für die jeweilige Beleuchtungsanlage angedeutet. POS.A kennzeichnet die nahe einer Wand gelegenen Beobachtungspositionen, die für den Korrelationsvergleich (siehe Tab. 1 u. 2) herangezogen wurden; POS.B gibt die Lage der weiteren Beobachterstandorte an. In der Bürraumsituation wurden alle Anlagen von beiden Positionen aus beurteilt.

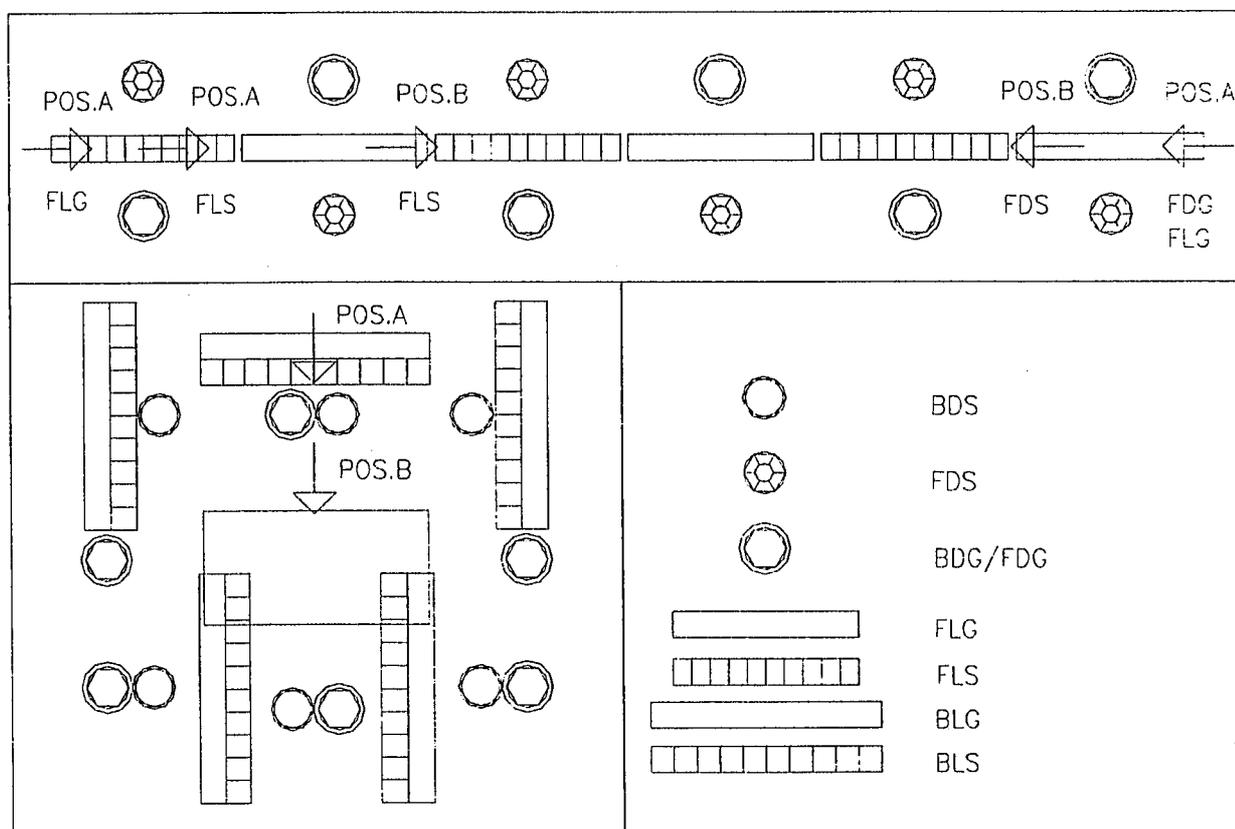


Bild 1 Deckenspiegel mit Beobachterpositionen

3. Ergebnisse

In Tabelle 1 sind die subjektiven Blendurteile für eine horizontale Blickrichtung der Versuchspersonen auf die gegenüberliegende Wand zusammen mit den berechneten Blendbewertungen der verschiedenen Verfahren aufgeführt. Für das DIN 5035-Verfahren sind zum einen die den entsprechenden Güteklassen zugeordneten Blendziffern angegeben (1), zum

anderen ist eine genaue Bestimmung der jeweils anlagenspezifischen Grenzkurven (2) und somit der Blendziffern vorgenommen worden.

Tabelle 1 Subjektive Blendurteile und berechnete Blendungskennzahlen

Bel.-Anlage	Subj. Blendurteile		Berechnete Blendungskennzahlen				
	POS.A	POS.B	DIN 5035 (1)	DIN 5035 (2)	UGR-Tab.	UGR-Formel	
						POS.A	POS.B
BLG	2,06	1,58	1,15	0,93	18,6	18,4	16,7
BLS	1,04	2,39	1,15	0,66	13,9	10 ¹	20,0
BDG	2,13	1,69	1,50	1,20	20,4	18,7	16,5
BDS	1,65	3,06	1,5	1,16	18,0	10 ¹	19,7
FLG	2,24	2,06	1,15	1,01	21,2	19,2	22,1
FLS	0,86	2,64	1,15	0,73	15,1	10 ¹	19,6
FDG	1,88	-	1,50	1,37	20,9	20,3	-
FDS	-	2,73	1,15	0,86	17,7	-	19,1

¹ Die UGR-Formelwerte < 10 wurden für eine vorgegebene Skala von 10 bis 28 auf den Wert 10 (keine Blendung) gesetzt.

Die Korrelationen zwischen den subjektiven Blendurteilen der 50 Versuchspersonen und den berechneten Blendbewertungen sind zusammen mit den Ergebnissen des Signifikanztests (T-Test, $\alpha = 1\%$ / sehr signifikant, $\alpha = 5\%$ / signifikant) in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 Korrelationskoeffizienten r und Signifikanz

	DIN 5035 (1)	DIN 5035 (2)	UGR-Tabelle	UGR-Formel
POS.A	0,33 nicht signifikant	0,69 signifikant	0,92 sehr signifikant	0,86 sehr signifikant
POS.A+B	-	-	-	0,77 sehr signifikant

Aus der statistischen Auswertung wird deutlich, daß die UGR-Blendbewertungen (Formel, Tabelle) für die untersuchten Beleuchtungsanlagen/Beobachter-Situationen eine klar bessere Übereinstimmung zu den Beobachterurteilen aufweisen als das derzeit in Deutschland angewendete DIN 5035-Verfahren. Der nicht zu erwartende höhere Korrelationskoeffizient der UGR-Tabellenmethode gegenüber dem UGR-Formelverfahren ist wahrscheinlich auf eine zu gute Beurteilung der Spiegelraster- und -reflektorleuchten unter steilen Beobachtungswinkeln von 35° bis 45° gegen die Vertikale seitens der UGR-Formel zurückzuführen. Neue Untersuchungen zum Positionsindex sind daher erforderlich. Auch die zur Zeit angewendete Methode zur Bestimmung der Lichtquellenleuchtdichte, die Lichtstärke auf die gesamte Lichtaustrittsfläche zu beziehen, könnte bei der Berechnung für diese Leuchtentypen eine Fehlerursache sein.

4. Literatur

Die Literaturliste ist bei den Verfassern erhältlich.

Orientierungshilfen für Sehbehinderte im öffentlichen Bereich durch Verbesserung der visuellen Kontraste

Fischer, Daniel

1 Einleitung

In einer Studie für die EG-Kommission wurde die Zahl der Sehbehinderten und Blinden für die alte Bundesrepublik Deutschland mit 1,4 Mio. beziffert. In ganz Europa waren es 8,1 Mio. Personen.

Nach neuesten Expertenschätzungen ist für die Bundesrepublik Deutschland eine Zahl von ca. 5,7 Mio., alleine für die Sehbehinderten, realistischer. Hochgerechnet auf die gesamte Europäische Gemeinschaft wären dies ca. 35 Mio. Sehbehinderte. Berücksichtigt man die Zeit zwischen dem Alter bei Eintritt der Erkrankung und der Erblindung oder des Todes, so ergibt diese die effektive Nutzungsdauer von sehbehindertengerechten Bauten, für jeden einzelnen Sehbehinderten. Über alle Sehbehinderte aufsummiert erhält man so für Deutschland eine Nutzungsdauer von 73.407.000 Jahren.

Im Gegensatz zur Sehschwäche spricht man von einer Sehbehinderung, wenn die Sehschärfe so weit eingeschränkt ist, daß diese nicht mehr vollständig durch optische Hilfsmittel ausgeglichen werden kann. Durch die eingeschränkte Sehschärfe stellen Sehbehinderte andere Anforderungen an ihre Umwelt als Normalsichtige. Da es eine Vielzahl von Sehbehinderungen mit unterschiedlichen Auswirkungen auf das Gesichtsfeld gibt, wurden die Sehbehinderten in Gruppen eingeteilt.

Ziel dieser Untersuchung ist es, die veränderten Anforderungen der Sehbehinderten an ihre Umwelt zu ermitteln. Insbesondere sollen hier die Kontrastempfindlichkeit und der räumliche Orientierungsmechanismus bestimmt werden. Bislang wurden solche Untersuchungen in klinischen Tests mit abstrakten Testzeichen (Landold-Ringe) durchgeführt. Die so gewonnenen Ergebnisse sind jedoch nur beschränkt auf die realen Anforderungen übertragbar. Deshalb wurden am Fachgebiet Lichttechnik praxisorientierte Tests entwickelt.

2 Durchgeführte Untersuchungen

Die erste Untersuchung beschäftigte sich mit der räumlichen Orientierungsweise der Sehbehinderten. Nachdem die zur Orientierung relevanten Objekte bestimmt wurden, sind diese neben einer Vielzahl anderer Objekte mit einem Leuchtdichtemeßsystem auf ihren Kontrast zum Hintergrund untersucht worden. Im letzten Test sind die Kontrastschwellen der Sehbehinderten ermittelt worden.

2.1 Orientierungsweise sehbehinderter Personen

Im Vergleich zu normalsichtigen Personen orientieren sich Sehbehinderte nach anderen Orientierungsmechanismen. Um die veränderten Anforderungen an die Umwelt ermitteln zu können, wurde mit einem Blickfassungssystem (Eyemark-Camera) die Blickzuwendungen der Sehbehinderten während der Orientierung aufgezeichnet. So konnten sowohl die Objekte ermittelt werden, die zur Orientierung herangezogen wurden, als auch deren Kontraste. *Bild 1* zeigt eine Situation eines Türeingangs und die Reihenfolge der Blickzuwendungen. Der Kreis symbolisiert die Blickzuwendungen eines an Retinitis Pigmentosa erkrankten (Blickfeld 20°). Zum Vergleich sind zusätzlich die von Normalsichtigen eingezeichnet (Quadrat).

cand.-Ing. Daniel Fischer
Technische Hochschule Darmstadt
Fachgebiet Lichttechnik
Hochschulstraße 4a
D-64289 Darmstadt

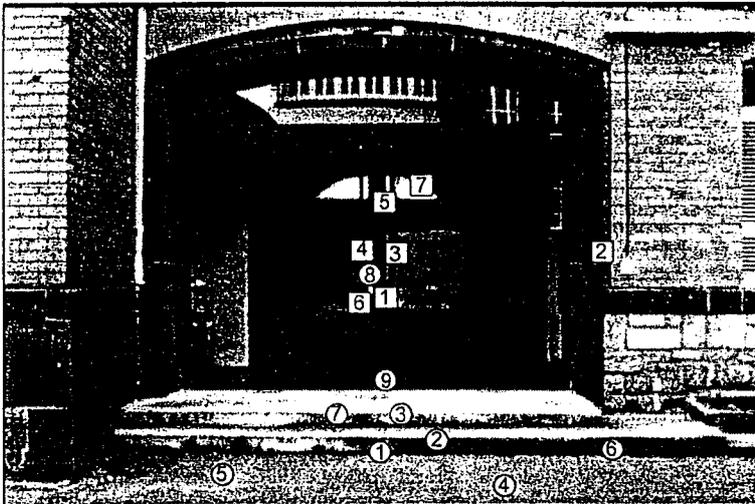


Bild 1:

Bild mit der Reihenfolge der Blickzuwendungen

○ Blickzuwendungen eines Sehbehinderten

□ Blickzuwendungen eines Normalsichtigen

2.2 Messung der existierenden Kontraste

Mit Hilfe eines Leuchtdichtemeßsystems wurden die Leuchtdichteverteilungen und die daraus resultierenden Kontraste von Objekten, die im öffentlichen Bereich auftreten, wie z.B. Treppen, Türen, Hindernisse und Wege untersucht. Diese haben sich aus Befragungen und Gesprächen mit Sehbehinderten als besonders problematisch herausgestellt oder als nützlich für die Orientierung erwiesen. In Bild 2 ist ein Horizontalschnitt durch den Türgriff aus Bild 1 dargestellt. Dieser läßt sich durch eine integrierte Auswertesoftware an beliebiger Position bestimmen. Aus dem Maximum und Minimum der Leuchtdichte kann so der Kontrast des Objektes zu seinem Hintergrund ermittelt werden. Nach diesem Verfahren wurden ca. 300 verschiedene Kontraste bestimmt.

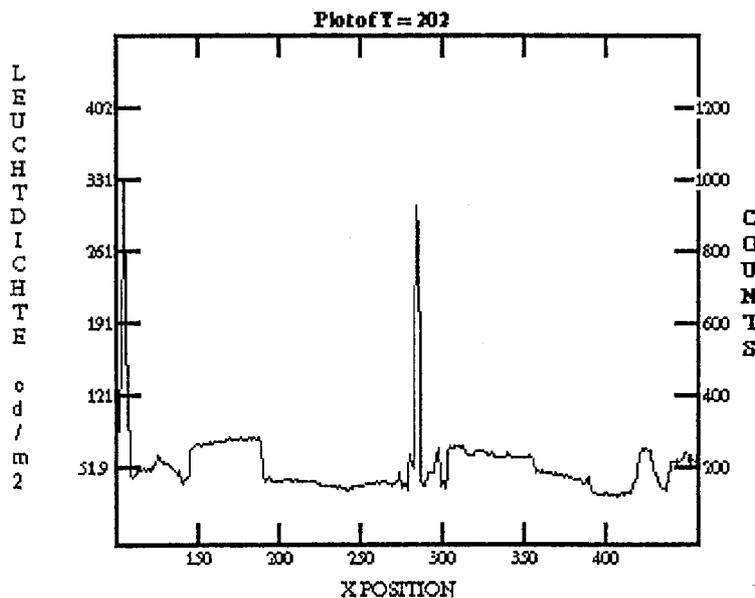


Bild 2:

Horizontalschnitt durch den Türgriff aus Bild 1

2.3 Mindestkontrastbedarf für Sehbehinderte

Zur Bestimmung der Kontrastschwellen wurde eine Videosimulation entwickelt. Über einen Monitor wurde der Testperson ein Bild einer Leuchtdichteaufnahme dargeboten, das eine Einkaufsstraße zeigte. In dieses Bild wurden unterschiedliche Objekte mit variierenden Leuchtdichten projiziert. Bild 3 zeigt exemplarisch eine Anordnung mit den verwendeten Objektarten (Poller, strukturierter Pfosten, Pfosten und Leitlinie). Insgesamt wurden auf diese Weise 80 Bildkombinationen mit den 4 verschiedenen Objekttypen und 160 Einzelobjekten gezeigt. Die Kontraste konnten zwischen $k = \pm 0,08$ bis $k = \pm 0,29$ variiert werden.



Bild 3:

Bild einer Einkaufsstraße in Darmstadt mit den verwendeten Objektarten

3 Ergebnisse

Zur räumlichen Orientierung dienen Objekte mit einem Kontrast von $k \geq 0,4$. Dies sind z.B. Bürgersteigkanten, Haussockel, Flur- und Wegränder. Bei Treppen dienen neben Anfang und Ende der Stufen das Gelände als wichtigste Orientierungshilfe, vorausgesetzt es besitzt einen Kontrast von $k \geq 0,35$ und eine Größe in Sehwinkel von $\alpha = 0,75^\circ$. Besonders gefährliche Hindernisse wie z.B. Absperrpfosten, Verkehrszeichenstangen oder Ampelmasten werden bei einem Kontrast von $k \geq 0,4$ und einer Breite von $\alpha = 0,44^\circ$ ausreichend sicher erkannt.

Die Bestandsaufnahme der vorherrschenden Kontraste in den untersuchten Situationen ergab, daß 50 % der Kontraste unter $k = 0,35$ und sogar 70 % unter $k = 0,44$ liegen. Dies bedeutet, daß 70 % der gefährlichen Hindernisse von den Sehbehinderten nicht erkannt werden können.

Die Videosimulation ergab, daß Objekte mit positivem Kontrast sehr viel eher erkannt werden, als die mit negativen derselben Größe (vgl. Bild 4). Die 95 % Erkennbarkeitswahrscheinlichkeit ist abhängig von der Objektgröße bzw. der Linienbreite. Die Kontrastschwelle nimmt bei abnehmender Objektgröße zu. So muß ein Poller (z.B. Betonkübel 30 cm · 40 cm) in 5 m Entfernung einen Kontrast von $k = 0,15$ bzw. $k = -0,28$ zu seiner Umgebung besitzen, damit 95 % der Sehbehinderten diesen erkennen können. Ein Pfosten mit schmalere Struktur und kleinerer Gesamtfläche im gleichen Abstand benötigt dagegen einen Kontrast von $k = 0,26$ bzw. $k = -0,46$.

Mit den in diesen Untersuchungen gewonnenen Ergebnissen kann unsere Umwelt sehbehindertengerecht gestaltet werden. Dies ermöglicht den Sehbehinderten eine aktive Teilnahme am sozialen Leben und damit eine höhere Integration in unsere Gesellschaft.

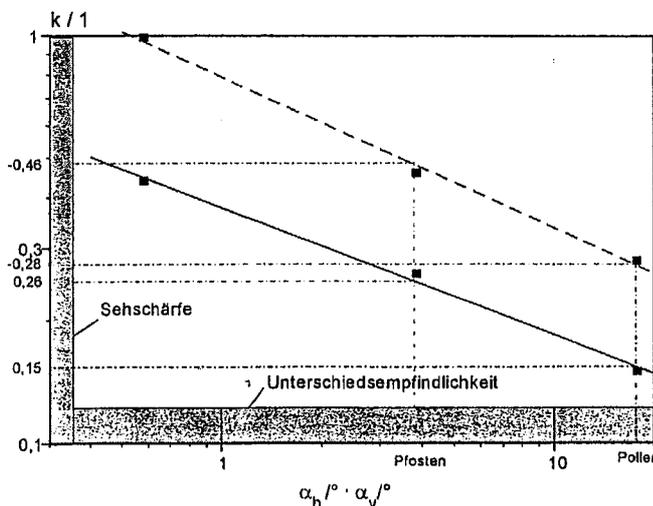


Bild 4:

Zusammenhang von Objektfläche und Schwellenkontrast

— Ausgleichsgerade für pos. Kontrast

- - - - Ausgleichsgerade für neg. Kontrast

THE VISIBILITY OF THE OBSTACLES ON THE ILLUMINATED ROAD

Lewandowski Maciej
Barański Jarosław
Golik Władysław

The phenomenon of seeing in road lighting is complex function of many factors, widely described in the professional literature. One of the fundamental criteria of enabling proper traffic safety is the ability of quickly noticing an obstacle on the road. Its visibility depends on luminance level as well as on obstacle contrast against the background. Completing the existing qualitative criteria of street lighting with contrast rendition conditions enables a street lighting arrangement which gives good obstacle visibility.

OBSTACLE VISIBILITY ON ILLUMINATED STREET

It is important in traffic safety for the driver to notice the obstacle, which is on the road, in time. This obstacle, however, will be visible only when its contrast against the road surface is greater than the threshold one.

In street lighting conditions visual adaptation usually hinders good color visibility. Therefore, seeing obstacles depends, first of all, on luminance contrast

$$C_0 = \frac{L_o - L_s}{L_s} \quad (1)$$

where L_o is obstacle luminance and L_s is the street surface luminance.

The obstacle on the road is perceived by the driver as a flat object set vertically in the plane normal to the direction of vehicle motion. Obstacle luminance L_o depends on the vertical component of illuminance E_v in the direction of vehicle motion. The necessity of reducing glare requires that the value of E_v be sufficiently low. The elements shaping light distribution of street luminaires are formed in such a way that the luminous flux should be, first of all, directed to the street surface. Thus, sufficiently high street luminance L_s is obtained with low energy consumption. It is the result of using luminaires of properly shaped light distribution in street lighting that the obstacle on the street is perceived as a dark silhouette on a brighter street surface background. Therefore, at artificial street lighting $L_o < L_s$ and luminance contrast C_0 of the obstacle expressed by Eq. (1) takes the value

$$C_0 < 0. \quad (2)$$

Student Maciej Lewandowski
Student Jarosław Barański
Doctor of Engineering Władysław Golik
Poznań Technical University, Lighting Division
Poland

The condition of assuring obstacle visibility on the road at artificial street lighting means satisfying inequality (2) and the following inequality

$$C_0 > C_{ref} \quad (3)$$

where C_{ref} is threshold contrast.

QUALITATIVE CRITERIA OF STREET LIGHTING VS. VISIBILITY OF DANGEROUS OBSTACLES

Qualitative criteria of street lighting are determined in the CIE reports. Satisfying these criteria while solving street lighting does not always assure visibility of the dangerous obstacle. For most contemporary cars, the obstacle of the dimensions 0.2 m x 0.2 m is critical. The obstacle are also critical when their luminance coefficient is approximately the average road surface luminance.

Taking it into account, the standard obstacle, i.e., the obstacle of dimensions 0.2m x 0.2 m reflecting light in the diffuse way the reflection factor 0.2, is assumed for evaluating obstacle contrast rendition on an illuminated street.

Table 1.

Calculation Results, Single-Sided Lighting, Driving Along the Lane Closer Luminaires

Road width:	x = 8 m	Lamp's luminous flux:	$\Phi = 33.000 \text{ lm}$
Height of luminaire suspension:	H = 10 m	Road surface kind:	R3
Spacing between poles:	Y = 30 m	Luminance coefficient q_0 :	0.06
Luminaire overhang over the road:	a = 0 m	First pole marker:	-1
Luminaire tilt:	W = 10°	Last pole marker:	2
Luminaire type:	SRS 201P1		

Table Contrast Distribution on the Road

x/y	0.00	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00
7.50	-0.484	-0.208	0.062	0.164	0.324	0.044	-0.063	-0.192	-0.302	-0.372	-0.456
6.50	-0.553	-0.269	0.019	0.106	0.065	-0.048	-0.158	-0.276	-0.403	-0.452	-0.526
5.50	-0.620	-0.323	-0.048	0.013	-0.020	-0.150	-0.240	-0.361	-0.470	-0.524	-0.602
4.50	-0.680	-0.394	-0.138	-0.100	-0.156	-0.265	-0.342	-0.443	-0.549	-0.588	-0.659
3.50	-0.745	-0.466	-0.240	-0.221	-0.282	-0.367	-0.425	-0.509	-0.612	-0.660	-0.729
2.50	-0.794	-0.542	-0.392	-0.385	-0.375	-0.463	-0.540	-0.555	-0.651	-0.716	-0.774
1.50	-0.834	-0.621	-0.491	-0.498	-0.468	-0.540	-0.609	-0.610	-0.688	-0.747	-0.814
0.50	-0.848	-0.636	-0.536	-0.530	-0.540	-0.566	-0.592	-0.629	-0.694	-0.766	-0.833

Average luminance: $L_u = 1.37 \text{ cd/m}^2$
 Overall luminance uniformity: $L_o = 0.48$
 Longitudinal luminance uniformity: $L_l = 0.82$

Table 1 presents contrast distribution of the standard obstacle on the street, determined for a particular solution of lighting device. The data included in Table 1 show that standard obstacle contrast on the street is changeable. It is obvious, because at different places on the

in the direction of vehicle motion, which depends on obstacle luminance L_o . In Table 1 this part of the street is dashed, where conditions (2) and (3) are not satisfied. Therefore, in this area there are places where the obstacle is not visible.

The contrast distributions on the street compiled in Table 1 is determined by calculational methods, but the results of a test of contrast distribution on street of Poznań fully confirmed the results obtained by means of the calculational method.

THRESHOLD CONTRAST

In order to determine threshold contrast C_{ref} a laboratory model of the street with obstacle was elaborated and built. The results of the research are presents in Fig. 1.

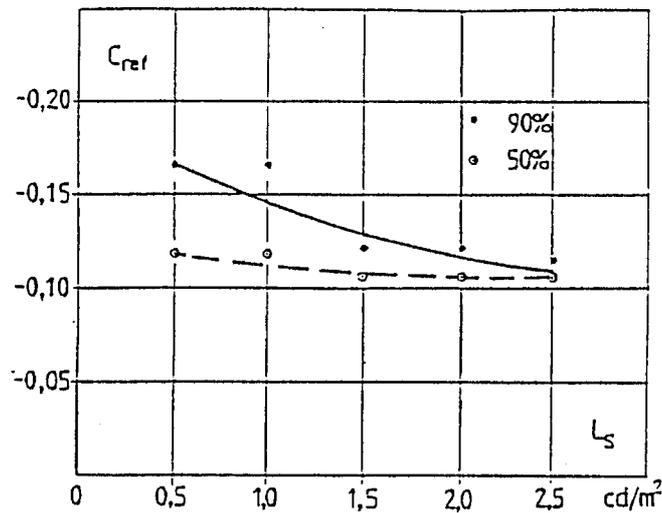


Fig. 1. Contrast values C_o to the obstacle with the background luminance L_s , suitable for noticing an obstacle of the dimensions 0.2×0.2 m from a distance of 60 m for at least 50 % and 90 % observers (there is also an anticipated course of the curve $C_{ref} = f(L_s)$).

As we can see, assuming a 50 % threshold for the analyzed road luminance range, the proper contrast is at the level of $C_{ref} = 0.12$. Taking the higher, 90 % threshold causes us to assume higher values of luminance threshold contrast, $C_{ref} = 0.16$, for lower luminance levels, i.e., 0.5-1 cd/m^2 .

Of course, the assumed noncontinuous contrast change not allow us to determine precisely an accurate value of threshold contrast for each of the investigated road luminance levels. However, it seems that the values determined in this way are sufficient to evaluate obstacle visibility conditions on the road.

CONCLUSION

The investigations of contrast distribution of the standard obstacle on the street show that satisfying the requirements recommended by CIE does not always give good visibility of this obstacle. In order to provide good visibility of the standard obstacle on the street, it is also necessary to satisfy, apart from the CIE requirements the criterion of contrast rendition. During evaluation of contrast rendition, we can use threshold contrast C_{ref} determined by the laboratory methods.

Untersuchungen zum Beleuchtungsniveau bei Arbeiten mit geringen Sehanforderungen

Völker, S. (Ilmenau)

Einleitung

Seit einem Jahr werden im Fachgebiet Lichttechnik umfangreiche Untersuchungen zur Ermittlung des notwendigen Beleuchtungsniveaus für Arbeitsplätze mit geringen und mittleren Sehanforderungen durchgeführt. Sowohl die Untersuchungen selbst, als auch einige Ergebnisse sollen hier kurz vorgestellt werden.

Ziel der Untersuchungen

Der überwiegende Anteil der Veröffentlichungen zum Beleuchtungsniveau beschäftigt sich mit Arbeitsplätzen, an die hohe Sehanforderungen gestellt werden. Für Arbeitsplätze mit geringen Sehanforderungen wird zwar in einigen Literaturstellen bei einer Beleuchtungsstärkeerhöhung auf ein Leistungsanstieg verwiesen, jedoch fehlen wissenschaftliche Untersuchungen zur Festlegung des nötigen Beleuchtungsniveaus.

Mit den hier durchgeführten Untersuchungen sollen Beleuchtungsniveaus für Arbeitsplätze mit geringen und mittleren Sehanforderungen ermittelt werden, die notwendig sind, um optimale Arbeitsleistungen und hohe Akzeptanz unter Gewährleistung einer hohen Arbeitssicherheit zu garantieren. Dazu wurden zunächst im Labor Untersuchungen an verschiedenen Industrie-Arbeitsplätzen durchgeführt. Nach Auswertung aller Ergebnisse soll sich eine Feldstudie an realen Arbeitsplätzen anschließen, um die im Labor erhaltenen Ergebnisse zu überprüfen.

Unsere Untersuchungen beziehen sich in erster Linie auf das Beleuchtungsniveau, wobei die anderen Gütemerkmale mit erfaßt werden.

Die Festlegung und Bewertung eines Beleuchtungsniveaus muß sowohl nach physiologischen als auch nach psychologischen Kriterien erfolgen. In der Vergangenheit sind verschiedene Verfahren für diese beiden Kriterien entwickelt wurden. In den bisher durchgeführten Untersuchungen wurden die in Abbildung 1 angegebenen Verfahren einzeln eingesetzt.

Viele dieser Verfahren sind aus der Literatur bekannt. Die bisher übliche Anwendung nur einer Methode führte jedoch stets zu anfechtbaren Ergebnissen. Man kann sich gut vorstellen, daß die Arbeitsleistung weder losgelöst von der Akzeptanz noch von einer physiologisch optischen Bewertung stehen darf. Bei der Anwendung eines Verfahrens wirken die anderen Einflußgrößen natürlich mit. Demzufolge müssen sie auch berücksichtigt werden. Nur in einer kombinierten Bewertung ist es möglich, ein Beleuchtungsniveau begründet festzulegen. Sind Korrelationen der

Dipl.Ing. S. Völker

Technische Universität Ilmenau

Fakultät Maschinenbau, FG Lichttechnik

Postfach 0565

D 98684 Ilmenau

Telefon (03677) 202935, Fax (03677) 842463

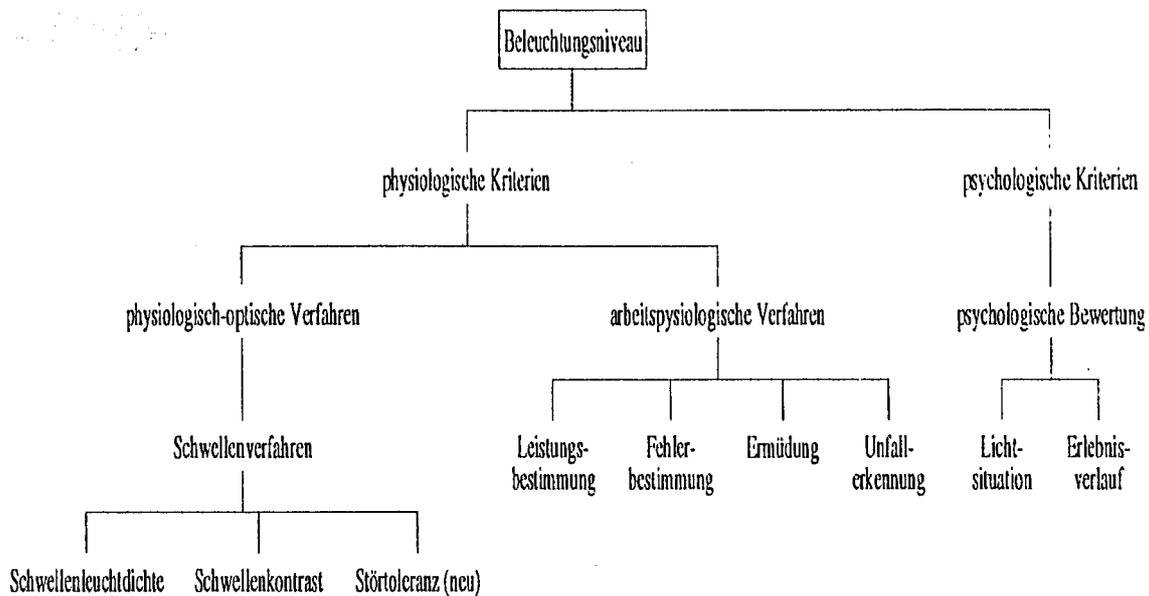


Abbildung 1: Ermittlung von Beleuchtungsniveaus

bekanntem und neuen Verfahren nachweisbar, so ergeben sich neue Möglichkeiten spezifischer Sehanforderungen zu überprüfen und Beleuchtungsniveaus wissenschaftlich begründet festzulegen. Ziel dieser Untersuchung sind dabei nicht die Angabe von Mittelwerten für ein Beleuchtungsniveau, sondern Wertebereiche, die eingehalten werden sollen.

Durchführung der Untersuchungen

Die Untersuchungen fanden in einem weißen Labor statt. Eine diffus leuchtende Decke sorgte für eine hohe Gleichmäßigkeit. Die Beleuchtungsstärke war zwischen 30 lx und 600 lx stufenlos einstellbar. Die Lichtfarbe änderte sich dabei um weniger als 70 K ($> 2\%$).

46 Versuchspersonen nahmen bisher an dem Versuch teil. Zur Ermittlung eines gewünschten Beleuchtungsniveaus konnten die Versuchspersonen die Beleuchtungsstärke am Ende jeder Versuchsreihe selbst einstellen.

Im Versuchslabor waren acht Arbeitsplätze aus mittelständischen Betrieben der Region Ilmenau nachgebaut. An ihnen sollten die Versuchspersonen bestimmte Arbeitsabläufe realisieren. Hierbei wurde die Arbeitsleistung ermittelt. Mittels geeigneter Fragebögen wurde sowohl die subjektiv empfundene Lichtsituation, als auch das subjektive Erleben der Arbeit (Erlebnisverlauf) unter einem entsprechenden Beleuchtungsniveau erfasst. Ziel dabei war es, Akzeptanz und Leistungsvermögen bei dem jeweiligen Beleuchtungsniveau festzustellen.

Zur Überprüfung der erhaltenen Ergebnisse sollen einige Langzeittests und Feldversuche an realen Arbeitsplätzen folgen.

Ergebnisse

Die Laboruntersuchungen sind inzwischen weitestgehend abgeschlossen. Derzeit werden die ermittelten Daten aufbereitet und mit entsprechenden statistischen Verfahren ausgewertet. Erste Ergebnisse sollen im folgenden kurz vorgestellt werden.

Ergebnisse aus den physiologisch-optischen Verfahren

a) Schwellenleuchtdichtebestimmung

Die Schwellenleuchtdichte wurde an allen Arbeitsplätzen mit Hilfe eines Schwellenleuchtdichtemeßgerätes (Polavis) von 46 Personen ermittelt. Unter Annahme diffuser Reflexion lassen sich für jeden Arbeitsplatz näherungsweise Schwellenbeleuchtungsstärken angeben. Die Angabe erfolgt verfahrensbedingt für jedes Beleuchtungsniveau. Sie liegen zwischen 0,5 lx und 6 lx. Die ermittelten Schwellenbeleuchtungsstärken nehmen an den meisten Arbeitsplätzen linear mit dem Beleuchtungsniveau zu, wobei die Werte für 600 lx auf Grund starker Adaptationsprozesse (Nachteil des Meßverfahrens) zu hoch liegen.

b) Schwellenkontrast- bzw. Visibilitybestimmung

Mit Hilfe des verwendeten Meßgerätes wurde die erreichbare Visibility an den Arbeitsplätzen durch jede Versuchsperson ermittelt. Sie sollte für die Erfüllung einer Sehaufgabe mindestens 20 betragen. Dieser Wert wurde bei 50% der untersuchten Arbeitsplätze bei 30 lx und 100 lx nicht erreicht. Auffallend für die Visibilitybestimmung ist, daß die Visibilitywerte zwischen 30 lx und 200 lx stark ansteigen, dagegen zwischen 200 lx und 600 lx sich kaum noch verändern. D.h., für die Erfüllung der Sehaufgabe wären 200 lx ausreichend.

c) Störtoleranzbestimmung

Die Störleuchtdichte nimmt nahezu linear bei allen Arbeitsplätzen zu. Je höher das Beleuchtungsniveau, desto besser können Störungen der Sehbedingungen durch die Beleuchtungsanlage im untersuchten Bereich ausgeglichen werden.

Ergebnisse aus den arbeitsphysiologischen Verfahren

Die Untersuchungen wurden an acht Arbeitsplätzen durchgeführt. Zwischen 30 lx und 200 lx ist eine deutliche Leistungssteigerung (10% - 15%) bei den fast allen Arbeitsplätzen nachzuweisen. Zwischen 200 lx und 600 lx ist die Leistungssteigerung dagegen deutlich geringer.

Ergebnisse aus den psychophysiologischen Verfahren

Die Lichtsituation wird mit zunehmenden Beleuchtungsniveaus subjektiv besser bewertet, d.h. die Akzeptanz steigt zwischen 30 lx und 600 lx mit der am Arbeitsplatz vorhandenen Beleuchtungsstärke. Nimmt man die Maßzahl 3,5 auf der Bewertungsskala von 0 bis 7 als Grenze zwischen positiver und negativer Empfindung, so wird die Lichtsituation in fast allen Kriterien ab 200 lx positiv eingeschätzt. Für eine ausreichende Akzeptanz sollte demzufolge das Beleuchtungsniveau mindestens 200 lx betragen.

Ausblick

Nach der vollständigen Auswertung der Laborversuche im Oktober/November diesen Jahres sollen in verschiedenen Betrieben Messungen an mindestens 50 Arbeitsplätzen durchgeführt werden. Dazu sind sowohl die verschiedenen physiologisch optischen Verfahren einzusetzen, als auch mittels Fragebögen eine psychologische Bewertung durchzuführen. Anhand der erhaltenen Meßergebnisse aus den praktischen Arbeitsplätzen und den simulierten Arbeitsplätzen sind Empfehlungen für neue Normen und Richtlinien im Bereich geringer Sehanforderungen zu geben.

Visual work conditions on the computer workstations illuminated with "darklight" luminaires

Górczewska Małgorzata
Zwierzchowski Piotr

Recently in a connection with a considerable increase of amount of VDU workstations; according to the lighting requirements and recommendations for these standings, especially concerning limiting luminaires reflections on the screens, lighting industry introduced so called "darklight" luminaires. These luminaires are characterised with special flux distribution concentrated in restricted angle. This generates desired and undesired influence upon the visual work conditions.

Generally, there are several factors that have the great influence upon the visual work conditions and comfort. The most important are:

- luminance level,
- luminance contrast between observed details and background,
- distribution of luminance in the eye-range (connected with appearance of the great luminance areas that develops glare),
- time of observation,
- angle quantity of the observed detail.

1. Luminance level upon horizontal working plane on the workstations illuminated with "darklight" luminaires is generally greater than on the workstations illuminated with common luminaires. This is connected with restricted angle of light flux emittance of "darklight" luminaires. Luminance level on the vertical working plane is generally lower.

2. Luminance contrast between observed detail and background depends upon illumination level, luminaire luminance and the reflection characteristics of observed details and background and localisation of eye, luminaire, detail and background. The "darklight" luminaires may cause decrease of the contrast between detail and background, for the most common visual work materials localised on horizontal working planes, but illumination with "darklight" luminaires allow limit the depreciation of contrast upon the vertical planes (for example upon the VDU screens).

Dr Ing. Małgorzata Górczewska
Dipl.- Ing. Piotr Zwierzchowski
Politechnika Poznańska
ul, Piotrowo 3A
60-965 Poznań
POLAND

3. Observation time has a great influence upon the efficiency of visual work especially on the visual non-comfort standings. The "darklight" illumination causes the gloomy appearance of the interior (walls and ceiling looks dark and working plane seems bright). This connected with difficult visual work conditions (necessity of frequent changes of eye direction) causes the fast eye tiring.
4. Angle quantity of the observed detail may influent upon the visual work conditions especially in connection with difficult eye-work environment, such as working conditions with VDU screens. The most common works with VDU screens such as reading, typing are connected with a small angle quantity of details.

Visual work conditions on computer workstations illuminated with "darklight" luminaires was investigated for a group of 10 young observers aged from 20 to 30. Research was carried out at a computer workstation in a room for different settings, as is shown in Fig.1. Research was carried out in a 6*5 m (3,10 m height) laboratory room illuminated with 6 luminaires 2*36W regularly localised on the ceiling.

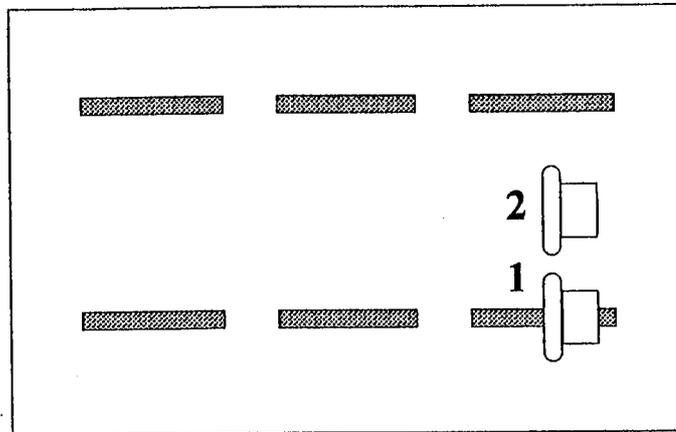


Fig.1. The room geometry and fixtures

The luminaires allowed to change louvers (specular and semi-specular), so it was possible to compare visual work conditions with different luminaires.

For the two computer workstation settings the research was undertaken to determine:

- visual performance changes,
- visual comfort changes

For the visual performance investigations, a specially prepared computer program was used, based on the test of Landolt's rings. The investigations included both the time of visual task and the number of mistakes.

The visual comfort was determined on the basis of the observers impressions.

The research results for the test with bright characters against a dark background are presented in Table 1.

Table 1

Scale used for assessing visual comfort:

index - assessment: 1 - Bad, 3 - Inadequate, 5 - Fair, 7 - Good, 9 - Excellent

Workstation position	Visual performance		Visual comfort	
	A	B	A	B
1	4	5	2	4
2	8	9	7	9

A - luminaires with specular louvres

B - luminaires with semi-specular louvres

The "darklight" illumination causes fast tiring of the eyes, what may be caused by dark, gloomy appearance of interior and great luminance of luminaire surface.

For great amount of visual tasks on VDU screens introducing "darklight" illumination may worsen working conditions. Investigations results has shown that it's very difficult to recommended the "darklight" (double parabolic polished aluminium louvre with low luminance level - at $50 < 200$ cd/m) luminaires for obvious workstations with common tasks in not extremely long interiors.

Main advantages of "darklight" luminaires are: limiting reflections on VDU screens, high illumination levels and possibility to achieve high utilisation factor.

Main disadvantages are: large luminance contrasts in eye-range, dark appearance of interior, high price of these luminaires and large luminance of luminaire surface, what may tire eyes disturb performing tasks on VDU workstations.

References:

- [1] Górczewska M.: Influence of VDU filters on visual performance at work with display units. Right Light Three Conference - Newcastle upon Tyne England 1995.
- [2] American National Standard for Human Factors Engineering of Visual Display Terminal Workstations, July 1986.
- [3] ISO 9241 "Visual Display Terminals (VDTs) used for Office Tasks. Ergonomic Requirements".
- [4] Publication CIE No 60 "Vision and Visual Display Unit Workstation" 1984.
- [5] Work With Displays Units. Proceedings of WWDU'92 Berlin 1992. Technische Universität Berlin, Institut für Arbeitswissenschaft.

Zeitverhalten von Leuchtstofflampen beim Einbrennvorgang

Andreas Nemrawa

1. Aufgabenstellung

Charakteristisch für Kompaktleuchtstofflampen ist das Zeitverhalten der lichttechnischen und elektrischen Größen während des Einbrennens. Zu ihrer Messung wurde im Rahmen einer Studienarbeit eine rechnerunterstützte Meßanlage aufgebaut und typische Verläufe gemessen /1/.

2. Aufbau der Meßeinrichtung

Bild 1 zeigt den Aufbau der Meßanlage. Das Meßobjekt befindet sich z.B. zur Messung des Lichtstroms in einer U-Kugel. Die elektrische Versorgung besteht aus einem Wechselspannungs-Stabilisator und einem digitalen Leistungsmeßgerät mit dem die elektrischen Daten gemessen werden. Zur Messung der lichttechnischen Größen analog einer Beleuchtungsstärkemessung, stehen Photostrommeßgeräte und ein Farbmeßgerät zur Verfügung.

Die Meßgeräte sind über geeignete Interfacekarten mit dem Rechner verbunden. Zur vollautomatischen Steuerung des Meßvorgangs und zur Übertragung und Aufnahme der Meßdaten wurde ein Programm in C++ entwickelt.

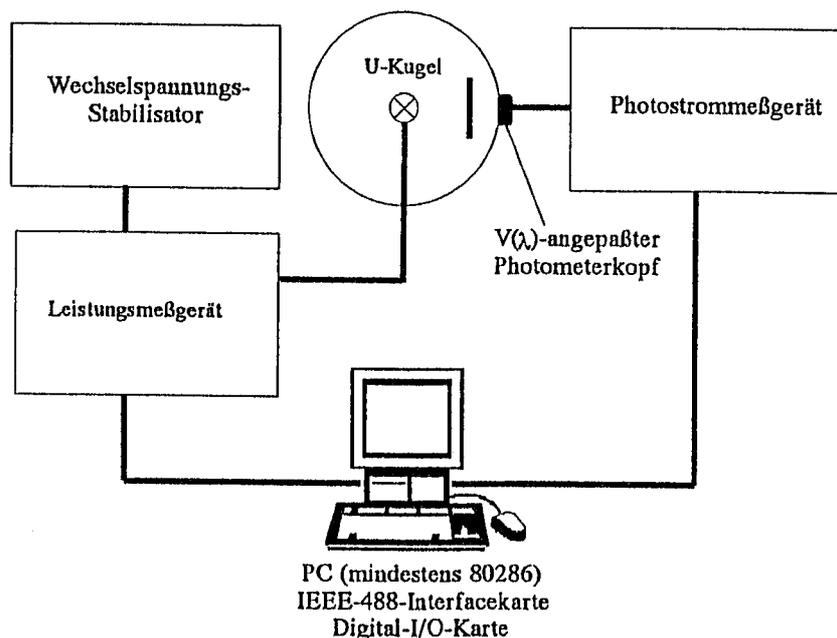


Bild 1:

Aufbau der Meßanlage mit einer U-Kugel. Die Anlage besteht aus der zu untersuchenden Lichtquelle, der elektrischen Versorgung und den Meßgeräten, die über die Interfacekarten mit dem Rechner verbunden sind.

3. Typische Einbrennverläufe von Kompaktleuchtstofflampen

Bild 2 und Bild 3 zeigen den Einbrennvorgang einer Dulux L 36W/21 mit elektronischem Vorschaltgerät QT 1×36/230. Die Lichtstrommessung wurde in einer U-Kugel von ca. 1,5 m Durchmesser vorgenommen. Die Meßdauer betrug 30 Minuten, wobei alle 10 Sekunden ein Meßzyklus ausgelöst wurde. Bild 2 zeigt die konstant gehaltene Nennspannung $U_N = 230 \text{ V}$, sowie den Verlauf der Stromstärke $I(t)$ der untersuchten Lampe, die wie die Systemleistung ein ausgeprägtes Maximum nach ca. 180 Sekunden aufweist. Bild 3 zeigt die Systemleistung $P(t)$ und den typischen Lichtstromverlauf $\Phi(t)$. Hat der Lichtstrom sein Maximum nach ca. 200 Sekunden erreicht, fallen Systemleistung und Stromstärke wieder und stellen sich auf einen niedrigeren stationären Wert ein.

Bild 4 zeigt den Verlauf der ähnlichsten Farbtemperatur beim Einbrennvorgang einer PL 15W Kompaktleuchtstofflampe bei konstant gehaltener Nennspannung $U_N = 230 \text{ V}$ und hängender Brennlagelage. Gemessen wurde der Verlauf der Normfarbwerte, aus welchen die Normfarbwertanteile berechnet wurden. Mit Hilfe eines speziellen Programmes zur Berechnung der ähnlichsten Farbtemperatur nach Judd wurden aus den Normfarbwertanteilen der Verlauf der Farbtemperatur bestimmt (Die Zuordnungsunsicherheit betrug etwa 40 Kelvin). Eine vergleichbare Zunahme der Farbtemperatur wurde auch bei anderen Typen festgestellt.

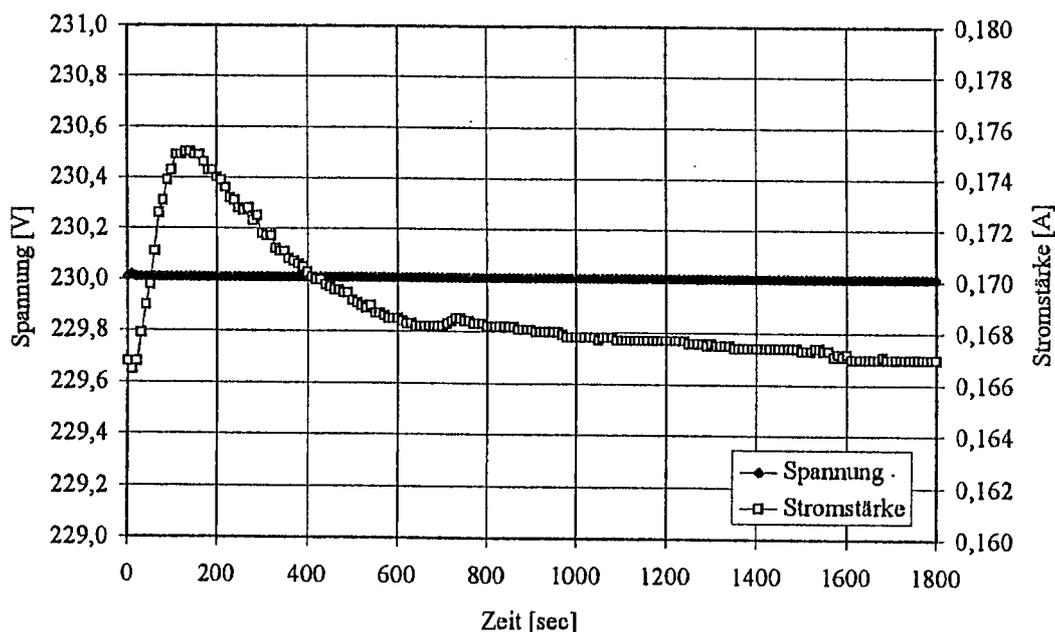


Bild 2:

Zeitlicher Verlauf von Stromstärke und Versorgungsspannung beim Einbrennvorgang einer Kompaktleuchtstofflampe Dulux L 36W/21 mit elektronischem Vorschaltgerät bei waagerechter Brennlagelage. Die Versorgungsspannung wurde mit einem Wechselspannungsstabilisator konstant gehalten. Die Meßdauer betrug 30 Minuten.

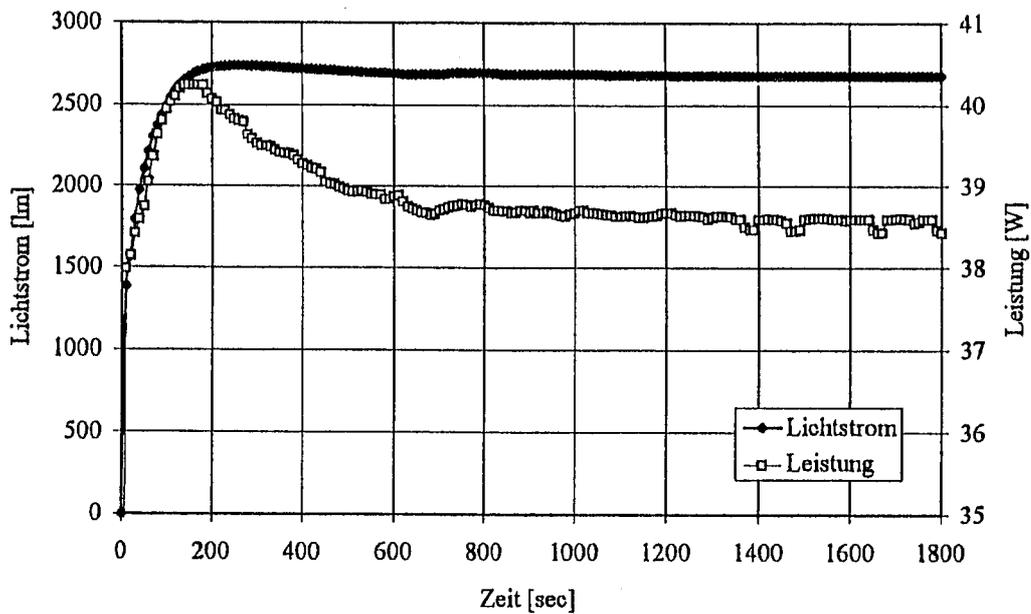


Bild 1:
Zeitlicher Verlauf von Lichtstrom und Systemleistung beim Einbrennvorgang einer Kompaktleuchtstofflampe Dulux L 36W/21. Meßbedingungen wie in Bild 2.

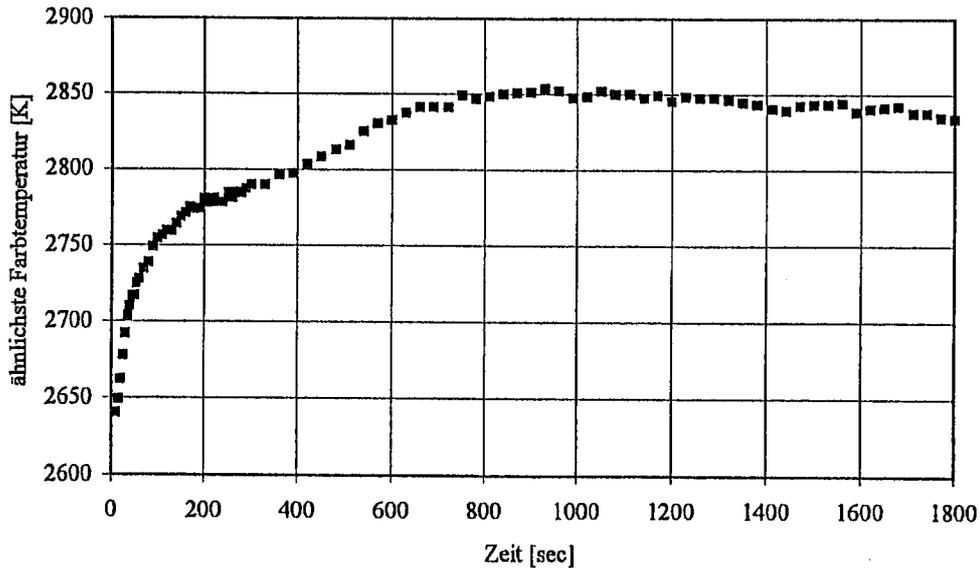


Bild 4:
Zeitlicher Verlauf der ähnlichsten Farbtemperatur beim Einbrennen einer Kompaktleuchtstofflampe PL 15W bei hängender Brennlage. Eine vergleichbare Zunahme der Farbtemperatur wurde auch bei anderen Typen festgestellt.

Literatur

- /1/ Nemrawa, A., Aufbau einer Meßeinrichtung zur Bestimmung des Zeitverhaltens beim Einbrennen von Kompakt-Leuchtstofflampen, 1995

Methodischer Vergleich von Kraftfahrzeugscheinwerfern des Abblendlichts

Dahlem, Thomas

1 Einleitung

Scheinwerfer gehören zu den wichtigsten lichttechnischen Einrichtungen am Kraftfahrzeug. Sie haben die Aufgaben, dem Straßenraum vor dem Kraftfahrzeug geeignet auszuleuchten und gleichzeitig den entgegenkommenden Verkehr so wenig als möglich zu blenden. Scheinwerfer dienen zur Orientierung des Kraftfahrers in der Verkehrssituation und sind für das Erkennen von Kraftfahrzeugen notwendig. In verschiedenen Zulassungsbereichen unterliegen sie unterschiedlichen nationalen und/oder internationalen Anforderungen. Für den europäischen Bereich können je nach Zugehörigkeit der Länder die ECE-Regelungen (Economic Commission of Europe) oder die EG-Richtlinien (Europäische Gemeinschaft) angewendet werden. Für den Bereich von Amerika gelten die SAE-Standards (Society of Automotive Engineers). In den USA sind die SAE-Standards in der FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standard) festgelegt.

Die beiden Normen unterscheiden sich durch verschiedene Schwerpunkte, die in den Richtlinien festgelegt wurden. In Europa hat die Vermeidung der Blendung Priorität. Dies hat einen großen Gradienten der Ausleuchtung im Bereich von 50 m bis 70 m vor dem Kraftfahrzeug, die so genannte harte „Hell-Dunkel-Grenze“, zur Folge. Außerdem wird eine gute Ausleuchtung des Bereichs direkt vor dem Fahrzeug bevorzugt. Im amerikanischen Raum gibt es einen sogenannten „hot spot“ bei etwa 50 m bis 70 m vor dem Kraftfahrzeug als Bereich höchster Intensität mit allmählicher Intensitätsabnahme zu den Rändern hin. Die Ausleuchtung ist durch ein breit ausgeleuchtetes Vorfeld und weiche Übergänge gekennzeichnet.

Scheinwerfer wurden bisher aufgrund ihrer photometrischen Daten (z.B. Goniometermessung) und von Fachleuten bewertet. Mit dieser Arbeit sollte ein anderer Weg beschritten werden, nämlich eine Beurteilung der Scheinwerferausleuchtung von lichttechnisch nicht vorgebildeten Personen und damit von den Kunden. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, herauszufinden, wie man subjektiv eine Scheinwerferausleuchtung beurteilen kann. Außerdem wurde dabei herausgefunden, welche Kriterien für Scheinwerferbeurteilungen sinnvoll sind und welche Relevanz sie für diese haben. Die Ergebnisse aus den statischen Versuchen wurden mit denen der dynamischen Versuche verglichen. Eine Gegenüberstellung der ermittelten Resultate aus Mexiko mit denen aus Europa, gab einen Aufschluß über die Relevanz verschiedener Gewöhnungen der Testpersonen an die Ausleuchtungscharakteristiken. Aus diesem Grunde wurden in Deutschland und Mexiko Untersuchungen durchgeführt.

2. Durchgeführte Untersuchungen

Im Rahmen der Untersuchung wurde ein Fragebogen mit einem Umfang von 80 Fragen entwickelt, der auf Kriterien wie z.B. Helligkeit, Homogenität, Inhomogenitäten, Reichweite, Hell-Dunkel-Grenze, Auslauf der Scheinwerferausleuchtung etc. basierte. Diese Kriterien wurden von den Testpersonen durch eine bei physiologischen Experimente üblichen neunstufigen Skala bewertet (vgl. Bild 1). Ein Testpersonenkollektiv beurteilte bei statischen und dynamischen Versuchen die Ausleuchtung der Kraftfahrzeugscheinwerfer. Dabei wurde eine Zoneneinteilung in acht Zonen verwendet, die in Bild 2 zu sehen ist, wobei jede Zone einzeln zu bewerten war.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
zu dunkel		dunkel		optimal		hell		zu hell

Bild 1: Beispiel für eine Bewertungsskala

cand.-Ing. Thomas Dahlem
Technische Hochschule Darmstadt
Fachgebiet Lichttechnik
Hochschulstraße 4a
D-64289 Darmstadt

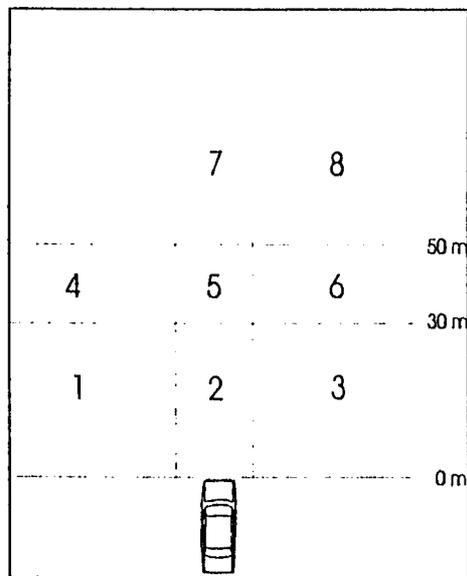
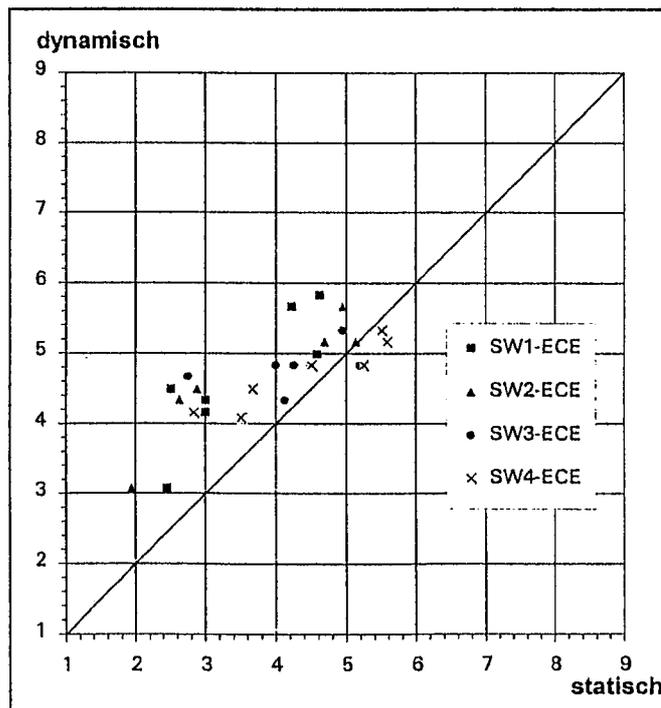


Bild 2: Zoneneinteilung bei dynamischen Scheinwerferuntersuchungen

3 Ergebnisse

Heute werden Scheinwerfer meist statisch bewertet. Bei diesen durchgeführt zeigte sich, daß durch die fehlende Fahraufgabe die Testpersonen in der Lage waren, die gestellten Fragen kritischer zu beurteilen. Dadurch wurden die einzelnen Kriterien sehr viel feiner differenziert. Somit wurden z.B. Inhomogenitäten als weit aus störender oder das Ausleuchtungsniveau als dunkler (vgl. Bild 3) empfunden als bei den dynamischen Versuchen. Aufgrund der gestellten Fahraufgabe bei den dynamischen Tests wurden die einzelnen Kriterien viel spontaner beurteilt. Daraus resultieren die stärkeren Schwankungen in der Bewertung der einzelnen Scheinwerfertypen. Außerdem zeigte sich, daß Scheinwerferbeurteilungen ausschließlich dynamische Tests vorgenommen werden sollten, da diese der Realität näher kommt.



1	zu dunkel
5	optimal
9	zu hell
SW: Scheinwerfer	

Bild 3: Vergleich des Kriteriums Helligkeit bei statischen und dynamischen Versuchen in Deutschland mit ECE-Scheinwerfern

Die Auswertung des Datenmaterials, das auf insgesamt über 5000 km gewonnen wurde, ergab die zur Scheinwerferbeurteilung wesentlichen Kriterien.

Zu diesen Kriterien gehören Helligkeit, Homogenität, Inhomogenität, Auslauf zu den Rändern hin, Hell-Dunkel-Grenze, Breite, Reichweite und Gesamturteil der Ausleuchtung. Außerdem ist es sinnvoll, so präzise als möglich Fragen über die Scheinwerferausleuchtung zu stellen. Es hat sich gezeigt, daß es ausreichend ist, eine Frage am Anfang und am Ende von den Testpersonen beantworten zu lassen, bei denen allgemeine Eindrücke geäußert werden können.

Aufgrund der unterschiedlichen Regelungen (SAE, ECE) wurden sowohl die statischen als auch die dynamischen Versuche in Mexiko und in Deutschland durchgeführt. So war es möglich, die gleichen Scheinwerfer von Testpersonen aus dem SAE- und ECE-Geltungsbereich beurteilen zu lassen. Die Auswertung dieser Ergebnisse ergab wenige relevante Unterschiede in der Klassifikation der Scheinwerfer untereinander. Ein Unterschied lag z.B. bei der Bewertung der Helligkeit von ECE-Scheinwerfern in den Zonen 30 bis 50 m links und ab 50 m rechts (vgl. Bild 4), bei denen die Mexikaner die Ausleuchtung als deutlich dunkler bewerteten als die Deutschen. Dieses ist wohl auf die härtere Hell-Dunkel-Grenze und eine schmalere Ausleuchtung in diesen Bereichen bei ECE-Scheinwerfern im Vergleich zu den SAE-Scheinwerfern zurückzuführen.

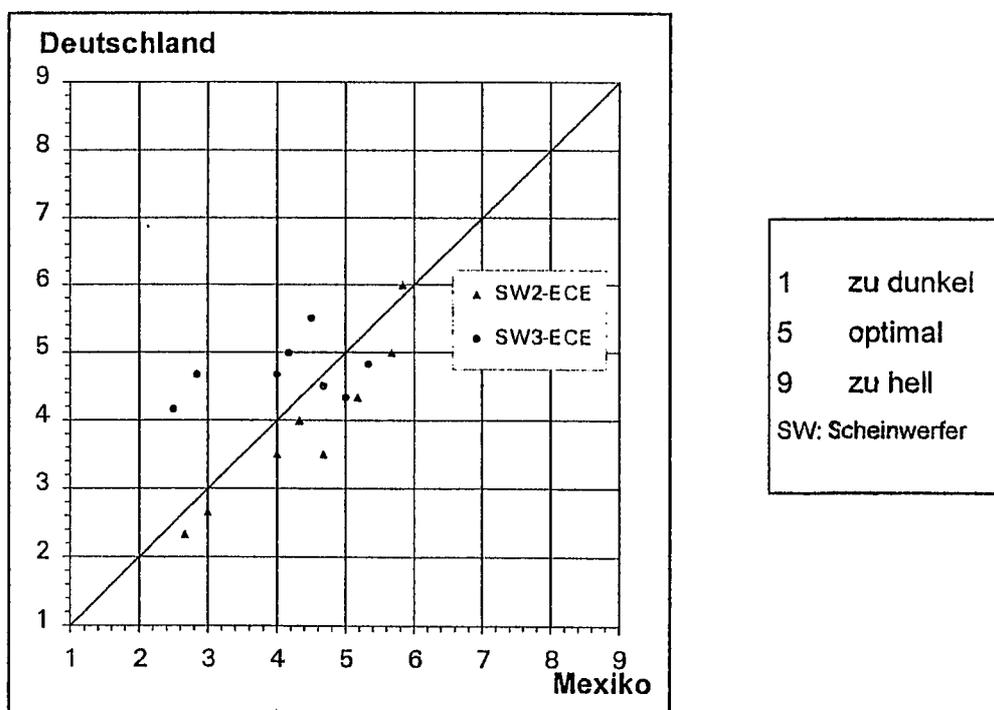


Bild 4: Vergleich des Kriteriums Helligkeit bei dynamischen Versuchen in Deutschland und Mexiko mit ECE-Scheinwerfern

Bei dem Kriterium der Hell-Dunkel-Grenze unterscheiden sich die beiden Standards. Von SAE-Scheinwerfern gewöhnten Personen wurden die hohen Gradienten der Ausleuchtung im Bereich der Hell-Dunkel-Grenze als optimal beurteilt, wenn zum einen dort eine breitere Ausleuchtung vorhanden ist und zum anderen sich diese möglichst weit vom Fahrzeug vor dem Fahrzeug liegt (ca. 70 m). Dieses Ergebnis ist im Hinblick auf eine Entwicklung eines universellen Scheinwerfers für den europäischen und amerikanischen Bereich von Bedeutung.

Die Zoneneinteilung, die relevanten Untersuchungskriterien und der Vergleich der unterschiedlichen Regelungen ergaben einen neuen kürzeren Fragebogen für dynamische Versuche, der eine Scheinwerferbeurteilung für den SAE- und ECE-Geltungsbereich zuläßt. Somit ist eine Scheinwerferbewertung unabhängig von der Gewöhnung an einen Scheinwerferstandard möglich. Außerdem kann dieser Fragebogen bei Neuentwicklungen von Kraftfahrzeug-scheinwerfern herangezogen werden.

Computersimulationen von Leuchten als Entwicklungswerkzeug des Lichttechnikers

Rudolph, Horst

Die Anforderungen des Marktes nach immer neuen, architektur- und designorientierten Beleuchtungskonzepten mit immer kürzeren Entwicklungszyklen, sowie die gestiegenen Ansprüche an die Lichttechnik, machen es notwendig, den Entwicklungsprozeß von hochwertigen optischen Systemen neu zu überdenken.

Die Entwicklung anspruchsvoller Optiken ist ein Iterationsprozeß, der unter anderem folgende Schritte umfaßt:

1. Fertigung von Musterleuchten,
2. Messung der lichttechnisch relevanten Daten,
3. Auswertung der gemessenen Daten,
4. ggf. Änderung des optischen Systems, mit Wiederholung der Schritte 1 - 3.

Insbesondere sind die Schritte 1 und 2 sehr zeit- und kostenintensiv. Es bietet sich an, gerade dort rationellere Entwicklungsverfahren einzusetzen.

Computersimulationen von Leuchten bieten hier einen vielversprechenden Ansatz: Lichttechnische Daten können ohne die Fertigung von Musterleuchten vom Computer ermittelt werden!

Die iterative Optikentwicklung umfaßt dann die Schritte:

1. Eingabe der Optikdaten in den Rechner,
 2. Berechnung der lichttechnisch relevanten Daten,
 3. Auswertung der simulierten Daten,
 4. ggf. Änderung des optischen Systems im Rechner, mit Wiederholung der Schritte 1 - 3.
- } Simulationsprogramm

Man unterscheidet im allgemeinen 2 Arten von Berechnungsverfahren, die in Simulationsprogrammen angewendet werden:

- Radiosity-Verfahren: Sie basieren auf dem Strahlungsaustausch von leuchtenden Flächen,
- Raytracing-Verfahren: Von der Lichtquelle werden Lichtstrahlen emittiert, die durch die Leuchte verfolgt werden.

Die Möglichkeiten, aber auch die Grenzen, die sich bei Einsatz solcher Simulationsprogramme bei der Entwicklung optischer Systeme ergeben, sollen anhand eines Raytracing-Computerprogramms näher erläutert werden.

Einige der wichtigsten lichttechnischen Größen einer Leuchte, die von Computern simuliert werden können, sind unter anderem:

- Lichtstärkeverteilung mit Wirkungsgrad,
- Beleuchtungsstärkeverteilung im Nahfeld,
- Reflexe der Lichtquelle im Spiegelraster.

Gerade die Berechnung der Lichtstärkeverteilung erlaubt durch nachgeschaltete Software, wie z. B. Planungsprogramme für Innenraum- oder Straßenbeleuchtung, eine präzise Analyse des optischen Systems der Leuchte.

Eine hinreichende Genauigkeit der Berechnungsergebnisse ist unabdingbar für den sicheren Einsatz der Simulationsprogramme.

Als Beispiel zeigen die unten aufgeführten Tabellen die lichttechnischen Werte zweier Leuchten, die sowohl auf einem Drehspiegel-Goniophotometer gemessen als auch durch ein Raytracing-Simulationsprogramm berechnet wurden. Gegenübergestellt werden außerdem Planungsgrößen, die sich aus jeweils für die Leuchten typischen Anlagengeometrien ergeben.

1. Rasteranbauleuchte mit LL 58W für Innenräume

Lichttechnische Größe	Simulation	Messung
Wirkungsgrad η_{LB}	66 %	67 %
Blendfrei ab $\gamma = 60^\circ$	ja	ja
mittl. Beleuchtungsstärke im Raum	530 lx	550 lx

2. Außenleuchte mit NaH-T 150W mit einer 3-dimensionalen Freiformfläche als optisches System

Lichttechnische Größe	Simulation	Messung
Wirkungsgrad η_{LB}	76 %	73 %
mittl. Fahrbahnleuchtdichte	1,4 cd/m ²	1,3 cd/m ²

In den Tabellen lassen sich Unterschiede der Computersimulation zu den meßtechnisch ermittelten Größen erkennen. Die Frage nach der Ursache dieser Unterschiede, und wie sie sich minimieren lassen, können nur beantwortet werden, wenn man die Funktionsweise des Simulationsprogramms kennt.

Die zu simulierende Leuchte muß dem Rechner als geometrisches Modell mit optischen Eigenschaften vorliegen. Dazu werden alle, für eine lichttechnische Berechnung relevanten Leuchtenelemente in 3- oder 4-eckige, ebene Flächen zerlegt, und mit zusätzlichen Daten, die optischen Eigenschaften beschreibend im Rechnerspeicher abgelegt.

Hier ergeben sich 3 Probleme, die entscheidend für die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse sind:

1. Die geometrischen Daten der Leuchte müssen möglichst exakt im Rechner vorliegen. Abweichungen zur realen Leuchte treten immer dann auf, wenn gekrümmte Oberflächen in ebene Teilstücke zerlegt werden. Diese geometrischen Abweichungen lassen sich minimieren, je feiner die Zerlegung vorgenommen wird. Allerdings wird durch jedes zusätzliche Teilstück mehr Rechner-speicher belegt.
2. Die optischen Eigenschaften der Leuchtenelemente müssen sehr genau bekannt sein. Es reicht z.B. nicht aus, reflektierende Materialien nur durch die Angabe von halbräumlichem Reflexionsgrad und Glanzgrad zu beschreiben. Vielmehr muß mit einer geeigneten Meßapparatur die räumliche Verteilung des reflektierten und/oder transmittierten Lichtes jedes einzelnen Materials (hochglänzende oder satinierte Reflektoren, lackierte Oberflächen, opale oder klare lichtdurchlassende Bauteile, ...) aufgenommen werden. Die Indikatrix wird im Rechner als Tabelle oder mathematische Formel abgelegt und beschreibt die optischen Eigenschaften der Flächenelemente.
3. Das Computermodell der Lichtquelle muß möglichst genau mit der realen Lichtquelle übereinstimmen. Auch hier müssen mit geeigneten Meßmethoden die Ausstrahlungscharakteristik, die Leuchtdichteverteilung und andere optische Eigenschaften jeder einzelnen Lichtquelle ermittelt werden.

Zur Berechnung einer Lichtstärkeverteilung oder einer Beleuchtungsstärkeverteilung im Nahfeld werden von der Oberfläche der Lampe Lichtstrahlen emittiert. Diese werden, sobald sie auf das optische System der Leuchte treffen, in ihrer Intensität gemindert und von ihrer Ausbreitungsrichtung abgelenkt. Die richtungsabhängige Summation aller Lichtstrahlen, die die Leuchte verlassen, ergeben die LVK oder die BVK im Nahfeld.

Die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse ist hier von 2 Faktoren abhängig:

1. Je mehr Lichtstrahlen von der Lampenoberfläche emittiert werden, desto genauer ist das Berechnungsergebnis. Allerdings steigt auch die vom Computer benötigte Berechnungszeit nahezu linear an. Für die gebräuchlichsten Leuchtentypen ist die Emission von ca. 1.000.000 Lichtstrahlen ausreichend, um die Lichtstärken in den jeweiligen Richtungen mit einem Fehler von ca. 1% zu berechnen.
2. Die relative Lichtstromänderung der Lichtquellen in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur kann die lichttechnischen Werte einer Leuchte beeinflussen. Dieser "Temperaturgang" ist meist in Datenblättern des Lampenherstellers festgehalten oder kann durch eigene Messungen ermittelt werden. Die Umgebungstemperatur der Lampe innerhalb einer Leuchte kann mit ausreichender Genauigkeit jedoch nur an einer realen Musterleuchte ermittelt werden. Daraus ergibt sich bei Lichtquellen mit großem Temperaturgang (z.B. Kompaktleuchtstofflampen) in "kritischen" Leuchten eine unbestimmte Abweichung der berechneten lichttechnischen Werte von den real gemessenen.

Eine Simulation der Leuchteninnentemperatur ist nur durch komplizierte, thermodynamische Berechnung zu realisieren. Durch ständige Vergleiche von Computersimulationen und Messungen an realen Leuchten lassen sich jedoch für die unterschiedlichsten Leuchtentypen Korrekturfaktoren ermitteln, die die Berechnungsergebnisse den Meßdaten angleichen.

Fazit:

Computersimulationen von Leuchten werden heute erfolgreich in der Entwicklung hochwertiger Optiksyste-me eingesetzt. Diese Computerprogramme werden ständig erweitert, um die Berechnungsergebnisse noch weiter zu präzisieren. Welche Probleme sich allerdings dabei ergeben, läßt sich am besten mit einem Zitat des Biochemikers und Schriftstellers Isaac Asimov erläutern:

"Die Grenzen der Simulation liegen in der Tatsache begründet, daß die Simulation nur ein vereinfachtes Abbild des zu untersuchenden Aspektes ist. Wenn man mehr und mehr über irgendein Phänomen wissen möchte, oder wenn das Phänomen komplizierter wird, benötigt man immer umfangreichere Gleichungen, die immer schwerer zu erfassen sind. Die *kleinstmögliche Simulation* nimmt schneller an Komplexität zu, als der zu simulierende Gegenstand. So hat man festgestellt, daß das Universum in seiner *vollen* Komplexität nicht durch eine Simulation dargestellt werden kann, die kleiner ist, als das Universum selbst."

Dipl. Ing. Horst Rudolph
Trilux - Lenze GmbH + Co KG
Heidestraße
59759 Arnsberg

Örtlich aufgelöste Leuchtdichtemessung mit CCD-Kamera

S. Wolf*

Es soll ein Meßsystem vorgestellt werden, mit dem es möglich ist, die Leuchtdichteverteilung einer realen Szene bildaufgelöst zu messen.

Dieses Leuchtdichtemeßsystem besteht aus einer Video-CCD-Kamera und einem portablen Personalcomputer, welcher zusätzlich mit einer Echtzeit-Bildverarbeitungskarte ausgerüstet wurde. Die Bildverarbeitungskarte enthält im wesentlichen einen Framgrabber zur Analog-Digitalwandlung der Bilddaten.

Die verwendete Schwarzweiß-CCD-Kamera von Typ XC-77CE mit einem 2/3" Sensor hat eine Auflösung von 768×581 Bildpunkten, von denen 768×512 genutzt werden. Als Stromversorgung des Rechners wird ein Netzanschluß 220V/50Hz benötigt, die Versorgung der Kamera erfolgt über den PC.

Für den Betrieb des Meßsystems und die Auswertung der Leuchtdichtedaten wurde eine entsprechende Software entwickelt, die die Ansteuerung der CCD-Kamera, die Berechnung der Leuchtdichtewerte für jeden Bildpunkt und die Darstellung der Ergebnisse übernimmt.

Um mit einer Videokamera Leuchtdichten messen zu können, war es not-

wendig die verwendete CCD-Kamera bezüglich ihres spektralen Verhaltens und ihrer photometrischen Eigenschaften zu untersuchen, um systematische Fehler zu erfassen und zu korrigieren.

Dabei wurde der Schwerpunkt auf folgende Bereiche gelegt:

1. Photometrische Auflösung
2. Linearität des Ausgangssignals in bezug zur Objektleuchtdichte
3. Abhängigkeit des Ausgangssignales vom Ort im Bildfeld (auch als örtliche relative Empfindlichkeit oder als Shading-Verhalten bezeichnet)
4. Absolute Empfindlichkeit des Systems
5. Spektrale Empfindlichkeit der Kamera
6. Dunkelstrombestimmung

Die photometrische Auflösung wird durch die statistische Unsicherheit (Rauschen) des Kamerasignals bestimmt. Um das Rauschen zu verringern, wurde der Mittelwert über jeweils 2×2 Kamerapixel (= 1 Makropixel) gebildet. Untersuchungen von anderen Fachgebieten an dem gleichen

*TU Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau, Fachgebiet Lichttechnik

Kameratyp zeigen bei dieser Makropixelgröße ein signalabhängiges Rauschen von 0,5 bis 0,9 Grauwerten, wobei das größere Rauschen bei hohen Grauwerten auftritt. Bei einer Vollaussteuerung von 250 Grauwerten kann also eine photometrische Auflösung von 1 : 200 als realistischer Wert angegeben werden.

Die Linearität der Kamera wurde durch die Messung des Kamerasignals bei verschiedenen Beleuchtungsstärken auf der CCD-Matrix bestimmt. Dabei zeigte sich eine deutliche Abweichung vom ideal linearen Verhalten, so daß eine Korrekturfunktion bestimmt wurde. Diese Funktion wird auf alle Meßwerte bei der Leuchtdichtemessung angewandt.

Bei der Bestimmung der örtlichen relativen Empfindlichkeit wurden Objektiv und Kamera als eine Einheit betrachtet, und somit der Einfluß von Abschattungen im Objektiv als auch die Lichteinfallssituation auf der CCD-Matrix und die Empfindlichkeit der einzelnen Matrixpixel erfaßt. Als weitere Einflußfaktoren wurden die Blenden- und die Entfernungseinstellung am Objektiv untersucht. Dabei zeigte sich, daß die relative Empfindlichkeitsverteilung über der Matrixfläche unabhängig von der Entfernungseinstellung ist. Auch die Veränderung der Blendeneinstellung im Bereich von Blende 16 (kleinste mögliche Öffnung) bis 4 zeigte keine nennenswerten Unterschiede. Sehr stark zunehmende Randabfälle (bis auf 25 %) treten aber bei größeren Öffnungen als Blende 4 auf. Im Blendenbereich 16 bis 4 werden demzufolge die geringen, und vor allem von der Blendeneinstellung unabhängigen Randabfälle bis auf ca. 90 bis 85 % mit einer ermittel-

ten KorrekturmatriX (ShadingkorrekturmatriX) ausgeglichen. Der Blendenbereich von 4 bis 1.4 ist aber aufgrund der mangelnden Reproduzierbarkeit der Blendeneinstellung für Leuchtdichtemessungen nicht verwendbar.

Zur absoluten Kalibrierung des Meßsystems müssen folgende Aussagen getroffen werden:

Das verwendete Objektiv mit einstellbarer Lamellenblende und stufenloser Entfernungseinstellung ließ keine ausreichende Reproduzierbarkeit dieser Einstellungen zu. Die Blendeneinstellung wurde aber zur Anpassung an die Objekthelligkeit und Vermeidung von Übersteuerungen benötigt. Deshalb konnte keine generelle absolute Kalibrierung erfolgen. Das Problem wurde dadurch gelöst, daß vor jeder Aufnahme und bei jeder Änderung der Einstellungen am Objektiv eine Probeaufnahme mit einem Reflexionsnormal im Bildfeld durchgeführt wurde, dessen Leuchtdichte mit einem herkömmlichen Leuchtdichtemesser gemessen und in das Auswerteprogramm eingegeben wurde. Dadurch waren mit dem CCD-Leuchtdichtemeßsystem absolute Messungen möglich.

Die spektrale Empfindlichkeit eines Leuchtdichtmessers muß der Augempfindlichkeitsfunktion ($V(\lambda)$ -Kurve nach DIN 5031) entsprechen. Dazu wurde die spektrale Empfindlichkeit der Kamera auf verschiedenen Positionen der Matrix gemessen und ein Vollfilter berechnet [1]. Die Kontrollmessung mit dem gefertigten Filter zeigte einen f_1 -Fehler von kleiner 8 % auf allen vermessenen Positionen.

Während alle bisher aufgeführten Eigenschaften als langzeitkonstant ange-

sehen werden können, ist der Dunkelstrom, d.h. das Kamerasignal bei verschlossenem Objektiv, stark von der Temperatur der Kamera bei der Messung abhängig. Deshalb wird dieser vor den Messungen jeweils neu eingelesen.

Die Berechnung der Leuchtdichte erfolgt zusammenfassend wie folgt:

Ausgehend von den Bilddaten der CCD-Kamera werden die Mittelwerte von 2×2 benachbarten Pixeln berechnet. Diese 2×2 Pixel werden im folgenden „Makropixel“ genannt. Auf den Mittelwert jedes solchen Makropixels wird im Anschluß die ermittelte Linearisierungsfunktion angewandt, um die Nichtlinearität der CCD-Kamera zu kompensieren. Danach wird von diesem errechneten Wert der bei verschlossenem Objektiv eingelesene Dunkelwert subtrahiert und das Ergebnis mit dem entsprechenden Element der Shadingkorrekturmatrix multipliziert, um schließlich die mittlere relative Leuchtdichte des vom Makropixel umfaßten Objektbereiches zu erhalten. Außerdem erfolgt noch eine Multiplikation jedes Leuchtdichtewertes mit einem konstanten Faktor, um eine absolute Kalibrierung zu ermöglichen. Dabei wird die Dunkelstrom- und Shadingkorrektur auf Makropixelebene durchgeführt, d.h. für jedes Makropixel wird der Dunkelwert eingelesen, und es erfolgt auch die Ermittlung der relativen Empfindlichkeit jedes Makropixels für die benutzte CCD-Kamera.

Die Darstellung der Ergebnisse ist in einer Graustufendarstellung möglich, welche sofort einen Überblick über die Leuchtdichteverteilung im gesamten Bild erlaubt. Dabei sind die untere und obere Grenze, sowie die Anzahl

der Graustufen einstellbar. Ein Beispiel dafür ist in Abb. 1 zu sehen.

Für genauere Aussagen ist es möglich, einen rechteckigen Bildbereich auszuwählen, für den dann die minimale, maximale und mittlere Leuchtdichte angezeigt wird. Ebenso ist die Darstellung eines Leuchtdichteprofiles entlang einer beliebigen Linie im Bild implementiert (Abbildung 1 links unten).

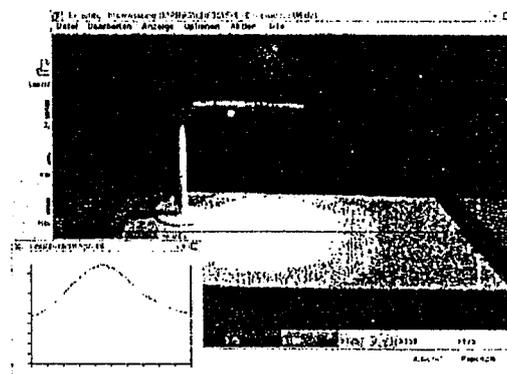


Abbildung 1: Leuchtdichteverteilung als Graustufendarstellung und Leuchtdichteprofil

Literatur

- [1] E. Stefanov: *V(λ)-Anpassung eines bildauflösenden Lichtempfängers*, Dissertation TU Ilmenau 1995

Zur Problematik einer Glasabdeckung bei Leuchtstofflampen-Leuchten

Philipp Schaeffer
Universität Karlsruhe, Lichttechnisches Institut

ZUSAMMENFASSUNG

Häufig werden Innenleuchten mit einem Schutzglas abgedeckt, wodurch der Betriebswirkungsgrad unter Umständen erheblich verringert werden kann. Es werden die Zusammenhänge zwischen Lampentemperatur und Lichtstromverlust sowie Möglichkeiten zur Reduzierung dieses Effektes untersucht.

1. Aufgabenstellung

Der Lampenlichtstrom von Leuchtstofflampen ist von der Umgebungstemperatur abhängig. Die optimale Umgebungstemperatur beträgt normalerweise etwa 25 °C, diese wird jedoch im allgemeinen im Inneren einer Leuchte nur sehr unwahrscheinlich erreicht. Ideal wäre es daher, die Temperatur im Inneren der Leuchte so nahe wie möglich an die 25 °C heranzubringen. Staubschutzabdeckungen aus Glas oder Kunststoff wirken diesem Ziel jedoch entgegen. Wie groß der Lichtstromverlust durch eine Glasabdeckung sein kann, wird in dieser Untersuchung gezeigt.

Exemplarisch für Leuchten mit einer transparenten Abdeckung wurde eine direkt/indirekt leuchtende Stehleuchte verwendet. Die Abdeckung besteht aus optisch klarem Kunststoff. Die Leuchte ist mit 2 x 2 Kompaktleuchtstofflampen mit je zwei elektronischen Vorschaltgeräten bestückt. Ihr schematischer Aufbau ist in Bild 1 zu sehen.

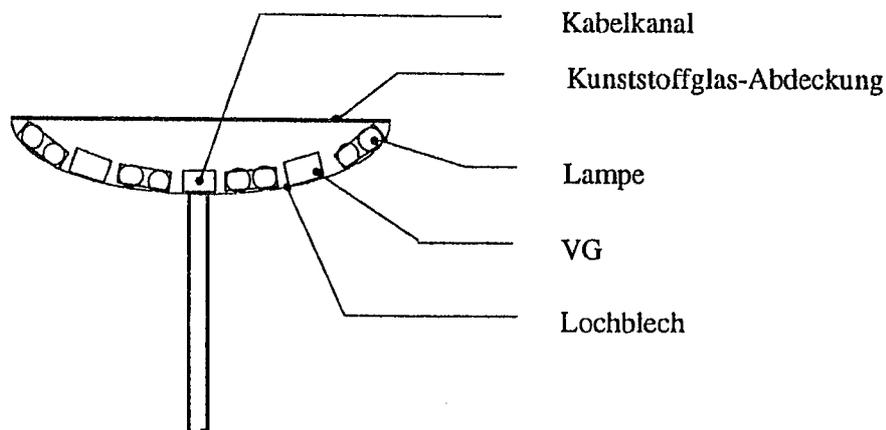


Bild 1:

Schematischer Aufbau der untersuchten Leuchte. Die direkt/indirekt Leuchte war mit 4 Kompaktleuchtstofflampen Dulux L55W/21 und elektronischen Vorschaltgeräten bestückt.

2. Experimentelle Untersuchung

Zur Untersuchung der Frage, ob und wie sich eine Glasabdeckung auf die lichttechnischen Daten einer Leuchte auswirkt, wurde der Leuchtenbetriebswirkungsgrad mit und ohne Kunststoffglasabdeckung mit dem Drehspiegel-Goniophotometer gemessen. Dabei wurde die Rohrwandtemperatur, die Temperatur eines Vorschaltgerätes, sowie auch die elektrischen Betriebsdaten der Leuchte wie Systemleistung und Versorgungsspannung ermittelt. Bild 2 zeigt die Positionierung der Sensoren in der Leuchte. Die Raumtemperatur lag während der Messung im Bereich von 23 °C bis 25 °C.

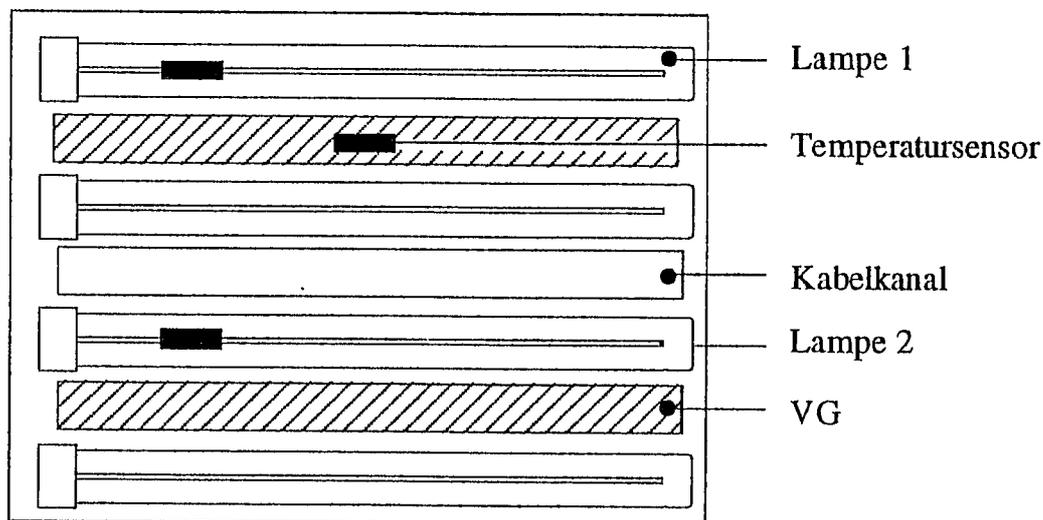


Bild 2:

Innerer Aufbau der untersuchten Leuchte. Schwarz markiert sind die Meßstellen für die Lampentemperatur und die Temperatur des Vorschaltgerätes.

3. Ergebnisse

Die Tabelle 1 zeigt zusammenfassend die Meßwerte mit und ohne Kunststoffglasabdeckung. Für die Leuchte mit Kunststoffglasabdeckung ergab sich die in Bild 3 dargestellte Lichtstärkeverteilungskurve.

	elektrische Leistung P [W]	Temperatur des Vorschaltgerätes T [°C]	Rohrwandtemperatur T [°C]		Leuchten-Lichtstrom Φ [lm]	Leuchtenbetriebs-wirkungsgrad [%]
			Lampe 1	Lampe 2		
mit Kunststoffglas-abdeckung	238	81	109	111	9410	45
ohne Kunststoffglas-abdeckung	251	53	76	79	13620	65

Tabelle 1:

Lichttechnische und elektrische Meßwerte der Leuchte mit und ohne Kunststoffglasabdeckung

Die Kunststoffglasabdeckung auf der Leuchte bewirkt offensichtlich, wie die Tabelle 1 zeigt, ein deutlich höheres Temperaturniveau in der Leuchte. Der damit verbundene niedrigere Leuchtenlichtstrom bedeutet somit einen schlechteren Betriebswirkungsgrad.

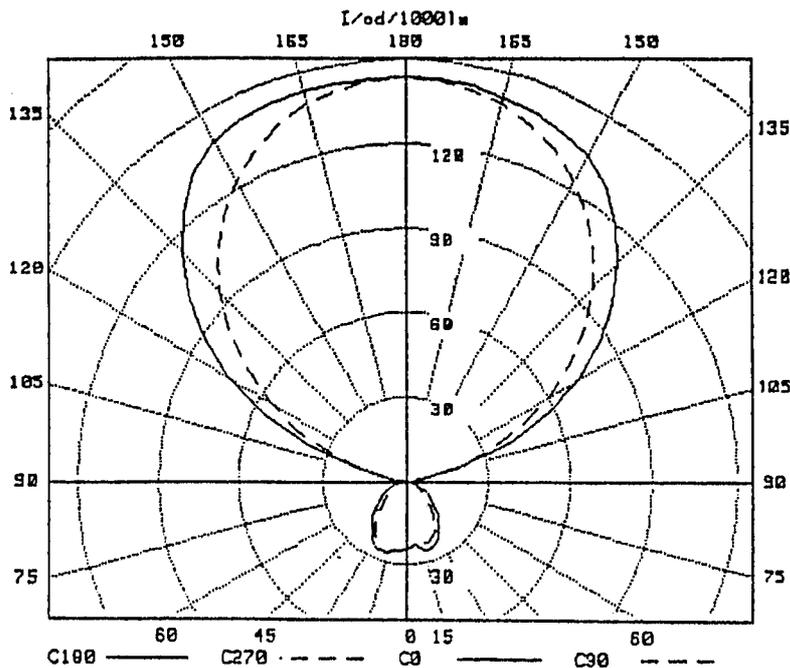


Bild 3:
Lichtstärkeverteilung der Leuchte mit Kunststoffglasabdeckung. Diese LVK gilt ihrer Form nach auch für die Leuchte ohne Abdeckung.

4. Diskussion

Das Ergebnis ist sehr deutlich. Die Abdeckung der mit Leuchtstofflampen bestückten Leuchte durch eine Glasscheibe bewirkt einen um etwa 20 Prozentpunkte niedrigeren Leuchtenbetriebswirkungsgrad. Diese lässt sich nur zu einem geringen Teil durch die Lichtschwächung der Glasplatte erklären, deren Transmissionsgrad zu etwa 94 % ermittelt wurde. Würde diese Lichtschwächung allein verantwortlich sein, dann müsste der Betrag des Betriebswirkungsgrades von 65 % auf 62 % abnehmen. Tatsächlich wurde aber ein Betriebswirkungsgrad von 45 % gemessen.

Offensichtlich hängt also der beträchtliche Lichtstromverlust bzw. die Reduzierung des Betriebswirkungsgrades mit dem höheren Temperaturniveau der Lampen zusammen. Die Rohrwandtemperatur der Lampen stieg für den Fall mit aufgesetzter Glasabdeckung um ca. 30 °C auf etwa 110 °C gegenüber der Temperatur von etwa 78 °C bei der Messung ohne Kunststoffglasabdeckung.

Allgemein gesehen wird der Wärmestau und somit auch der Lichtstromverlust um so größer, je mehr Lampen sich in einer Leuchte befinden. Es stellt sich dann die Frage, ob in diesen Fällen nicht besondere Maßnahmen zur besseren Entlüftung getroffen werden sollten. Andererseits dient die Glasabdeckung zum Schutz vor Schmutz und Insekten. Mit diesem Dilemma wird deutlich, wie komplex die Konstruktion von Leuchten sein kann und es bleibt im Einzelfall zu prüfen, welche konstruktiven Maßnahmen sinnvoll sind.

The impairments of the control gears in the installations of roadway lighting.

Kędziora Waclaw
Różycka Małgorzata

The most frequent light sources used in street lighting are high pressure mercury and sodium lamps. In order to ensure correct operation of a lamp, it is necessary to provide stabilizing - starting devices. For discharge lamp stabilization, it is inductive ballasts - chokes that are still most commonly used. Due to the function the chokes perform and the way they are mounted in luminaires, their burning life should be at least equal to the burning life of a luminaire. The failure statistics of lamps installed in the area of Poznań has shown that this condition is not fulfilled. 600 damaged chokes out of 25.000 mercury lamps are replaced every year.

In order to establish the kind of choke service damages, the following measurements have been taken:

- a) check of the resistance and electric strength of insulation
- b) measurement of choke impedance and winding resistance
- c) check of non-load voltage
- d) check of lighting-up current
- e) check of ballast power loss

On the basis of performed tests it was found that the most frequent defect in chokes was a damage of working insulation and turn-to-turn short-circuits. Working insulation damage does not affect lamp operation, but it exposes staff to danger due to a possible electric shock in case of improper electric shock protection because a voltage applied to a lamp circuit gets transferred to a lamp housing. However, correct lamp operation is influenced strongly by turn-to-turn short-circuits - partial or complete short-circuits of choke windings. Partial ones appear when adjacent turns of winding are short-circuited or when the turns reveal a short-circuit with housing in two or more places. Short-circuited turns cause the passage of current in a short-circuit loop due to an electromotive force induced in them. This current does not pass through the main current path of a lamp, but the magnetic flux generated by it opposes the magnetic flux created by turns remaining outside the short-circuit loop. This causes the choke's impedance and voltage to decrease, producing an increase in the intensity of current passing through the

dr inż. Waclaw Kędziora
mgr inż. Małgorzata Różycka
Politechnika Poznańska
ul. Piotrowo 3a
60-965 Poznań
POLAND

lamp. In consequence of this damage, the lamp burning life is considerably decreased. Complete short-circuit appear when the choke winding is bridged through the housing. A ballast is zero resistance then, and the total voltage in network gets transferred to the lamp, which causes its immediate damage.

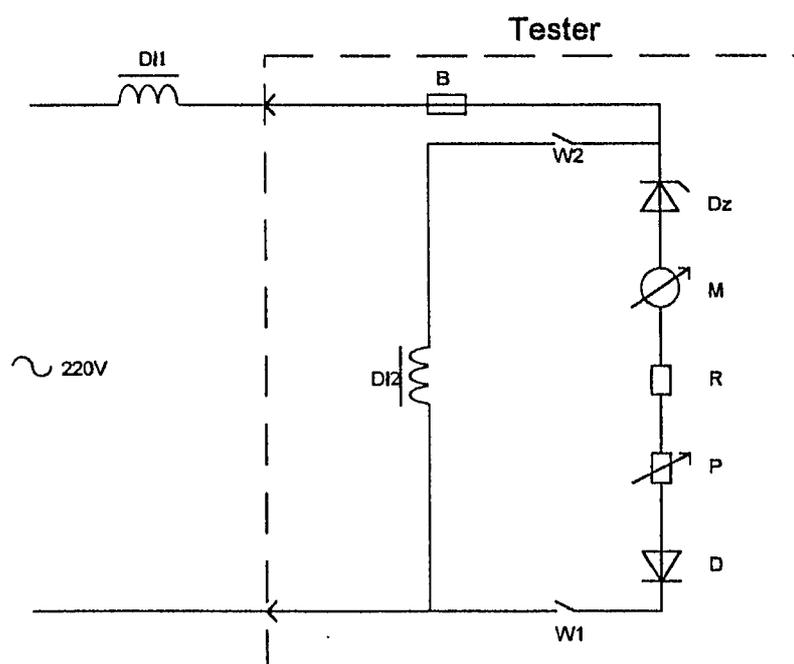
Another defect discovered during ballast examination is a damage of connecting terminals. It consists in a circuit breaking and the rusting, slight tearing or burning of terminals. This defect causes an increase in choke impedance, and thus a bigger voltage drop in ballast. The consequence of the above mentioned defect is a reduction of power and luminous flux, and even the impossibility of starting.

Furthermore, increased active power loss was also observed among the tested chokes. It does not affect lamp operation directly, but in further service the choke parameters would change due to thermal ageing (damage) of insulation.

To sum up, the tests carried out in a random group of ballasts show that the most frequent damages which affect lamp operation are turn-to-turn short-circuit and terminal damages.

Based on the measurements taken, a model of tester was developed for the detection of choke damages. While making the tester diagram, the designer considered the tests which exemplified the most important choke parameters according to the Polish Standards, i.e. the non-load voltage and lighting-up current of a lamp. Apart from that, the designer made sure that the indicator was easy to handle, simple in terms of construction, and handy.

Thus, the tester measurement method consists in checking the non-load voltage by means of an analog meter with an extended range, and determining the deviations of a tested ballast impedance.



The tester is composed of two basic parts:

a) measuring choke - DI2

b) electronic part:

Dz - Zener diode which serves for the broadening of the meter range

M - analog meter for current intensity

R - resistor for the limitation of current passing through the meter range

D - rectifying diode

P - potentiometer for changing the meter range

Equipped with a holder with Edison threads E27 and E40, the tester is placed in a luminaire instead of a lamp. The measurement of non-load voltage is taken when the switch W2 is open and the switch W1 is closed, whereas the DI1 choke impedance is measured with both the switches closed. The meter front plate carries the diagrams of allowable changes in non-load voltage and impedance. Thus, the tested choke parameters can be assessed easily and quickly. The tester was checked on a group of ballasts and its indications were corresponding with the damages which had already been recognized earlier.

2. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuchs

22. bis 24.9.1995 Freizeitzentrum Dörmfeld/Ilm

THE NOISE OF HIGH FREQUENCY ELECTRONIC BALLASTS

*) Caracaş Mircea-Gheorghe, *) Costea-Marcu Ioan, *) Sârbu Mircea-Alexandru, **) Constantinescu Adrian-Daniel,¹

1. Characteristics of measuring equipment

Sonometers, apparatus dedicated to sound measurement, have a frequency characteristic specified for the acoustic field frequencies below 20 kHz.

Sonometers are not properly fitted for the precise evaluation of the audible noise from the noise spectrum of ultrasound (US) equipments, like US machine tools, US medical equipments, or just high-frequency ballasts for fluorescent lamps.

In order to estimate the participation of audible noise emitted by US equipments, the measuring chain have to contain, besides a sonometer, an A-weighted filter and a low pass - band filter, with an important slope over 10,000 Hz.

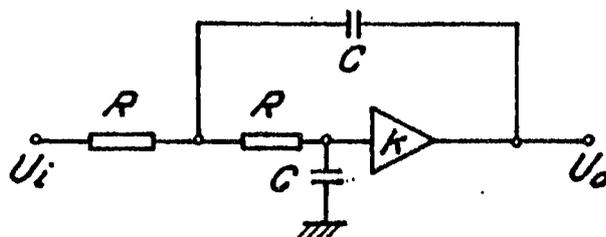


Figure 1.

Having in mind the characteristics of the filter specified in IEC 1012 [1], the design established the amplifying as a relation of k , R , C , and s :

$$\frac{U_0}{U_1} = \frac{\frac{k}{R^2 \times C^2}}{s^2 + s \frac{3-k}{R \times C} + \frac{1}{R^2 \times C^2}} \quad (1)$$

¹*) ICPE-ME, 79623 Bucharest,

***) ICPE, 74204 Bucharest.

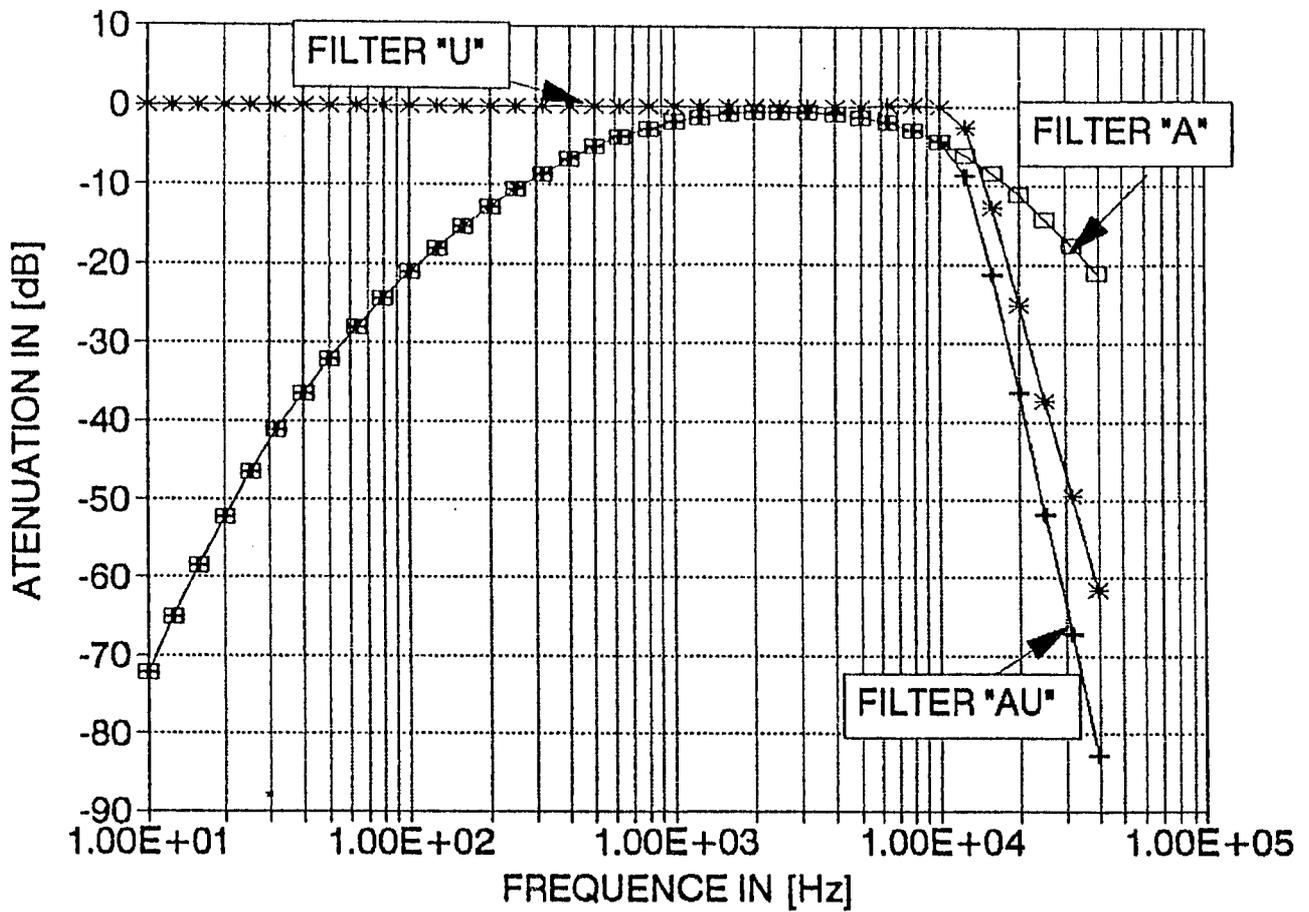


Figure 2

- where they were noted with:

$s = 1 + j \omega$; the circular frequency being $\omega = 2 \times \pi \times f$;

k is the amplifying;

R and C , are the values for the resistor, respectively the capacitance of the condenser from figure 1.

Figure 2 presents the "U", and "AU" filters computed characteristics.

Experimental tests of the filters proved a very good correspondence between built filters characteristics and their theoretically curves presented in figure 2.

2. Experimental measurement of ballasts noise levels

The up-to-date electronic ballasts for fluorescent lamps have an electronic scheme which is working on frequencies between 30 to 40 kHz. In such a way they ensure a fast start and they are avoiding the flickering by the switch on of the lamps, offering them a higher quality.

Table 1 presents, for the case of three ballasts "U" and "AU", weighted noise levels. The levels were obtained by means of a 2203 Brüel & Kjaer sonometer, which was connected to the filter presented before.

Table 1

FIRM	Tungsrarn 20 W	Romlux (2 x 6 W)	Baneasa S.A. 20 W
ELECTRONIC BALLAST	Electronic EG	Electronic	SIBE-1
WORKING FREQUENCY	37 kHz	41 kHz	33 kHz
"U" NOISE LEVEL	60 [dB (U)]	61 [dB (U)]	60 [dB (U)]
"AU" NOISE LEVEL	29 [dB (AU)]	31 [dB (AU)]	36 [dB (AU)]

It will be seen that the levels obtained for "AU" weighting are under the maximal levels of 35 dB (A), established by [3].

In studied cases the differences between "A", and "AU" data are between 34 to 30 dB.

3. Conclusions

1. The noise level of electronic ballasts must be compared with limits specified in [3]. The analysis shows that two of them are good and the third one is not good.

2. The audible noise emitted by ballasts for fluorescent lamps is important for people working at places with artificial light and represents a component of environment noise pollution.

BIBLIOGRAPHY

- [1] * * * IEC 1012/1990, Filters for the measurement of audible sound in the presence of ultrasound.
- [2] Bulucea C. Linear integrated circuits, Technical Publishing House, Bucharest, 1984.
Vais, I.
- [3] * * * STAS 12541-1987: Ballasts for fluorescent lamps Quality characteristics, Bucharest, 1987

Vergleich der Berechnungsergebnisse verschiedener Beleuchtungsplanungsprogramme mit den tatsächlich gemessenen Werten in Versuchsräumen

Hesse, Jörg
Müller, Thomas
Stolzenberg, Klaus

1 Einleitung

In zwei Räumen mit jeweils drei Beleuchtungsanlagen wurde die Beleuchtungsstärkeverteilung auf der Nutzebene und auf zwei Wänden gemessen. Diese Meßwerte werden in folgender Untersuchung mit von Beleuchtungsplanungsprogrammen berechneten Ergebnissen verglichen.

2 Versuchsdesign

2.1 Räume

Abmessungen:

	x [m]	y [m]	z [m]	Nutzebene
Büro	4.06	3.68	2.68	0.85
Flur	8.17	1.80	2.68	0.20

Der Abstand der Meßpunkte betrug etwa 40 cm. Daraus ergab sich folgende Anzahl an Mess- bzw. Berechnungspunkten in Richtung der Koordinatenachsen für die jeweiligen Flächen:

Die Raumbegrenzungsflächen hatten unbunte Farben mit folgenden Reflexionsgraden:

	ρ_{diffus}
Decke	0.85
Wand	0.52
Stofftrennwand	0.50
Boden	0.20

in Richtung:		x	y	z
Büro	Nutzebene	10	9	-
	WEST	-	9	7
	SÜD	10	-	7
Flur	Nutzebene	20	5	-
	WEST	-	5	7
	NORD	21	-	7

2.2 Beleuchtungsanlagen

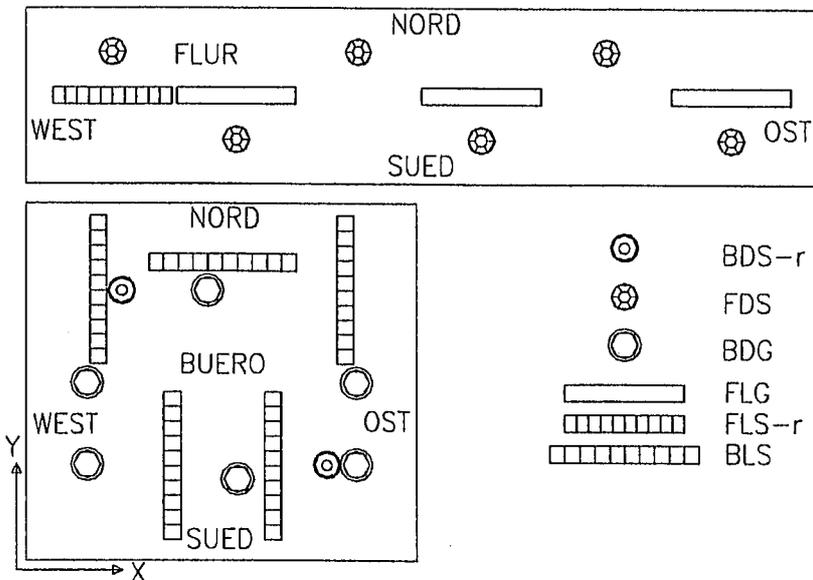
Art und Bezeichnung:

	Anlage	Raum	Leuchte	Lichtaustritt	Leuchtenanzahl	Lampen
1	BDG	Büro	Downlight	FloatGlas	6	2x TC-D 26W nw
2	BDS-r	Büro	Downlight	Spiegelreflektor	6 "reduziert" 2	2x TC-D 26W nw
3	BLS	Büro	Langfeld	Spiegelraster	5	1x T26 58W nw
4	FDS	Flur	Downlight	RadialSpiegelraster	6	2x TC-D 26W nw
5	FLG	Flur	Langfeld	FloatGlas	3	2x T26 36W nw
6	FLS-r	Flur	Langfeld	Spiegelraster	3 "reduziert" 1	2x T26 36W nw

Bei den "reduzierten" Beleuchtungsanlagen wurden einige Leuchten abgeschaltet, um eine möglichst ungleichmäßige Beleuchtungsstärkeverteilung zu erzielen. Die folgende Grafik zeigt die Positionen der Leuchten in den beiden Räumen.

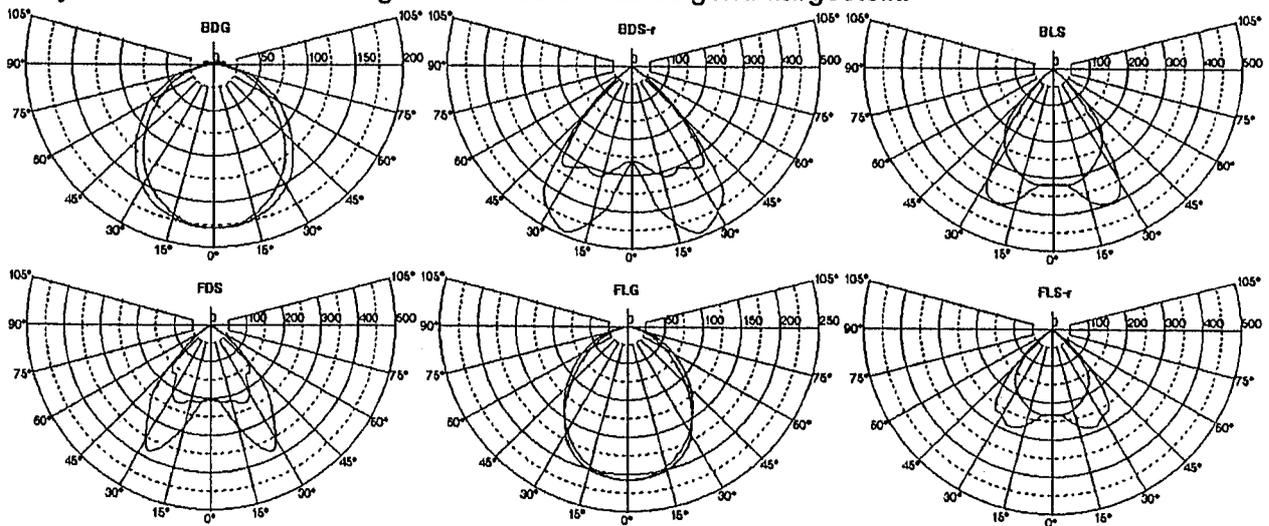
cand.-Ing. Jörg Hesse
Dipl.-Ing. Thomas Müller
Prof. Dr.-Ing. Klaus Stolzenberg

Technische Universität Berlin
Institut für Lichttechnik
Einsteinufer 19
10587 Berlin



2.3 Leuchten

Alle Leuchten wurden am Institut photometrisch vermessen. Die LVKs wurden zu den Achsen C_0/C_{180} und C_{90}/C_{270} symmetriert. Für jede Leuchtenart sind die C_0/C_{180} - sowie die C_{90}/C_{270} -Ebene der symmetrierten LVKs bezogen auf 1000 lm nachfolgend dargestellt.



3 Ergebnisse

3.1 Vergleich von Leuchtenanzahlen vorgeschlagen nach dem Wirkungsgradverfahren

Für die Eingabe von Leuchten (-feldern) stellen die Programme eine Abschätzung der Leuchtenanzahl nach dem Wirkungsgradverfahren zur Verfügung. Sie wurden den Ergebnissen gegenübergestellt, welche mit Hilfe eines Programmes des IfLI zur Erstellung von "LITG"-Raumwirkungsgradtabellen errechnet wurden.

\bar{E}_4		Progr. 1	Progr. 2	Progr. 3	Progr. 4	Progr. 5	Progr. 6	LITG							
500lx 0.85m	BDG	7.9	8	7.6	8	7.6	8	5.6	6	7.5	8	-	9	7.6	8
	BDS_r	5.6	6	5.8	6	5.7	6	4.8	5	5.9	6	-	6	5.7	6
	BLS	3.4	4	3.6	4	3.5	4	2.3	3	3.5	4	-	4	3.6	4
300lx 0.20m	FDS	5.7	6	6.0	6	5.6	6	4.0	4	5.9	6	-	6	5.8	6
	FLG	2.9	3	2.9	3	2.7	3	1.8	2	2.8	3	-	3	2.9	3
	FLS_r	2.5	3	2.4	3	2.4	3	1.5	2	2.4	3	-	3	2.4	3

Die aufgrund des Wirkungsgradverfahrens von den verschiedenen Programmen vorgeschlagenen Leuchtenzahlen stimmen, mit Ausnahme von Progr. 4, miteinander überein. Um eine regelmäßige Anordnung (3x3) zu erreichen, schlägt Progr. 6 bei **BDG** eine größere Leuchtenanzahl vor.

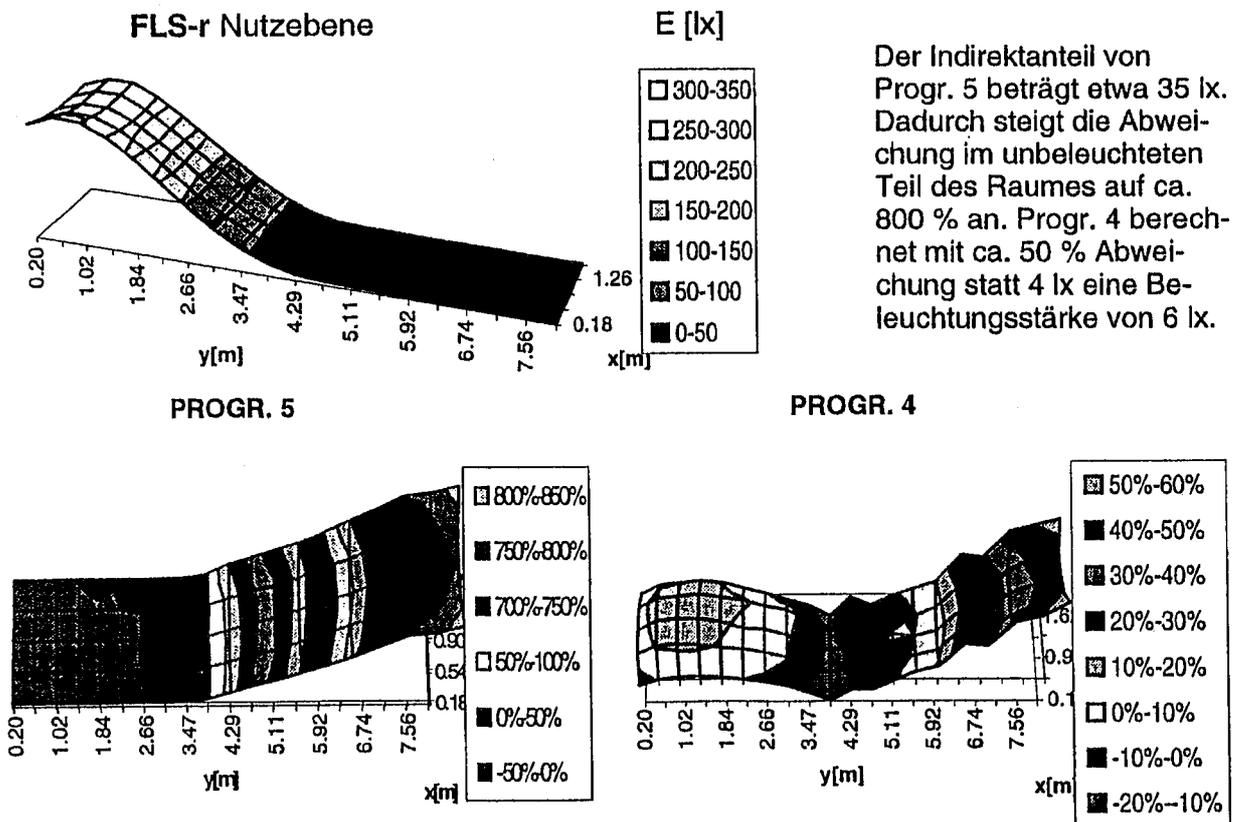
3.2 Vergleich mittlerer Beleuchtungsstärken in der Nutzebene

MESSUNG	PROGR. 1			PROGR. 2			PROGR. 3			PROGR. 4			PROGR. 5			PROGR. 6			
	E_m [lx]	E_m [lx]	Diff[lx]	E_m [lx]	Diff[lx]														
BDG	426	581	155	37%	408	-17	-4%	372	-54	-13%	433	7	2%	456	30	7%	374	-52	-12%
BDS-r	199	194	-5	-2%	181	-17	-9%	177	-22	-11%	178	-21	-11%	182	-17	-9%	175	-23	-12%
BLS	675	796	121	18%	746	70	10%	746	71	11%	709	34	5%	743	67	10%	690	15	2%
FDS	319	304	-15	-5%	307	-13	-4%	300	-19	-6%	307	-12	-4%	302	-18	-5%	295	-25	-8%
FLG	273	319	47	17%	325	52	19%	315	42	16%	319	46	17%	334	61	22%	306	33	12%
FLS-r	97	108	12	12%	109	12	13%	106	9	10%	103	7	7%	108	11	11%	106	9	10%
mittl. Abweichung:			15%	10%	11%	7%	11%	9%											

Alle Programme haben die Beleuchtungsstärke bei **BLS**, **FLG** und **FLS-r** überschätzt **BDS-r** und **FDS** hingegen unterschätzt. Über alle Programme und Anlagen war die Abweichung von der Messung bei fünfzehn Ergebnissen <10 %, bei siebzehn <20 % und bei zweien >20 %.

3.3 Beleuchtungsstärkeverteilungen

Alle Beleuchtungsstärkeverteilungen wurden punktweise mit Meßwerten verglichen. Als Beispiel dient die gemessene Verteilung auf der Nutzebene von **FLS-r**. Aus den prozentualen Abweichungen der Berechnungen zweier Programme ist gut zu erkennen, wie der Indirektanteil der Beleuchtungsstärke unterschiedlich bestimmt wird.



3.4 Vergleich von Berechnungen mit symmetrierten bzw. unsymmetrierten LVKs

Die Verwendung von unsymmetrierten, individuellen LVKs für die Leuchten führte zu keinen geringeren Abweichungen der Berechnungen von den Meßwerten.

4 Literatur Das Literaturverzeichnis ist beim Verfasser erhältlich.

Charakterisierung der Mikrotopografie von Oberflächen mittels Streulicht

Truckenbrodt, Horst

1. Charakterisierung der Mikrotopografie

Die Mikrotopografie ist ein Gebirge in dreidimensionaler Ausdehnung. Sie wird in einem Bereich betrachtet, der klein gegenüber der gesamten Ausdehnung der Fläche ist.

Bei der Erfassung der Mikrotopografie sind drei wesentliche Probleme zu beachten:

- Die Mikrotopografie ist eine zweidimensionale örtliche Abhängigkeit der Höhenverteilung.
- Die Mikrotopografie als ein zweidimensionales Höhegebirge ist im allgemeinen ein kompliziertes Gebilde mit verschiedenen Strukturelementen, deren Ausbildung vom Material, der Bearbeitung und der weiteren Behandlung der Oberfläche abhängig ist.
- Die Mikrotopografie ändert sich meistens in Abhängigkeit vom Ort über die gesamte Oberfläche. Es ist zu beachten, daß eine Messung zur Mikrotopografie jeweils nur einen relativ kleinen Ausschnitt der gesamten Oberfläche erfaßt.

Ein Profilschnitt kann Informationen enthalten, die für die Beschreibung der gesamten Mikrotopografie der Oberfläche nicht ausreichen. Die Auswirkungen dieses Informationsverlustes hängen im wesentlichen einerseits von der Größe der örtlichen Variation der Merkmale und andererseits von der Funktion der jeweiligen Oberfläche ab.

Deshalb haben sich in den letzten Jahren zunehmend mehr Meßgeräte durchgesetzt, die die Mikrotopografie in einem zweidimensionalen Feld erfassen.

Bei der örtlichen Abhängigkeit ist die Variation im Kleinen und Großen zu beachten. Das bedeutet, daß signifikante räumliche Änderungen innerhalb des jeweilig betrachteten Flächenelementes und auch solche von Flächenelement zu Flächenelement im gesamten Gebiet der zu betrachtenden Oberfläche zu beachten sind.

Der Begriff Mikrotopografie impliziert die Tatsache, daß reguläre, höherfrequente Strukturen von Einzelstrukturen unterbrochen sein können. Diese lokale Abweichung, die groß gegenüber den Profileinzelheiten seiner Umgebung ist, wird als Defekt bezeichnet.

In ¹ werden in dem Begriff "Rauheit" Defekte subsummiert. Als Defekte werden folgende Arten unterschieden:

- Kratzer und Punkdefekte, Poliermarken(-spuren) und Mikroirregularitäten, Marken bei spanender Bearbeitung und Gitterfurchen, Staubpartikel und vereinzelt andere Partikel.

Im Bearbeitungsprozeß können Oberflächenstrukturen entstehen, die global als Defektstrukturen anzusehen sind. So können nicht auspolierte Glasoberflächen z.B. Kratzer-, Punkt- und andere Defekte mit hoher Dichte besitzen, so daß diese nicht als Einzeldefekte gekennzeichnet werden können.

Bezüglich der Klassifizierung von Oberflächendefekten wird auf die DIN 4761² verwiesen. Es sei vermerkt, daß diese DIN keine umfassende Klassifizierung enthalten kann. Wie aus der obigen Aufzählung hervorgeht, werden in ¹ Verunreinigungen den Defekten zugeordnet. Bei Rauheitsmessungen ist die Sauberkeit der Oberfläche ein besonderes Problem. Insbesondere bei der Anwendung von Streulichtverfahren, aber nicht nur bei diesen, wird das Meßergebnis durch Kontaminationen und andere Partikel auf der Oberfläche beeinflußt.

2. Zusammenhang zwischen der Mikrotopografie der Oberfläche und der Streuung des Lichtes

Oberflächen streuen das Licht und werden dadurch für uns sichtbar. Die Streuung des Lichtes an Oberflächen kann in einfacher Weise durch die Beugung an Sinusgittern erklärt werden (siehe z.B. Church et al.³). Man erhält auf diese Weise einen einfachen Zusammenhang zwischen dem Streuwinkel und der Gitterkonstanten und zwischen der Beugungsintensität in der entsprechenden Richtung und der Amplitude des Gitters, d.h., in einem Nahwinkel-Streubereich nahe der einfallenden Intensität sind der Streuwinkel bzw. die Differenz zwischen dem Streuwinkel und dem Einfallswinkel umgekehrt proportional der Raumwellenlänge des Gitters und die Intensität in dieser Richtung proportional dem Amplitudenquadrat.

Das neueste Werk, mit einem umfassenden Überblick über die Anwendung der Streuung in der Optik, ist das von Stover¹ im Jahre 1990 erschienene Buch, in dem ein sehr umfassender Überblick zur Anwendung der Streuung in der Optik gegeben wird.

In Church, et al.³ wird der Zusammenhang zwischen der Mikrotopografie und der Oberflächenstreuung unter Nutzung von statistischen Funktionen und aus ihnen abgeleiteten spektralen Momenten angegeben. Im Falle der optischen Oberflächen kann man von glatten Oberflächen sprechen, d.h., daß die vertikale Rauheit sehr viel kleiner als die Wellenlänge des Lichtes ist. In diesem Falle ist die Lichtstreuung nur von den 2. statistischen Verbundmomenten der Oberfläche abhängig. Für das reflektierte Streulicht, gekennzeichnet durch die *BRDF* (*bidirectional reflection distribution function*) und der *PSD* (*power spectral density*) der Oberfläche ergibt der 1. Term der Vektorstörungstheorie den folgenden Zusammenhang:

$$BRDF = \frac{1}{I_i} \left(\frac{dI_s(\Theta_s, \Phi_s)}{d\Omega_s \cdot \cos\Theta_s} \right) = 4k^2 \cos\Theta_i \cdot \cos\Theta_s \cdot S(p, q) \cdot Q, \quad (1)$$

mit: I_i die einfallende Intensität, $\frac{dI_s}{d\Omega_s}$ die in das Raumwinkelelement $d\Omega_s$ emittierte Streuintensität (siehe Bild 1).

Weiterhin sind: $k^4 = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^4$ der *Rayleigh'sche "Blue-sky"-Faktor*, λ die Wellenlänge des Lichtes, Q der optische Faktor. Die Raum-Wellenzahlen der *PSD* sind gegeben durch:

$$p = k(\sin\Theta_s \cdot \cos\Phi_s - \sin\Theta_i), \quad q = k(\sin\Theta_s \cdot \sin\Phi_s). \quad (2)$$

Der physikalisch-optische Faktor Q ist von den Werkstoffeigenschaften und der Polarisation des Lichtes abhängig.

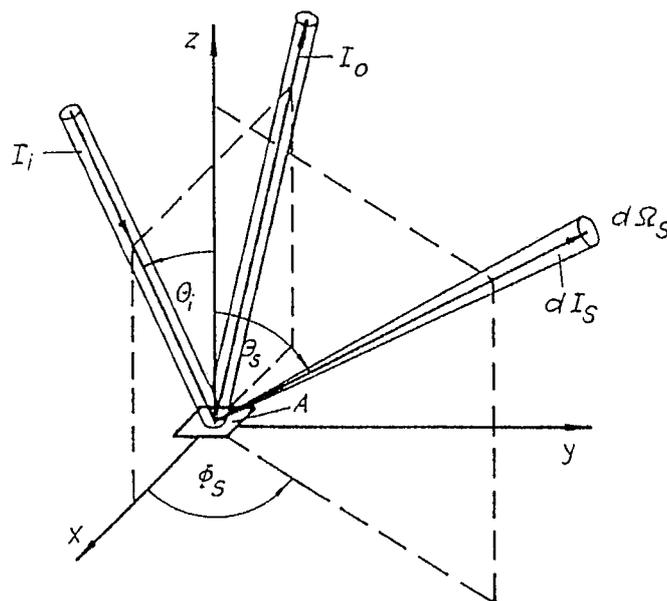


Bild 1: Streugeometrie

Die Autokorrelationsfunktion $A(\kappa, \tau)$ ist

$$A(\kappa, \tau) = \lim_{l_1, l_2 \rightarrow \infty} \frac{1}{l_1 l_2} \int_{-l_1/2}^{l_1/2} \int_{-l_2/2}^{l_2/2} z(x, y) z(x+\kappa, y+\tau) dx dy \quad (3)$$

und die PSD $S(p, q)$ ergibt sich aus der ACF (*autocorrelation function*) durch die Fouriertransformation:

$$S(p, q) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A(\kappa, \tau) \exp(-j(\kappa p + \tau q)) d\kappa d\tau \quad (4)$$

\bar{z} ist der Mittelwert für die zweidimensionale Höhenverteilung $z(x, y)$. Die Koordinaten κ, τ sind die Verschiebungen der Oberfläche in x- und y-Richtung. Aus den Gleichungen (1)-(4) wird ersichtlich, daß aus der Streulichtverteilung $dI_s/d\Omega_s$ auf die Mikrotopografie der Oberfläche geschlossen werden kann. Durch die ACF oder die PSD ist die Mikrotopografie mit statistischen Funktionen beschrieben.

Im Vortrag werden folgende Probleme behandelt:

- Vorteile der Streulichtmethode.
- Erfassung der Mikrotopografie mittels Streulicht in verschiedenen Rauheitsbereichen.
- Detektion von Oberflächendefekten mittels Streulicht.
- Messung des Streulichtes zur Charakterisierung der Streulichtwirkung von Oberflächen bei optisch bzw. lichttechnisch wirkenden Flächen.
- Untersuchung von nichttechnischen Flächen mit Streulicht.
- Geräte zur winkelauflösenden Streulichtmessung.

Literatur

- [1] J.-M. Bennet, L. Mattson, *Induction to Surface Roughness and Scattering*, Optical Society of America, Washington D.C., 1989.
- [2] DIN 4761, "Oberflächencharakter; Geometrische Oberflächentextur-Merkmale; Begriffe, Kurzzeichen.", Dezember 1978.
- [3] E.L. Church, H.A. Jenkonson, J.H. Zavada, *Relationship between Surface Scattering and Microtopographic Features*", Opt. Eng., Vol. 18(2), S. 125 - 136, 1979.
- [4] J.C. Stover, *Optical Scattering, Measurement and Analysis*, McGraw - Hill Inc., New York, 1990.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. H. Truckenbrodt
 Technische Universität Ilmenau
 Fakultät für Maschinenbau
 Institut für Lichttechnik und Technische Optik
 Fachgebiet Technische Optik
 PF 0565
 D-98684 Ilmenau