

Tagungsberichte

Forum
für den
lichttechnischen
Nachwuchs

17.9. - 19.9.1993
Freizeitzentrum
Dörnfeld/Ilm



Impressum

Herausgeber

Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V.
Bezirksgruppe Thüringen - Nordhessen
c/o TU Ilmenau
Pf 327
D-98684 Ilmenau
Tel. 03677 2935
Fax. 03677 69 3132

Tagungsorganisation

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

Vorträge

Lichtmessung 18.8.93 9.00 - 10.20 Uhr

Rosenhahn, E.-O.:		
Entwicklung eines Reflexionsmeßgerätes für streifenden Lichteinfall		7
Dontschew, S.:		
Korrektur des Fehlers beim Spiralgoniometer		10
Wandachowicz, K.; Zwierzchowski, P.:		
Computer Aided Design of Indoor Illumination		12
Hamm, M.:		
CCD-Leuchtdichte-Meßsystem		15

Physiologie 18.9.93 10.50 - 12.00 Uhr

Greiner Mai, U.; Kirsten, C.:		
Neue Blendungsbewertungsmöglichkeiten		18
Hong, S.; Enders, M.; Hartge, J.:		
Neue Untersuchungen auf dem Gebiet der spektralen Hellempfindlichkeit		21
Józwiak, Z.:		
The Investigation of Computer Filters on Visibility Conditions		24

UV- und Strahlungsmessung 18.9.93 13.30 - 14.50 Uhr
UV-Anwendung

Grothmann, K.:		
UV-Globalstrahlungsmessungen mit einem mobilen Spektralradiometer		27
Ziegler, R.:		
Einheitliche Messung strahlungsphysikalischer und lichttechnischer Größen		30
Kanigowski, U.:		
UVC-Strahlungsquellen zur Wasseraufbereitung		33
Wulfert, W.:		
UV-Warmwasserdesinfektion zur Legionellae-Prophylaxe		36

Lichttechnik Studium Diskussionsrunde 18.9.93 13.30 bis 14.50 Uhr

Różycka, M.; Zalesiński, A.:		
The Engineering at the Technical University of Poznań		39

Innen- und Außenbeleuchtung 18.9.93 15.20 - 16.40 Uhr

Kampe, A.:		
Funktionalität im Raum - Erfahrungen einer Lichtplanerin		41
Kelling, U.; Lange, H.-H.:		
Akzeptanz von Arbeitsplatzbeleuchtungen		45
Bergmann, V.:		
Bewertung von Lichtimmissionen		47
Kuma, J.:		
Die Beleuchtung der Sakralbauten		50

Demonstration 18.9.93 17.00 - 18.00 Uhr

- Schuster, P.:
Lichtlenkende Hologramme in Gebäuden 54

Lichterzeugung 19.9.93 9.00 - 10.20 Uhr

- Papasov, A.:
Zündgerät für Natriumdampf-Hochdrucklampen und Metalldampf-
Halogenlampen mit niedriger Leistung 57
- Sarmin, S. E.:
The Problem of Radiation Transfer in Discharge Plasmas for Light
Source Design 60
- Uhrin, P.:
Development of Electrodeless Discharge Lamps 63

Berechnung und Bewertung 19.9.93 10.50 - 12.10 Uhr

- Boehlau-Godau, M.:
Meßtechnische Erfassung und mathematische Beschreibung der
optischen Eigenschaften von Nebel 64
- Hartmann, J.:
Bewertung von Körperfarben mit einem rechnergestützten Farbmeßgerät 67
- Lisitsin, D. V.:
Complicated Light-Scattering Volume Textures Exploration based on
Reflected Light Polarizative Properties Utilization 71
- Funk, T.; Pretsch, W.:
Die Körperwiedergabeeigenschaft von Beleuchtungssystemen 74

Der Druck erfolgte ohne redaktionelle Überarbeitung vom Manuskript des Autors.

Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren!

Das Forum für den lichttechnischen Nachwuchs soll eine neue Form der Verständigung insbesondere zwischen jungen Lichttechnikern sein. Die Präsentation wissenschaftlich-technischer Arbeitsergebnisse auf allen Gebieten der Lichttechnik wird der Veranstaltung Lux jun. 93 eine besondere Prägung verleihen. Die Internationalität des Forums wird diesen Effekt noch verstärken.

Bei der Vorbereitung der Tagung waren folgende Überlegungen richtungsweisend:

- Die Veranstaltung ist jugendgemäß vorzubereiten und soll europaweit Interessenten finden.
- Ein besonderer Schwerpunkt soll die Ermöglichung der Teilnahme von Jugendlichen aus Osteuropa sein.
- Die Kosten der Tagung sollen sowohl für die Veranstalter, als auch für die Teilnehmer so niedrig wie möglich gehalten werden.
- Jeder, der es wünscht soll zu Wort kommen. Es findet keine Auswahl der Vorträge statt.
- Es soll Möglichkeiten geben, neuartige Formen der Informationsdarstellung zu nutzen.
- Ein Schulungsprogramm, durchgeführt von renommierten Fachleuten, Diskussionen, Gesprächsmöglichkeiten vielfältiger Art und geselliges Beisammensein sind anzubieten.

Diese Prämissen ermöglichten den Veranstaltern, die Bezirksgruppe Thüringen-Nordhessen der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft und das Fachgebiet Lichttechnik der Technischen Universität Ilmenau, den schwierigen Weg der Vorbereitung dieser Veranstaltung.

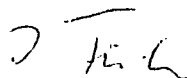
An dieser Stelle ist hervorzuheben, daß die Vorbereitungen finanziell durch die Deutsche Lichttechnische Gesellschaft, das Thüringer Ministerium für Bundes- und Europaangelegenheiten, die Elektrizitäts-Aktiengesellschaft Mitteldeutschland, die Energieversorgung Nordthüringen Aktiengesellschaft sowie den Förderverein des Fachgebietes Lichttechnik

der TU Ilmenau unterstützt wurden. Die Fördergemeinschaft Gutes Licht stellte Prospekte und Materialien zur Verfügung. Die Technische Universität Ilmenau, besonders das akademische Auslandsamt wirkten hilfreich bei den Tagungsvorbereitungen mit.

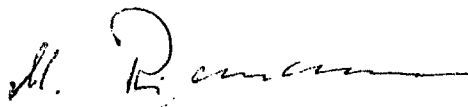
Das Organisationskomitee spricht allen einen herzlichen Dank aus und wünscht der Tagung Lux jun. 93 einen vollen Erfolg.



Prof. Dr.-Ing. habil. D. Gall
Leiter Weiterbildung der
BG Thüringen-Nordhessen
der Deutschen Lichttechnischen
Gesellschaft



Dr.-Ing. J. Fisch
Vorsitzender der
BG Thüringen-Nordhessen der
Deutschen Lichttechnischen
Gesellschaft



Prof. Dr.-Ing. habil. M. Riemann
Leiter des Fachgebietes Lichttechnik
der TU Ilmenau

Entwicklung eines Reflexionsmeßgerätes für streifenden Lichteinfall

Einsatzgebiet: Fahrbahnoberflächen und Fahrbahnmarkierungen

Rosenhahn, Ernst - Olaf

1 Einleitung und Motivation

Die Sicherheit im nächtlichen Straßenverkehr hängt entscheidend von der Beleuchtung des Verkehrsraumes vor dem Fahrzeug ab. Das Erkennen und Wahrnehmen von Hindernissen wird durch den Leuchtdichte-Unterschied zwischen Objekt und Fahrbahn möglich. Durch die Fahrbahnmarkierung erhält der Kraftfahrer Informationen über den weiteren Verlauf der Straße. Für die Qualität dieser optischen Führung ist der Kontrast zwischen Markierung und Fahrbahnoberfläche maßgebend. Ohne stationäre Beleuchtung wird das Leuchtdichte-Niveau und die Leuchtdichte-Verteilung von der Lichtstärke-Verteilung und den Reflexionseigenschaften der Fahrbahnoberfläche und der Markierung bestimmt. Dies wird beeinflusst durch zahlreiche Faktoren, wie z.B. Struktur, Farbe oder Feuchtigkeitsgrad der Oberfläche. Durch eine gezielte Beeinflussung dieser Variablen läßt sich eine Verbesserung der Leuchtdichte-Verteilung vor dem Kraftfahrzeug erreichen. Um die Einflüsse der einzelnen Parameter zu untersuchen, muß man das Reflexionsverhalten der Fahrbahnoberfläche und der Markierung für alle in der Kfz-Geometrie auftretenden Anleuchtungs- und Beobachtungswinkel messen können.

2 Anforderungen

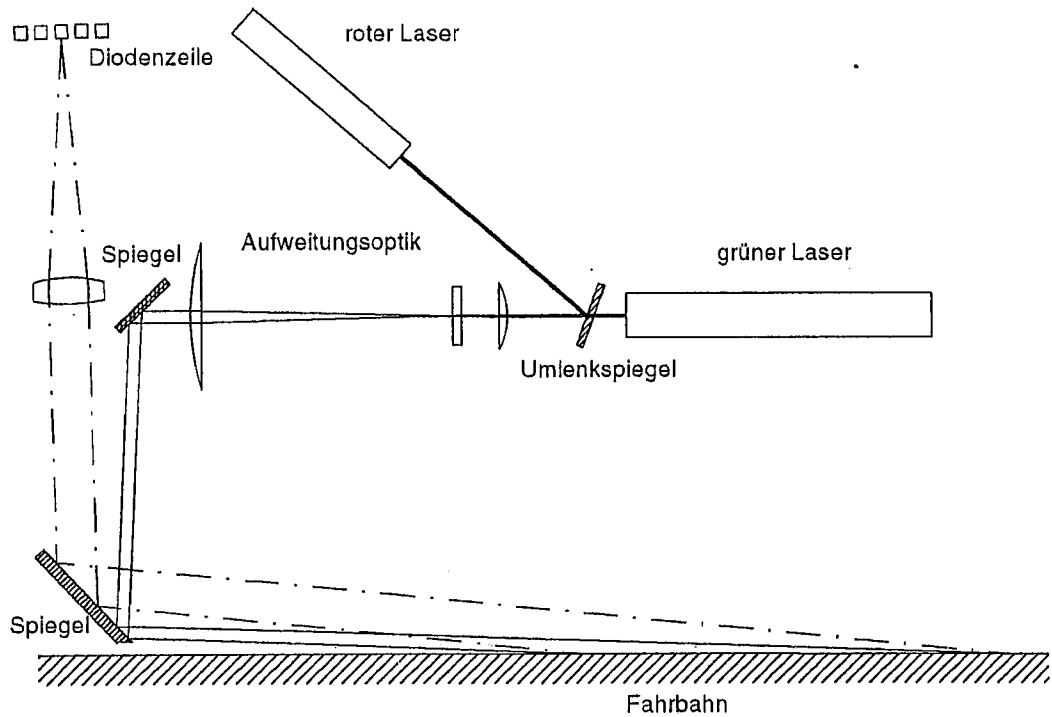
Das Reflexionsverhalten der Fahrbahnoberfläche muß genau unter den Winkeln gemessen werden, die auch in der realen Verkehrssituation auftreten, denn die Lichtstärke-Verteilung bei der Reflexion an einer rauhen Fahrbahnoberfläche weist eine starke Winkelabhängigkeit auf. Dabei ist die spiegelnde Vorwärtsreflexion um ein Vielfaches größer als die Rückreflexion in Richtung des Kraftfahrers. Dieser Unterschied tritt bei nassen Fahrbahnen noch stärker auf. Bei Fahrbahnmarkierungen, die retro-reflektierend sind, besteht auch in Rückwärtsrichtung eine starke Abhängigkeit vom Beobachtungswinkel.

Aus den Labormessungen ergab sich folgendes Anforderungsprofil an das Meßgerät:

- Beobachtungswinkel einstellbar: $2,02^\circ \geq \alpha \geq 0,64^\circ$
- Anleuchtungswinkel einstellbar: $1,20^\circ \geq \beta \geq 0,36^\circ$
- Einhaltung der Aperturwinkel der realen Verkehrssituation
- Meßfläche: $> 100 \text{ cm}^2$
- transportabel auf Pkw-Rückbank
- Betrieb bei Tageslicht im Straßenverkehr
- geeignet zur Messung trockener und feuchter Oberflächen
- Gesamtfehler $< 10 \%$
- Energieversorgung: 12 V-Bordnetz des Versuchsfahrzeugs

3 Aufbau des Meßgerätes

Im folgenden Bild ist eine Prinzipskizze zu sehen, die den Aufbau des Meßgerätes zeigt. Die einzelnen Teile des Gerätes werden im Folgenden erläutert.



Der Aufbau des Meßgerätes läßt sich in drei Baugruppen gliedern:

- Anleuchtungseinheit
- Empfängereinheit
- Auswertungs elektronik

Diese Baugruppen sind an einem Aluminium-Profilrahmen so montiert, daß die geforderten Winkelbedingungen für Anleuchtung und Beobachtung eingehalten werden.

3.1 Anleuchtungseinheit

Bei der Entwicklung der Anleuchtungseinheit mußte besonderer Wert auf eine möglichst hohe Beleuchtungsstärke in Probenebene gelegt werden, da bei nassen Fahrbahnen der Rückstrahlwert sehr gering ist. Es wurden Versuche mit einer Halogenglühlampe und verschiedenen Optiken bestehend aus Reflektoren und Linsen durchgeführt, doch aufgrund des nur sehr kleinen Aperturwinkels waren auf diese Weise keine ausreichenden Beleuchtungsstärken in Fahrbahnebene erzielbar.

Nach der spektralen Untersuchung von Oberflächengesteinen und Fahrbahn-Markierungsmaterialien fiel deshalb die Entscheidung zugunsten einer Laseranleuchtung. Die realisierte Anleuchtungseinheit besteht aus zwei He-Ne-Lasern ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$; $\lambda = 543 \text{ nm}$) und einer anamorphotischen Aufweitungsoptik, die den runden in einen elliptischen Strahlquerschnitt umwandelt.

Da die spektralen Untersuchungen ergeben haben, daß nur bei wenigen Fahrbahnoberflächen keine Wellenlängen-Abhängigkeit im Reflexionsgrad besteht, sondern ein Anstieg des Reflexionsgrades mit der Wellenlänge auftritt, ist eine Messung mit einer monochromatischen Lichtquelle nicht ausreichend. Bei einer Messung an zwei Stellen im sichtbaren Spektrum ist es aber möglich, die spektrale Reflexionsfunktion unter den geforderten Geometrien hinreichend genau zu approximieren und daraus dann den Rückstrahlwert für eine bestimmte Lichtart rechnerisch zu ermitteln.

3.2 Empfängereinheit

Die wichtigsten Forderungen an den Meßempfänger sind eine hohe absolute Empfindlichkeit zur Messung der kleinen Rückstrahlwerte und die Eignung für den Einsatz im Straßenverkehr. Die Optik sorgt für die Einhaltung der geforderten Aperturwinkel der Beobachtungsgeometrie. Die Empfängereinheit muß einen Dynamikbereich von mindestens drei Dekaden umfassen, damit Fahrbahnmarkierungen mit einem Rückstrahlwert von ca. $150 \text{ mcd}/(\text{lx}\cdot\text{m}^2)$ und auch nasse Fahrbahnoberflächen mit ca. $0,5 \text{ mcd}/(\text{lx}\cdot\text{m}^2)$ gemessen werden können.

Als Sensor wurde eine MOS-Diodenzeile mit der Möglichkeit zur Ladungsintegration ausgewählt. Durch unterschiedlich wählbaren Integrationszeiten wird ein großer Dynamikbereich erzielt. Die Diodenzeile ist in der Brennebene einer Achromatlinse angebracht. Dadurch wird die Beobachtungsapertur allein durch die Brennweite der Linse und die Abmessungen der Pixel festgelegt. Aus den Signalen der einzelnen Pixel läßt sich so der Rückstrahlwert für verschiedene Beobachtungswinkel ermitteln, ohne daß mechanische Einstellungen verändert werden müssen.

3.3 Auswertungselektronik

Die Auswertungselektronik besteht aus der Ansteuerung der Diodenzeile, der Meßwertverstärkung, A/D-Wandlung und dem Mikro-Controller. Der Mikro-Controller übernimmt die gesamte Meßablaufsteuerung, d.h. für eine Belichtungszeit, die auch über ein Tastenfeld vom Experimentator vorgegeben werden kann, wird automatisch eine Verstärkung eingestellt, die für eine vernünftige Aussteuerung des A/D-Wandlers sorgt. Danach werden die beiden Laser einzeln über den Steuereingang durch den Mikro-Controller eingeschaltet und nach der Warmlaufphase, die über einen Referenzdetektor kontrolliert wird, wird die Messung durchgeführt. Dabei wird jeder Meßwert als Mittelwert aus mehreren Messungen bestimmt. Nach jeder Messung erfolgt eine Dunkelstrommessung, um u.a. Streulichteffekte auszuschließen. Aus den beiden Rückstrahlwerten für das rote bzw. grüne Laserlicht wird dann der Rückstrahlwert für eine vorgegebene Lichtart bestimmt. Unter Berücksichtigung aller auftretenden Fehlerquellen ist der Gesamtfehler der Messung kleiner als 10,9%.

4 Ausblick

Der aufgebaute Prototyp erfüllt die Anforderungen und wurde bereits erfolgreich für Messungen an Fahrbahnoberflächen und Fahrbahnmarkierungen eingesetzt. Da es sich um ein stationäres Gerät handelt, ist die Meßwertaufnahme zeitaufwendig. Deshalb wurde bereits die Entwicklung dieses Prototyps im Hinblick auf einen dynamischen Einsatz durchgeführt. Aus dem jetzt vorliegenden Meßgerät soll durch leichte Modifikationen ein Gerät entstehen, das am Fahrzeug fest montiert ist und während der Fahrt die Rückstrahlwerte der Oberflächen aufnimmt.

Entwicklung eines Reflexionsmeßgerätes für streifenden Lichteinfall,

Dipl.-Ing. Ernst-Olaf Rosenhahn



- Technische Hochschule Darmstadt

Fachgebiet Lichttechnik

Prof. Dr.-Ing. H.-J. Schmidt-Clausen

Hochschulstraße 4a

64289 Darmstadt

KORREKTUR DES FEHLERS BEIM SPIRALGONIOPHOTOMETER

DONTSCHEV STEFAN

Für den Bedarf des Prüfungslabors vom Betrieb für Leuchten "Swetlina" in Stara Sagora (BG) wurde ein automatisiertes Goniophotometer konstruiert und ausgearbeitet. Der gewählte Arbeitsprinzip des Systems ist eine mobile Leuchte-ein ortsfester Empfänger. (Figur 1) Der ausgearbeitete Photometer hat die notwendigen Möglichkeiten für Genauigkeit beim Positionieren, Genauigkeit bei der Abrechnung des Winkelausmasses, Genauigkeit der Abrechnung der Beleuchtungsstärke in bestimmter Richtung.

Dieser Typ Photometer ist am leichtesten realisierbar, anspruchslos zum Arbeitsraum, ergibt auch die Möglichkeit große Leuchte zu photometrieren.

Er ist sehr ausführlich in der Publikation von CIE Nr.70 behandelt. Als Nachteil bei ihm ist das Einfügen eines Fehlers in den Ergebnissen infolge der Änderung der Lage bei den Gasentladungslichtquellen.

Im Teil 5.4. derselben Publikation ist eine Variante der Korrektur des Fehlers mit der Hilfe eines zusätzlichen Detektors betrachtet. Im Prozeß der Ausarbeitung des Photometers wurden auch Variante für die Korrektur des Fehlers von dem Drehen der Quelle durch einen zusätzlichen Gebers gemacht. Die Korrektur wurde sehr kompliziert, weil ein Fehler von den Korrekturgliedern entstehen kann.

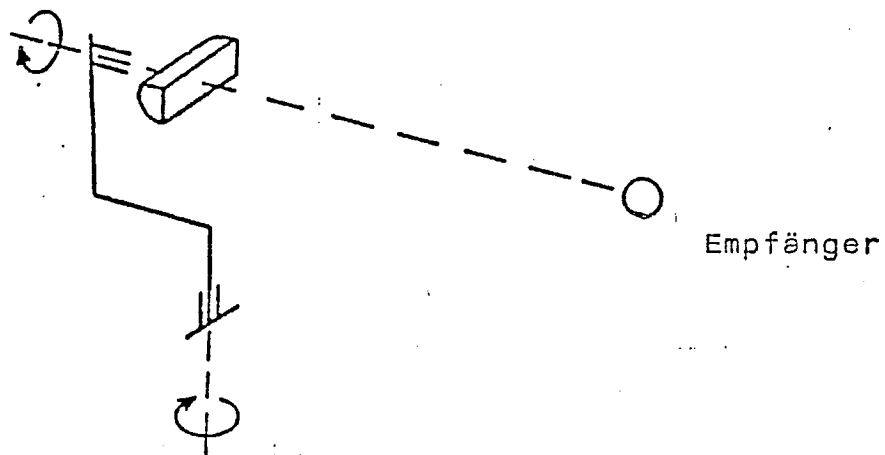
Das Problem besteht darin, daß der zusätzliche Empfänger in der Nähe der Quelle ist. Er wird auch mit Wärme belastet, übergeht in der Zone der niedrigen Empfindlichkeit infolge der grellen Bestrahlung. Es besteht auch die Notwendigkeit von präzisen elektronischen Datenverarbeitung des zusätzlichen Empfängers.

Um diese Bedingungen zu erfüllen, muß das System zusätzlich verteuert werden. Für das Beseitigen dieses Grundfehlers für diesen Typ Goniophotometer haben wir einen einfachen, billigen und verhältnismäßig sicheren Weise ausgearbeitet. Er stützt sich darauf, daß die

"Korrektur des Fehlers beim Spiralgoniophotometer"-Stefan Dontschew
Technische Universität Sofia

Die Adresse für Korrespondenz Dipl.Ing.Stefan Dontschew
Bul."Birüsov"106 (Dondukov Str. 625
BG - 1504 Sofia

Lichtstärke für die verschiedenen C-Ebenen für $\gamma = 0^\circ$ gleich ist .
 Für das Aufnahmen der Lichtverteilungskurven ist dieser Wert obligatorisch. In der Praxis wird zuerst die Lichtverteilung der Leuchte aufgenommen und dann wird sie in die Arbeitsstelle positioniert und sie wird in dieser Lage gelassen um es zu stabilisieren. Nachdem alle Übergangsprozesse nachlassen, wird der Wert in dieser Ebene für $\gamma = 0^\circ$ für Basis genommen und zu ihm werden alle Werte für $\gamma = 0^\circ$ in den verschiedenen Ebenen korrigiert. Und so entsteht der Korrekturfaktor für jede Ebene.
 Auf Grund dieser Korrektur wird der wesentliche Nachteil dieses Typs Photometers entfernt.
 So bekommt man, meiner Meinung nach , maximale Ergebnisse, verhältnismäßig große Genauigkeit verbunden mit der Möglichkeit für das Photometrieren von Leuchten mit verschiedenen Ausmaßen. Und nicht an letzter Stelle muß man sagen , daß diese billigste Variante zusätzlich verbunden wird.



Figur 1

Computer Aided Design of Indoor Illumination

Wandachowicz Krzysztof

Zwierzchowski Piotr

Scientific tutorial: Górczewska Małgorzata

Good illumination should provide convenience, ease, and safety of performed work. Increase of qualitative and quantitative requirements and simultaneously, a wider selection of luminaires causes that applying computer technology in illumination designing becomes necessary. The simplified calculational methods, e.g. the Lumen Method, which have been used up till now, most often do not give the required calculational accuracy, especially in the case of modern fluorescent luminaires with reflectors.

Computer availability and large increase of calculational capabilities enables introducing them widely in illumination designing. Thus it seems to be useful to apply this method at classes with students. The fundamental barrier in applying computer design is the difficulty of access to modern calculational software and their availability. Not always theoretical foundations and the range of calculational assumptions are given, which is so important from the didactic point of view.

This problem encouraged young research workers and students at the Lighting Division of Poznań Technical University to create a computer software which would aid designing general indoor illumination. Because of made assumptions, this program can be applied at classes for multi-criterion problem analysis concerning indoor illumination.

Theoretical foundations of the software are based on the following assumptions:

- luminous flux distribution on the work plane depends mainly on the direct component,
- the luminous flux falling on the walls is distributed uniformly on them, the wall reflection coefficients are represented by the average reflection coefficient,
- luminaire suspension length and work plane height are included in calculations of effective reflectances,
- interior enclosing surfaces are characterized by diffuse light reflection.

These assumptions are a compromise between obtaining a proper accuracy and time limits imposed by the didactic process.

The basis of the software is determining point illuminations on the work plane (max. 100 x 100 points) from every luminaire

Dipl.-Ing. Krzysztof Wandachowicz

Dipl.-Ing. Piotr Zwierzchowski

Scientific tutorial: Dr Ing. Małgorzata Górczewska

Technical University of Poznań - Division of Lighting Engineering

ul. Piotrowo 3a PL-60-965 Poznań Poland

placed inside. This is the basis to calculate the luminous flux falling on the work plane and the flux falling on the walls (Fv-Fdir). Using the interreflection calculus, we calculate the entire luminous flux which falls on the work plane. This enables determining the reflected component assuming that its distribution on the work plane is uniform.

The result presentation contains:

- initial and final values of work plane average illumination, maximum and minimum illumination, illumination uniformity, the illumination reflected component,
- illumination distribution on the work plane and at any cross-section or longitudinal section of the work plane, a three-dimensional diagram showing vividly indoor illumination distribution.

The presented software makes use of the database which enables (before the calculations are started) reading luminaire parameters, graphically presented light distributions (any plane C), and luminance curves of a given luminaire. It is possible to use simultaneously up to nine sorts of different luminaires, which can be situated in various ways (any height, placing, angle in respect to room length or width). After selecting the luminaires, the program calculates independently a number of luminaires of each sort necessary to obtain a required illumination level. These are preliminary calculations. On their basis, we can arrange any of the nine luminaire sorts and make calculations. After the results are obtained, we can switch on or off a selected luminaire, since the calculation results for each luminaire are recorded separately on the disk. This enables making an influence analysis of particular luminaires on a selected lighting parameter. It is especially useful because of didactic reasons.

The presented software is a starting point to prepare a new version which would include more accurately luminous flux distribution in the whole interior and the change of wall reflection coefficients of the room. That software, however, will be of quite a different purpose and application possibilities.

Exemplary printout.

Komputerowe Wspomaganie Projektowania
Oswietlenia Ogolnego Wnetrz vl.0 VI 1993

Autor : Krzysztof
Projekt : FCS 314 136 M5 do wydruku
Pomieszczenie : 100 x 100

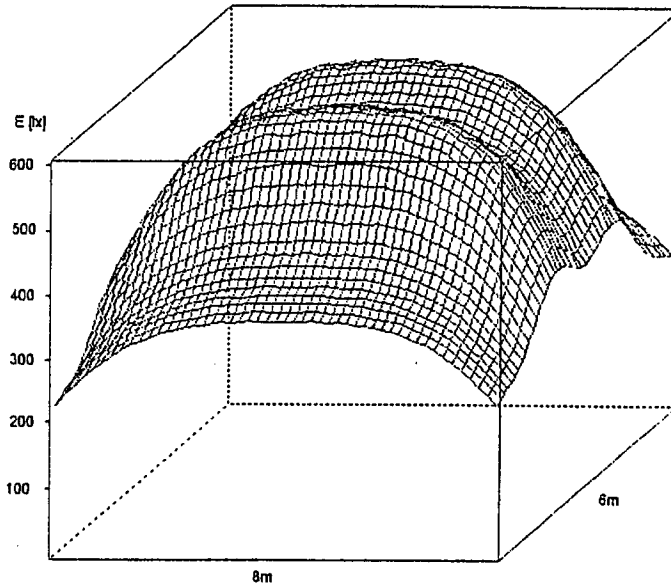
5. Natezenie oswietlenia i rownomiernosc

- a) Srednie natezenie oswietlenia (początkowe) : $E_{sr p} = 426.3$ [lux]
- b) Srednie natezenie oswietlenia (koncowe) : $E_{sr k} = 341.1$ [lux]
- c) Maksymalne natezenie oswietlenia (początkowe) .. : $E_{max} = 571$ [lux]
- d) Minimalne natezenie oswietlenia (początkowe) ... : $E_{min} = 219$ [lux]
- e) Rownomiernosc (E_{min}/E_{sr}) : $\delta_1 = 0.51$ [-]
- f) Rownomiernosc (E_{max}/E_{sr}) : $\delta_2 = 1.34$ [-]
- g) Zuzycie energii : [W/m²/100lx]

Komputerowe Wspomaganie Projektowania
 Oświetlenia Ogólnego Wnętrz v1.0 VI 1993

Autor : Krzysztof
 Projekt : FCS 314 136 M5 do wydruku
 Pomieszczenie : 100 x 100

B. 3-D wykres rozkładu natężenia oświetlenia



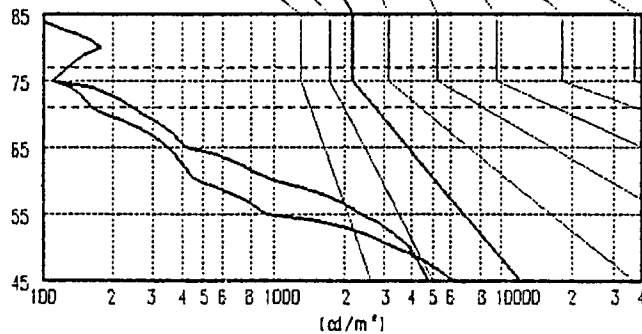
Komputerowe Wspomaganie Projektowania
 Oświetlenia Ogólnego Wnętrz v1.0 VI 1993

Autor : Krzysztof
 Projekt : FCS 314 136 M5 do wydruku
 Pomieszczenie : 100 x 100

10. Ocena oświetlenia

Ocena oświetlenia od oprawy : FCS 314/136 M5

1,15	A	2000	1000	500	<300				
1,5	B		2000	1000	500	<300			
1,65	C			2000	1000	500	<300		
2,2	D				2000	1000	500	<300	
2,55	E					2000	1000	500	<300



CCD-Leuchtdichte-Meßsystem (LMS)

Hamm, Michael

1 Einleitung

Im Rahmen einer Diplomarbeit am Fachgebiet Lichttechnik der TH Darmstadt wurde ein Meßsystem aufgebaut, mit dem verschiedene lichttechnische Messungen vorgenommen werden können. Darunter ist besonders die Verwendung als Leuchtdichte-Meßsystem hervorzuheben. Die exakte Messung von Leuchtdichteverteilungen, d.h. die Messung einer großen Anzahl von auftretenden Leuchtdichten in einer Szene, war bisher mit einem relativ hohen Arbeitsaufwand verbunden. Gerade aber die Information über Kontraste und Leuchtdichteverteilungen erleichtert die qualitative Beurteilung einer komplexen Szene, beispielsweise eines Arbeitsplatzes oder einer Straßenverkehrssituation. Dies ist ein Einsatzgebiet für das Leuchtdichte-Meßsystem des FG Lichttechnik der TH Darmstadt.

Ein weiteres Anwendungsgebiet des Systems liegt in der Messung sehr niedriger Leuchtdichten. Es können extrem niedrige Leuchtdichten gemessen werden, die im Bereich der Reizschwelle des menschlichen Auges ($10^{-7} \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) liegen.

Im Folgenden sollen einige ausgewählte Aspekte bei der Entwicklung des Leuchtdichte-Meßsystems und einige Anwendungen vorgestellt werden.

2 Komponenten

Das System besteht im wesentlichen aus 5 Komponenten: Das wichtigste Element ist eine CCD-Matrix mit dazugehöriger Optik und Versorgungsanschlüssen. Dazu gehört ein Kühlelement zur Temperaturregelung, eine Speichereinheit, ein Video-Bildschirm und ein Controller, der die Systemverwaltung übernimmt. Die Datenverwaltung und -auswertung wird von einem Windows-Programmpaket übernommen. Mit diesem Programm kann die komplette Systemsteuerung, die Kalibrierung und auch die lichttechnische Auswertung erfolgen. Für Vor-Ort-Messungen kann das System auch ohne Auswerte-Rechner betrieben werden. Der Leuchtdichtemeßkopf läßt sich bis zu 10 m entfernt vom Controller einsetzen und ermöglicht damit auch Messungen in sonst unzugänglichen Situationen.

3 Systemeigenschaften

Damit später mit dem System genaue und verlässliche Messungen vorgenommen werden konnten, mußten die einzelnen Einflußgrößen und systematischen Fehler eingehend untersucht werden. Einige der wichtigsten Schritte waren dabei die Anpassung der spektralen Empfindlichkeit des gesamten Systems an die spektrale Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges $V(\lambda)$, sowie die Untersuchung der bei Bildentstehung und Bildbewertung auftretenden Parameter wie Belichtungszeit, Grauwert, Temperatur, Blende, Abbildungsort etc.

3.1 Linearität

Voraussetzung für den Einsatz in einem weiten Leuchtdichtebereich war die Kenntnis der nicht-linearen Zusammenhänge zwischen Leuchtdichte und den vom System gelieferten Grauwerten. In eingehenden Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, daß über den gesamten

Dynamikbereich des CCD betrachtet, kein linearer Zusammenhang besteht. Die von den Herstellern angegebene full-well-capacity bezieht sich nur auf eine Toleranzgrenze. Diese Effekte sind systematische Fehler und liegen durch das Funktionsprinzip des CCD bedingt vor. Die auf die dünne p-Si-Schicht des Trägers aufgebrachte MOS-Matrix bildet während der Integrationszeit dicht benachbarte Kapazitäten, indem ein konstantes Potential angelegt wird. Die photogenerierten Elektronen sammeln sich in diesem Potentialtopf, dessen Potentialdifferenz somit abhängig von der Zahl der bereits angesammelten Photoelektronen ist. Damit entsteht ein Sättigungsverhalten, das die Linearität der ausgelesenen Grauwerte beeinträchtigt. Die Abweichungen von der Linearität wurden in einem Bereich von etwa 3% festgestellt.

Zusätzlich mit den im Bereich kurzer Integrationszeiten auftretenden Abweichungen stellt diese Nichtlinearität einen Meßfehler dar, der entsprechend ausgeglichen werden muß, um exakte Messungen im gesamten Dynamikbereich zu garantieren.

Durch Verwendung einer Regressionsanalyse auf Basis des Householder-Algorithmus konnte eine funktionelle Korrektur gefunden werden, die diesen systematischen Fehler softwareseitig eliminiert.

3.2 Spektrale Empfindlichkeit

Die spektrale Empfindlichkeit der verschiedenen CCD-Objektiv-Kombinationen wurde nach Abschluß der Linearitätsmessungen untersucht. Mit dem am FGLT der TH Darmstadt vorhandenen Spektralmeßplatz wurde die spektrale Empfindlichkeit bei 34 Stützstellen im Wellenlängenbereich $\lambda = 380 \text{ nm}$ bis $\lambda = 780 \text{ nm}$ bestimmt.

Die Untersuchung ergab das bereits vorher aus Literaturrecherchen erwartete Ergebnis, daß die spektrale Empfindlichkeitskennlinie im Gegensatz zu reinen Silizium-Photoempfängern keinen glatten Verlauf aufweist.

Den größten Beitrag zu diesen Effekten leistet die Gate-Metallisierung der MOS-Matrix.

Die Kenntnis des genauen Verlaufs der spektralen Empfindlichkeit liefert zusammen mit der Bewertung der wirksamen Wellenlänge für jede Stützstelle die Anforderung für eine spektrale Vollfilterung.

3.3 Abbildungsort

Für jede optische Abbildung gilt das Gesetz des natürlichen Beleuchtungsstärkeabfalls zum Feldrand. Der Zusammenhang zwischen Leuchtdichte des Objektraumes und der auf einem Pixel erzeugten Beleuchtungsstärke wird beschrieben:

$$E_{\text{pix}}(\omega) = \pi \cdot L \cdot \tau \cdot \sin^2 u \cdot \cos^4 \omega \cdot \Omega_0 \quad (1)$$

$E_{\text{pix}}(\omega)$: Beleuchtungsstärke auf einem Pixel unter dem Feldwinkel ω

L : Objektleuchtdichte

u : Aperturwinkel

τ : Transmissionsgrad der Optik.

Für eine exakte Leuchtdichtebestimmung auf der gesamten Bildfläche mußte diese Gesetzmäßigkeit ebenfalls für jede Blendeneinstellung untersucht werden. Dazu wurde eine ausgedehnte Fläche gleicher Leuchtdichte verwendet ($\Delta L \leq 1,5 \%$).

Für jede Blendenstufe wurde so ein Kalibrierbild erzeugt, das es erlaubt, jedem Pixel eine dem Abbildungsort entsprechende Korrektur zuzuordnen. Damit ist eine korrigierte Leuchtdichtebestimmung für jedes Pixel möglich, unabhängig von der jeweils verwendeten Blendeneinstellung, die den Aperturwinkel u in Gl. 1 bestimmt.

4 Anwendungen

Alle zur Leuchtdichtebestimmung notwendigen Rechenschritte wurden in einem parallel zu den Messungen entwickelten Windows-Programmpaket zusammengefaßt, so daß eine Korrektur der Meßergebnisse sofort bei der Auswertung erfolgt. Mit der Auswertesoftware lassen sich die Leuchtdichten einzelner Pixel, Leuchtdichten von ausgewählten Flächen, vertikale bzw. horizontale Leuchtdichteschnitte, Leuchtdichte-Histogramme usw. bestimmen. Damit wiederum können die zugehörigen Kontraste berechnet werden.

Bild 1 zeigt die Aufnahme eines Verkehrszeichens. Als Beispiel wurde ein Leuchtdichte - Horizontalschnitt durch den Bereich gelegt, der durch die untere Markierung des Fußgängerüberweges führt. In Bild 1 ist der Bereich innerhalb der gestrichelten Box zu sehen.

Bild 2 zeigt die Darstellung einer grafischen Auswertung dieses Horizontalschnittes,



Bild 1:
Beispiel einer Aufnahme mit dem Leuchtdichtemeßsystem des Fachgebiets Lichttechnik der TH Darmstadt (LMS).

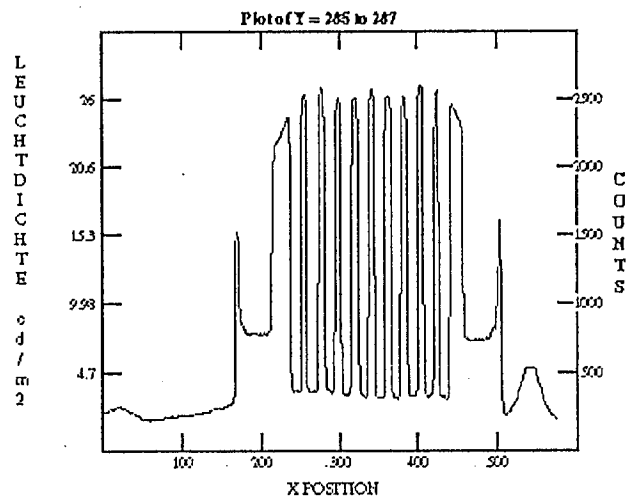


Bild 2:
Grafische Darstellung der im dargestellten Schnitt aufgetretenen Leuchtdichten durch die Auswertesoftware.

Die Leuchtdichteveriationen sind in der Darstellung sehr deutlich zu sehen, auch die Leuchtdichtesprünge an den Kanten und der Wechsel von schwarz und weiß bei den Markierungen.

CCD - Leuchtdichte Meßsystem,
Dipl. Phys. Michael Hamm



Technische Hochschule Darmstadt
Fachgebiet Lichttechnik
Prof. Dr.-Ing. H.-J. Schmidt-Clausen
Hochschulstraße 4a
64289 Darmstadt

Neue Blendungsbewertungsmöglichkeiten

Ulf Greiner Mai
Cornelia Kirsten

Es soll eine Meßreihe vorgestellt werden, die von neuen Seiten an die Blendungsbewertung herangegangen ist. Ziel war es, die Blendung detaillierter zu bewerten, als es bisher üblich war.

Bekanntlich beeinflußt das Licht und somit die Beleuchtungssituation den Menschen in vielfältiger Weise. Es gibt sowohl Auswirkungen auf das Sehvermögen als auch auf Leistungsbereitschaft, Wohlbefinden und Körperfunktionen. Das Versuchsziel bestand darin, die Blendung und ihre Auswirkungen so komplex wie möglich zu erfassen. Welche Möglichkeiten gibt es dafür?

- Die direkte Frage nach der Blendung und deren Wirkungen
- Verschiedene Leistungstests, um Leistungsfähigkeit, Konzentration und Motivation zu erfassen
- Die indirekte Frage nach dem Befinden und der Blendung

Mit Hilfe von Fragebögen und Tests sollten möglichst viele Auswirkungen der dargebotenen Lichtsituationen auf den Menschen erfaßt werden. Dafür wurden die oben genannten Parameter bei Verwendung einer nahezu blendfreien Beleuchtungsanlage mit denen bei einer Anlage, bei der Blendung auftrat, verglichen.

Die zwei Beleuchtungssituationen wurden wie folgt realisiert:

1. Spiegelrasterleuchte mit 60° Blendschutzwinkel
2. Leuchte mit freistrahrender Leuchtstofflampe ohne Blendschutz

Mit 40 Versuchspersonen wurden die oben genannten Befragungen und Tests durchgeführt. Jede Person absolvierte die Tests bei den beiden Beleuchtungssituationen im Abstand von 3 Wochen. Das sollte gewährleisten, daß die Ergebnisse der beiden Versuche unabhängig voneinander sind.

Im folgenden werden einzelne Tests kurz vorgestellt.

1. Der Fragebogen zur Blendung

In diesen Fragebogen wurden 27 Items, die durch die Lichtsituation verursacht werden können, aufgenommen. Gefragt wird sowohl nach Blendungsursachen als auch nach verschiedenen Auswirkungen der Blendung auf Wohlbefinden und Leistungsbereitschaft.

Die Versuchsperson wurde gebeten, ihren Eindruck über die Lichtsituation wiederzugeben.

Dipl.-Ing. Ulf Greiner Mai
Dipl.-Ing. Cornelia Kirsten

TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik, PF 327
98684 Ilmenau

Die augenblickliche Lichtsituation ...	nicht	kaum	etwas	einigermaßen	überwiegend	völlig
ist zu hell						
lenkt mich ab						
ermüdet mich						
belebt mich						
verursacht eine zu helle Arbeitsfläche						

Tabelle: Auszug aus dem Fragebogen zur Blendung

Die statistischen Auswertungen erfolgten durch Mittelwertbildung und Faktorenanalyse.

Folgende Ergebnisse können aufgezeigt werden:

16 der 27 Items zeigten signifikante Unterschiede bei der Bewertung der zwei Lichtsituationen. Dabei wurde die Beleuchtung mit der Spiegelrasterleuchte positiver eingeschätzt.

Mit der Faktorenanalyse wurden Zusammenhänge zwischen den einzelnen Items aufgedeckt, so daß eine Gruppenbildung möglich war.

Gruppen:

1. Blendauswirkungen
2. Blendungsursachen
3. positive Auswirkungen auf die Leistung
4. negative Auswirkungen auf die Leistung
5. positive Auswirkungen auf das Wohlbefinden
6. negative Auswirkungen auf das Wohlbefinden

Die Items haben innerhalb ihrer Gruppe unterschiedlich starke Bedeutungen, die man mit Wichtigkeitsfaktoren ausdrücken kann. Nach Wichtung und Mittelwertbildung innerhalb der einzelnen Gruppen erhält man 6 Werte, die Kriterien für die Blendung sind.

2. Leistungstests

Zur Erfassung der Leistungsfähigkeit und der Konzentration sind zwei Leistungstests durchgeführt worden. Beide erstreckten sich über eine Dauer von ca. 15 Minuten. Bei beiden wurden Fehlerzahl und Arbeitsgeschwindigkeit gemessen.

Folgende Ergebnisse können genannt werden:

- Die Arbeitsgeschwindigkeit änderte sich nicht (signifikant) mit der Beleuchtungssituation.
- Bei Blendfreiheit kam es bei jedem Test zu einem Anstieg der Fehlerzahlen. Leistungsfähigkeit und Konzentration haben somit abgenommen.

- Bei Blendung wurde eine umgekehrte Tendenz deutlich. Die Fehlerzahl verringerte sich. Sie lag am Ende des Tests unter der Fehlerzahl des Testbeginns.

Die genannten Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß sich hier ein gewisses Maß an Blendung günstig, das heißt stimulierend auswirkte.

3. Fragen nach dem Wohlbefinden

Bei diesem Versuch wurde die Versuchsperson direkt nach ihrem Befinden gefragt. Auf einer Skala zwischen zwei Extremen (z.B. aufmerksam - unaufmerksam) hatte die Versuchsperson ihr momentanes Befinden zu kennzeichnen. Der Fragebogen wurde dem Probanden zu Versuchsbeginn und am Ende vorgelegt. So war es möglich, Veränderungen und Wirkungen, die während des Versuchs (Zeitraum: 2 Stunden) auftraten, zu erfassen.

Folgende Ergebnisse können genannt werden:

Die Blendsituation bewirkte eine geringere Verschlechterung des Allgemeinbefindens als die blendfreie Lichtsituation. Es war eine geringere Ermüdung zu verzeichnen und die Versuchspersonen fühlten sich am Ende des Versuches sogar geistig frischer als am Anfang. Die mit Hilfe der Leistungstests festgestellte Erhöhung der Leistungsbereitschaft und Konzentrationsfähigkeit bei Blendung wird dadurch bestätigt.

Außer den beschriebenen Tests und Untersuchungen wurden Videoaufnahmen zu physiologischen Reaktionen durchgeführt und der Eindruck einer Schaufensterpuppe erfragt. Dabei wurden die positiven Wirkungen der Blendsituation bestätigt.

Zusammenfassung

Es ist zu erkennen, daß unterschiedliche Tests und Befragungen auch unterschiedliche, zum Teil sogar entgegengesetzte Aussagen zu einer Blendsituation ergeben. Nach den aufgezeigten Ergebnissen scheint es unzureichend zu sein, die Auswirkung der Blendung mit einer einzigen Maßzahl zu beschreiben.

Neue Untersuchungen auf dem Gebiet der spektralen Hellempfindlichkeit

Hong, Shao
Enders, Martin
Hartge, Jörg Ed.

1 Einleitung und Motivation

Die spektrale Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges ist bereits schon zu Anfang dieses Jahrhunderts ausgiebig untersucht worden. Auf diesen Untersuchungen basiert auch die Empfehlung der Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) von 1924 beziehungsweise 1931 für den spektralen Hellempfindlichkeitsgrad des menschlichen Auges. Diese Definition gilt für einen Sehwinkel von 2° (Kleinfeldbeobachtung) und photopisches, foveales Sehen siehe auch *Bild 2*. Bei diesen Untersuchungen wurde festgestellt, daß dieser spektrale Hellempfindlichkeitsgrad von verschiedenen Parametern abhängig ist. Dies sind unter anderem der Sehwinkel, der Beobachtungswinkel und die Adaptationsleuchtdichte. In der Praxis treten in der Regel andere Bedingungen auf, als die bei der Definition für den 2° Normalbeobachter. Dies sind z.B. kleine Sehwinkel im Bereich der Signaltechnik wie Schifffahrt, Luftfahrt, Straßenverkehr, andere Beobachtungswinkel (extrafoveal), andere Adaptationszustände (mesopisches Sehen) usw. Deshalb wurden Untersuchungen am Fachgebiet Lichttechnik der Technischen Hochschule Darmstadt durchgeführt, mit dem Ziel, den spektrale Hellempfindlichkeitsgrad des menschlichen Auges in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern zu bestimmen.

2 Untersuchungsdesign

Für die Bestimmung des spektrale Hellempfindlichkeitsgrad des menschlichen Auges wurde die Methode des Flimmervergleichs verwendet. Dabei wurden 14 quasimonochromatische Testfeldleuchtdichten im Sukzessivvergleich mit weißen Vergleichsleuchtdichten (Normlichtart A) auf Flimmerminimum durch Testpersonen abgeglichen. *Bild 1* zeigt den schematischen Aufbau für die Messungen mit Testpersonen.

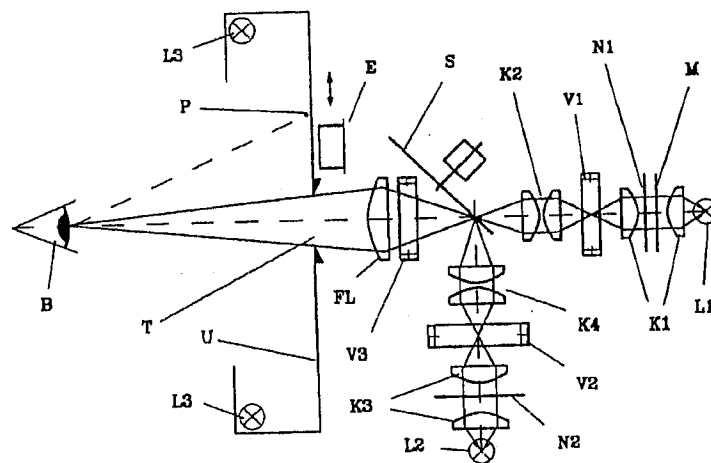


Bild 1: Versuchsaufbau

B: Beobachter, E Meßempfänger, FL: Feldlinse, K1-K4: Kondensoren, L1: Testlichtquelle, L2: Referenzlichtquelle, L3: Umfeld-Beleuchtung, M: Interferenz-Linienfilter, N1-N2: Neutralglas-Filter, P: Fixierpunkt, S: Spiegelrad, T: Testfeld, U: Umfeld, V1-V3: elektromagnetische Verschlüsse

Die Testperson B saß durch einen Gesichtsrahmen fixiert vor einem neutral-weiß ausgeleuchteten Umfeld U der Leuchtdichte L_U . Eine Öffnung stellte das Testfeld T der veränderbaren Sehwinkelgröße α dar, die über einen Maxwell'schen Strahlengang von einer Testlichtquelle L1 und einer konstanten Referenz-Lichtquelle L2 gleichmäßig mit der Leuchtdichte L_T ausgeleuchtet wurde. Ein rotierendes Spiegelrad S sorgte für den periodischen Wechsel zwischen beiden Lichtquellen mit einer einstellbaren Flimmerfrequenz f (ca. 10 Hz bis 25 Hz). Mit Hilfe von 14 Interferenz-Linienfiltern die nacheinander in den Strahlengang der Testlichtquelle eingebracht wurden, wurde quasimonochromatisches Licht erzeugt. Dies wurde über die Lampenspannung und mit Neutralglasfiltern von den Testpersonen so eingestellt wurde, daß für sie ein Flimmerminimum entstand. Durch die Messung der Strahldichte von L1 mit Hilfe eines einschwenkbaren Meßkopfes kann nach dem Abgleich ein umgekehrt proportionaler Wert zum Hellempfindlichkeitsgrad aufgenommen werden.

3 Ergebnisse

Die *Bilder 2 bis 5* zeigen einige Ergebnisse der Untersuchungen, die Abhängigkeit der spektralen Hellempfindung vom Sehwinkel α . Es ist auffällig, daß die Kurven sich mit kleiner werdendem Sehwinkel zu längeren Wellenlängen hin verschieben.

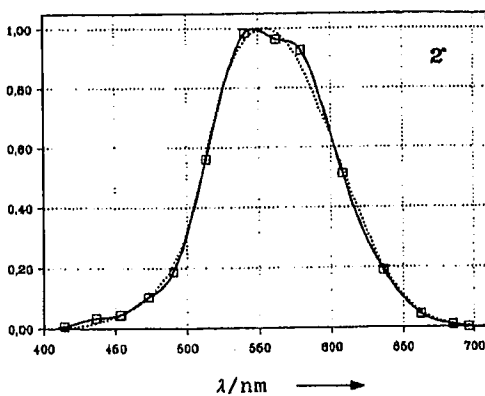


Bild 2: Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ ($L_T = 850 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, $\Theta = 0^\circ$)

□ $\alpha = 2^\circ$ (gemessen)
 2° - Normalbeobachter

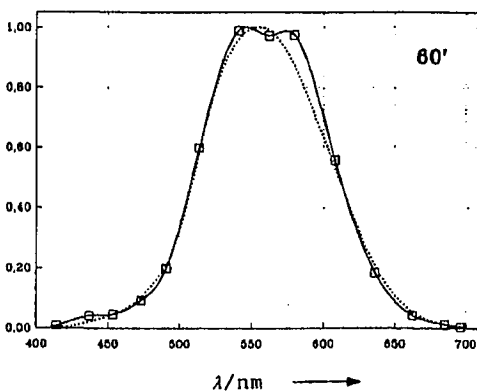


Bild 3: Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ ($L_T = 850 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, $\Theta = 0^\circ$)

□ $\alpha = 60'$ (gemessen)
 2° - Normalbeobachter

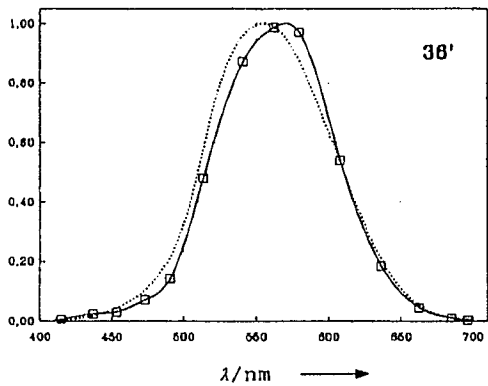


Bild 4: Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ ($L_T = 850 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, $\Theta = 0^\circ$)

□ $\alpha = 36'$ (gemessen)
 2° - Normalbeobachter

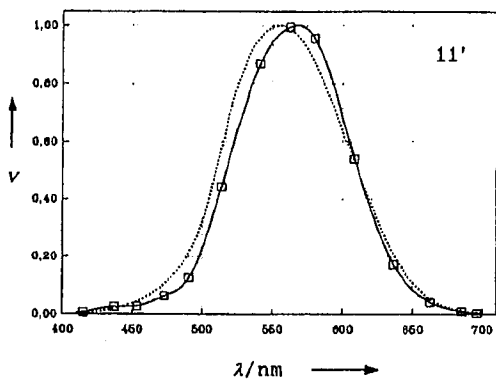


Bild 5: Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ ($L_T = 850 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, $\Theta = 0^\circ$)

□ $\alpha = 11'$ (gemessen)
 2° - Normalbeobachter

Dipl.-Phys. Hong Shao

Dipl.-Ing. Martin Enders

Dr.-Ing. J. Ed. Hartge (co. Heraeus GmbH Hanau)



Technische Hochschule Darmstadt

Fachgebiet Lichttechnik

Prof. Dr.-Ing. H.-J. Schmidt-Clausen

Hochschulstraße 4a

D- 64289 Darmstadt

The Investigation of Computer Filters on Visibility Conditions

Józwiak Zyta

Scientific tutorial: Górczewska Małgorzata

Introducing computers into work environment is accompanied by negative results. Numerous investigations show that most people working at the VDT suffer from many indispositions, e.g. headaches, eye-aches and weeping, general fatigue, etc. The research conducted so far has not shown a univocal reason of these phenomena. It is known that the work of the VDT is accompanied by many side-effects:

- emission of UVA/ UVB, VLF/ ELF and X-rays,
- static electricity,
- reflections of glare sources on the computer screen.

These phenomena can affect the health and self-comfort of the people who operate computers. Thus a computer filter is often used as a protective element. It weakens or eliminates the mentioned above phenomena.

Filter characteristics presented by manufacturers describe the influences of computer filters on visibility conditions in a rather fragmentary way. It is usually stressed that the filter enhances contrast and reduces glare. It is known, however, that the process of seeing is influenced by many factors: character luminance and contrast on the screen, their angular size, observation time, luminance level and distribution in the space connected with reflections on the screen. Introducing a computer filter changes many parameters. This is why it is difficult to determine the final effect of its application.

Experimental research.

A group of students made a number of investigations whose aim was to determine the influence of computer filters on visibility conditions. Eight trained observers of the age of 22-23 took part in the investigations. Their task was to formulate a subjective evaluation (improvement or deterioration) of visual comfort and making a test task, i.e. identification of gaps in Landolt's rings. A special test had been prepared for that purpose. It is presented in Fig.1. The investigations were made in a room shown in Fig.2 with the computer workstation situated in three places. The team used for the research an IBM PC with the VGA card, a 14" CRT monitor operating in 640 x 800 resolution, and two kinds of filters: a glass one and a polyamide one (polarizing).

Zyta Józwiak

Scientific tutorial: Dr Ing. Małgorzata Górczewska

Technical University of Poznań - Division of Lighting Engineering
ul. Piotrowo 3a PL-60-965 Poznań Poland

The values of character and background luminances were measured and luminance contrast was calculated in the computer workstation, denoted by A, B and C and in 0 conditions - reference, i.e. in total darkness. Next the investigations of visual performance were made. The results are presented in a Fig.3.

The investigations were carried out for the positive contrast display (light characters on the dark background).

We can conclude on the basis of the obtained results that the investigated filters largely decrease luminance. Contrast improvement is always observed, although its degree depends on the lighting conditions of the environment. Except for extreme conditions (window reflection on the screen or total darkness), filters cause deterioration of visual performance. It takes place despite improvement of character visibility evaluated subjectively by the observers. This phenomenon, as it seems, can be explained by the fact that the improvement of picture contrast does not recompense disadvantageous results of substantial lowering character luminance and background luminance.

Particularly, lowering background luminance can influence negatively visual work because of substantial deterioration of adaptation conditions: a very dark screen observed on the bright background of the wall (B) and a very bright window (C).

The obtained results, on one hand encourage to carry out further research, and on the other hand, they make us consider the usefulness of applying computer filters if it is not absolutely necessary.

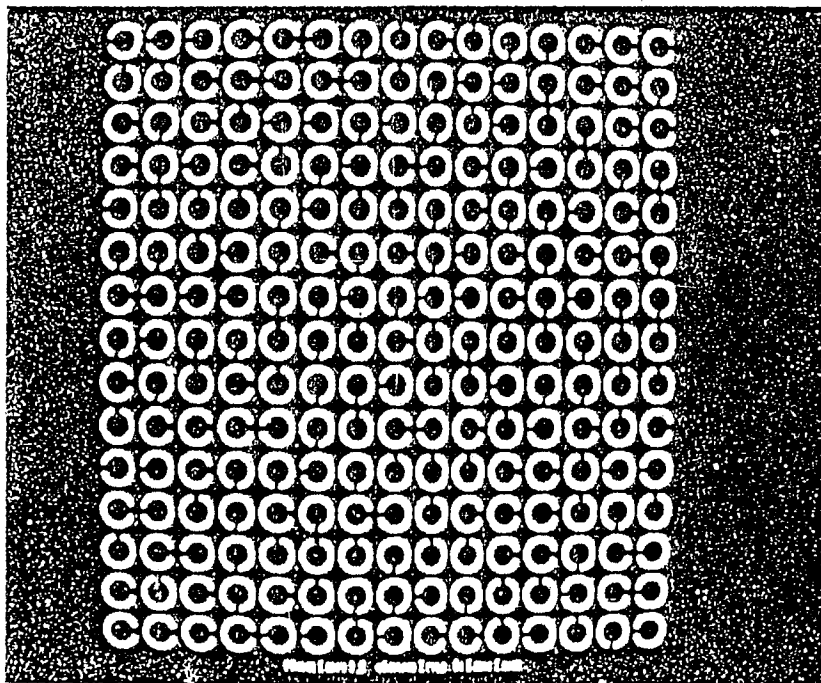


Fig.1. Landolt's rings test on the computer screen.

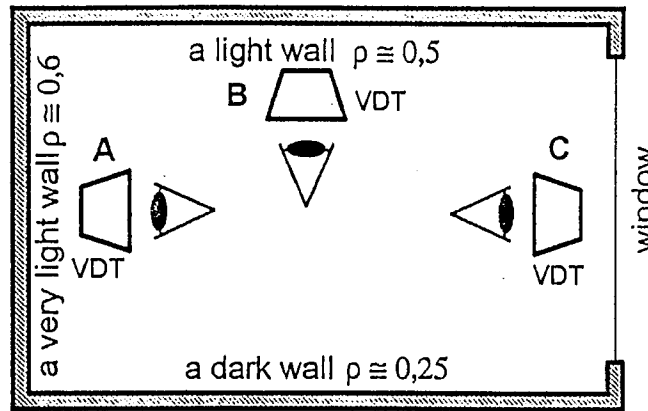


Fig.2. Diagram of the room with the research stands.

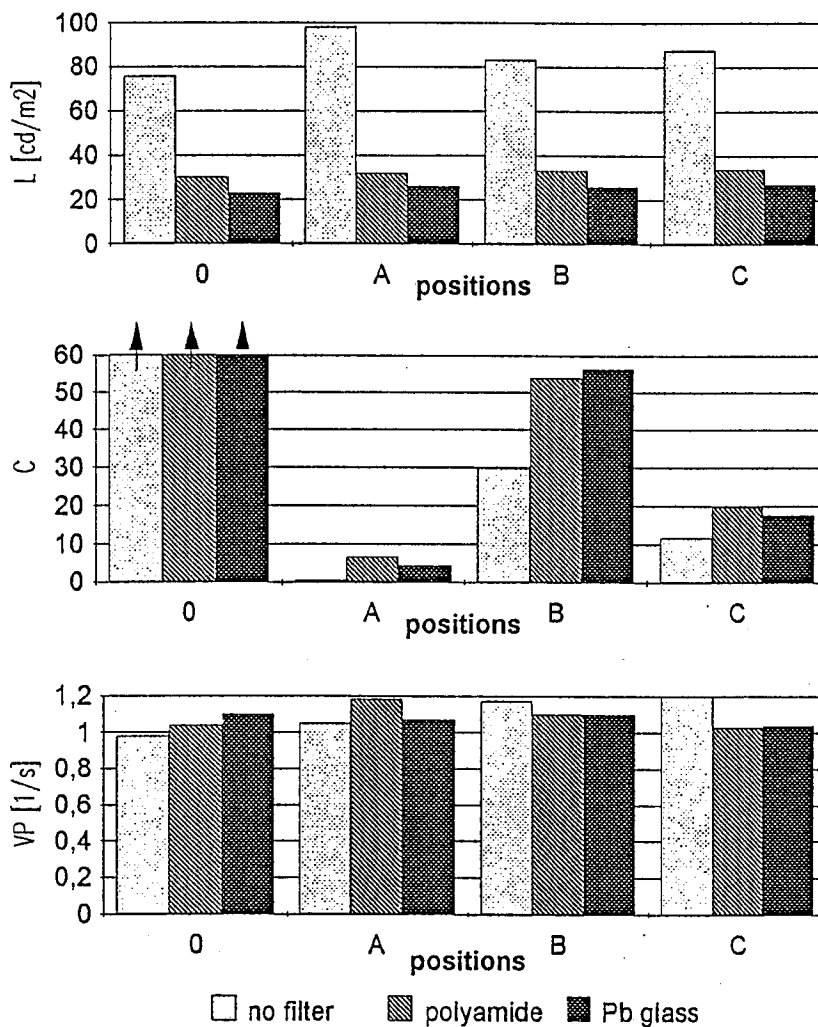


Fig.3. Research results: luminance - L, contrast - C and visual performance -VP for the screen without a filter and with protective filters (of glass and polyamide). The investigations according to the positions in Fig.2.

"0" darkness

"A" The window luminance is reflected on the screen

"B" The screen on the background of a bright wall, a dark wall at the back.

"C" The screen on the background of the window.

UV-Globalstrahlungsmessungen mit einem mobilen Spektralradiometer

Grothmann, Knut

Einleitung

UV-Strahlungsmessungen besitzen aufgrund der hohen biologischen Wirksamkeit für den Menschen und seine natürliche Umwelt schon lange einen hohen Stellenwert. Sowohl die Notwendigkeit eines wirksamen Strahlenschutzes angesichts der Warnungen über die Veränderungen der stratosphärischen Ozonschicht als auch die Entwicklung viel versprechender Anwendungsgebiete in Medizin und Technik machen dies deutlich.

1. Spektralradiometer

1.1. Anforderungen an ein mobiles UV-Spektralradiometer

- hohe Empfindlichkeit im UV-Spektralbereich
- geringe Empfindlichkeit in anderen Spektralbereichen
- cos-getreue Bewertung einfallender Strahlung
- geringer Streulichtanteil
- hohe spektrale Auflösung

1.2. Aufbau und Wirkungsweise

Das am Institut für Lichttechnik aufgebaute Spektralradiometer für den Einsatz bei Feldmessungen hat den folgenden Aufbau (Abb.1).

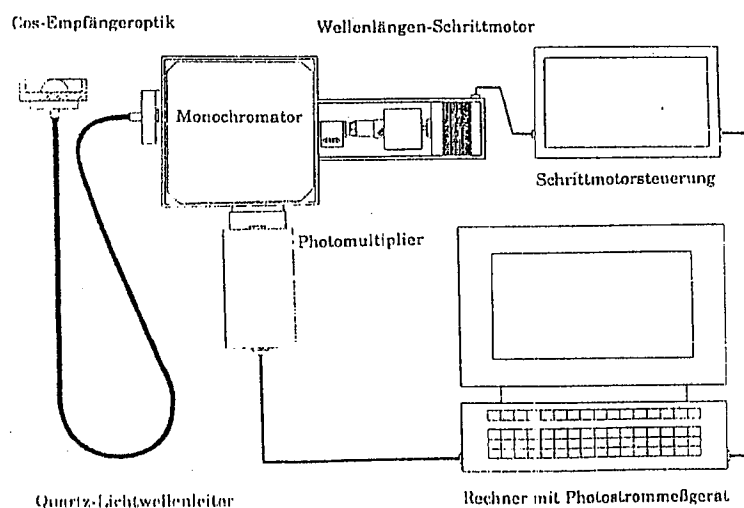


Abb.1 Schematischer Aufbau des mobilen Spektralradiometers

1.3. Kalibrierung und technische Parameter

Die Kalibrierung des UV-Radiometers wurde mit einer zuvor in der PTB kalibrierten Halogenglühlampe (OSRAM 230V 800W) als Vergleichsnormale durchgeführt. Die relative Unsicherheit des Meßergebnisses ist im wesentlichen durch das Vergleichsnormale bestimmt und kann mit $\pm 6\%$ abgeschätzt werden.

Technische Parameter:

hohe UV- Empfindlichkeit

cos-Fehlerkenngröße $f_2 < 5\%$

Streulicht reduziert durch zusätzliche Blenden und Filter

spektrale Halbwertsbreite $\Delta\lambda = 1\text{nm}$

2. Meßergebnisse

2.1. UV-Globalstrahlung

Vergleiche der Meßergebnisse des mobilen Spektralradiometers mit denen eines hochauflösenden Spektralradiometers zeigen gute Übereinstimmungen. Die gemessene spektrale Globalbestrahlungsstärke in Berlin auf dem Dach des Institutes ist in Abb.2 dargestellt.

Spektrale Globalbestrahlungsstärke TU-Berlin am
2.11.1992 um 14.07 Uhr MEZ

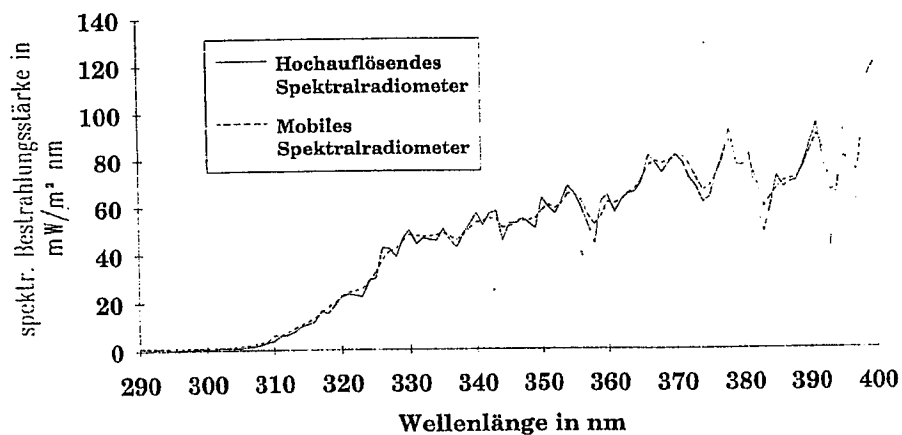


Abb.2 Spektrale UV- Globalbestrahlungsstärke

2.2. Medizinische Aspekte der UV-Bestrahlung in der Dermatologie

Zur Behandlung bestimmter Hautkrankheiten wie Neurodermitis und Psoriasis werden schon seit längerem natürliche Sonnenstrahlung und künstliche Bestrahlungsquellen mit Erfolg eingesetzt. UV-Bestrahlungsstärkemessungen sind aus Gründen der Vergleichbarkeit

verschiedener Bestrahlungsgeräte und Sonneneinstrahlungen sowie zur Berechnung applizierter Bestrahlungsdosen bzw. erforderlicher Bestrahlungszeiten notwendig. Den tageszeitlichen Verlauf der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke für eine wechselhafte Wetterlage ist exemplarisch in Abb.3 dargestellt.

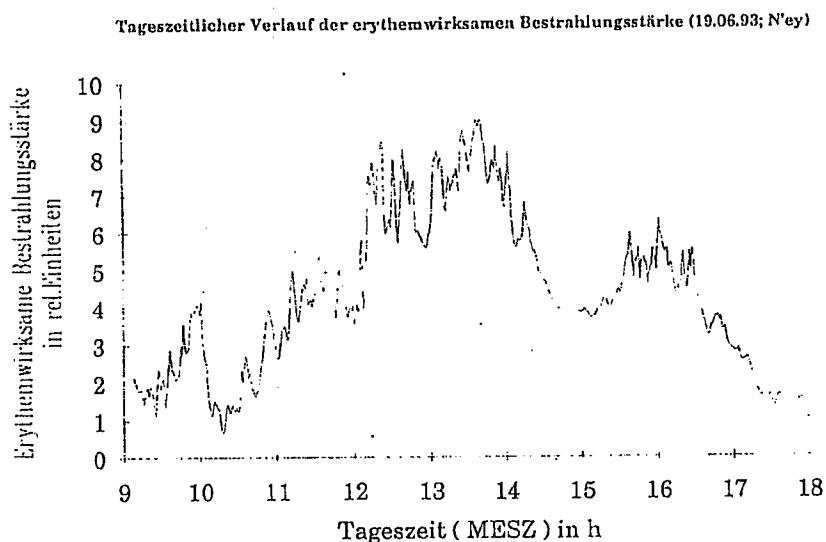


Abb.3 Beispiel eines tageszeitlichen Verlaufs der gemessenen erythemwirksamen Bestrahlungsstärke

Während eine Voraussage der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke für den klaren und vollständig bedeckten Himmel mit sehr kleinen Unsicherheiten möglich ist, kann aufgrund der Dynamik der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke bei wechselhaftem Wetter keine genaue Vorhersage getroffen werden.

3.Literatur

- /1/ Kaase,H.; Chen,M.; Kandpal,H.C.: Measurements and Model Calculations for Estimation of the Effect of UV-Solar Irradiance over Human Skin; Photochem. a. Photobiol., (1993) in Print
- /2/ Bird,R.R.; RiordanC.: Simple Solar Spectral Model for Direct and Diffuse Irradiance on Horizontal and Tilted Planes at the Earth's Surface for Cloudless Atmospheres, Am.Met.Soc., (1986)
- /3/ Dehne,K.; Kasten,F.: Die Spektren von extraterrestrischer Sonnenstrahlung und Globalstrahlung im UV als Grundlage für Referenz-Sonnentage, Lichtforschung 5 (1983)

Einheitliche Messung strahlungsphysikalischer und lichttechnischer Größen

Rolf Ziegler

In Anbetracht der Vielzahl vorhandener Meßgeräte für das Gebiet der Strahlungs- und Lichtmeßtechnik und deren z.T. erheblichen Kosten wäre ein Meßgerät bzw. Meßprinzip zur gleichzeitigen Erfassung verschiedener Grundgrößen der Strahlungs- und Lichtmeßtechnik mit **einem** Meßgerät von großem Vorteil. Dabei stellt eine spektrale Auflösung und Bewertung ein Problem für sich dar, das in der Regel mit massivem gerätetechnischen Aufwand gelöst wird und damit nur großen Firmen zur Verfügung steht.

Aus diesen Gründen wurde nach Abhilfe gesucht und ein Gerät entwickelt, das einen Großteil dieser Messungen ohne Veränderung der optischen und mechanischen Anordnung erlaubt.

Ein derartiges Gerät stellt die Kombination zweier bisher getrennter Meßgerätefamilien dar, der richtungsauflösenden und der spektral zerlegenden Meßgeräte. Ausgangspunkt ist die richtungsmäßige Erfassung der spektralen Strahldichte, aus der sich nach folgender Formel verschiedene Strahlungs- und Lichtfeldgrößen ableiten lassen:

$$X = C * \iint f(L_{e\lambda}(\vec{s}, \lambda)) d\lambda d\vec{\Omega}$$

X Strahlungs- oder Lichtfeldgröße

C Konstante

$L_{e\lambda}$ spektrale Strahldichte

\vec{s} Richtungsvektor der spektralen Strahldichte

Dipl.-Ing. Rolf Ziegler

Technische Universität Ilmenau

Fak. E/I / Medientechnik

PF 327

98684 Ilmenau

Die Formel läßt erkennen, daß man durch Integration der Strahldichte über den Raumwinkel und über die Wellenlänge alle Grundgrößen ermitteln kann. Voraussetzung ist die Kenntnis der richtungsmäßigen Verteilung der Strahldichte L . Der Term $f(L_{\omega})$ kann dabei verschiedene Faktoren beinhalten.

Zur Erfassung der Richtungsabhängigkeit und der dabei erforderlichen Halbraumabstrahlung wurde eine spezielle Anordnung verwendet, die sich durch Verwendung nur eines Spiegels auszeichnet. Dabei muß allerdings das Spektrometer in einer Koordinate mitbewegt werden. Abb.1 zeigt den schematischen Aufbau dieses Gerätes:

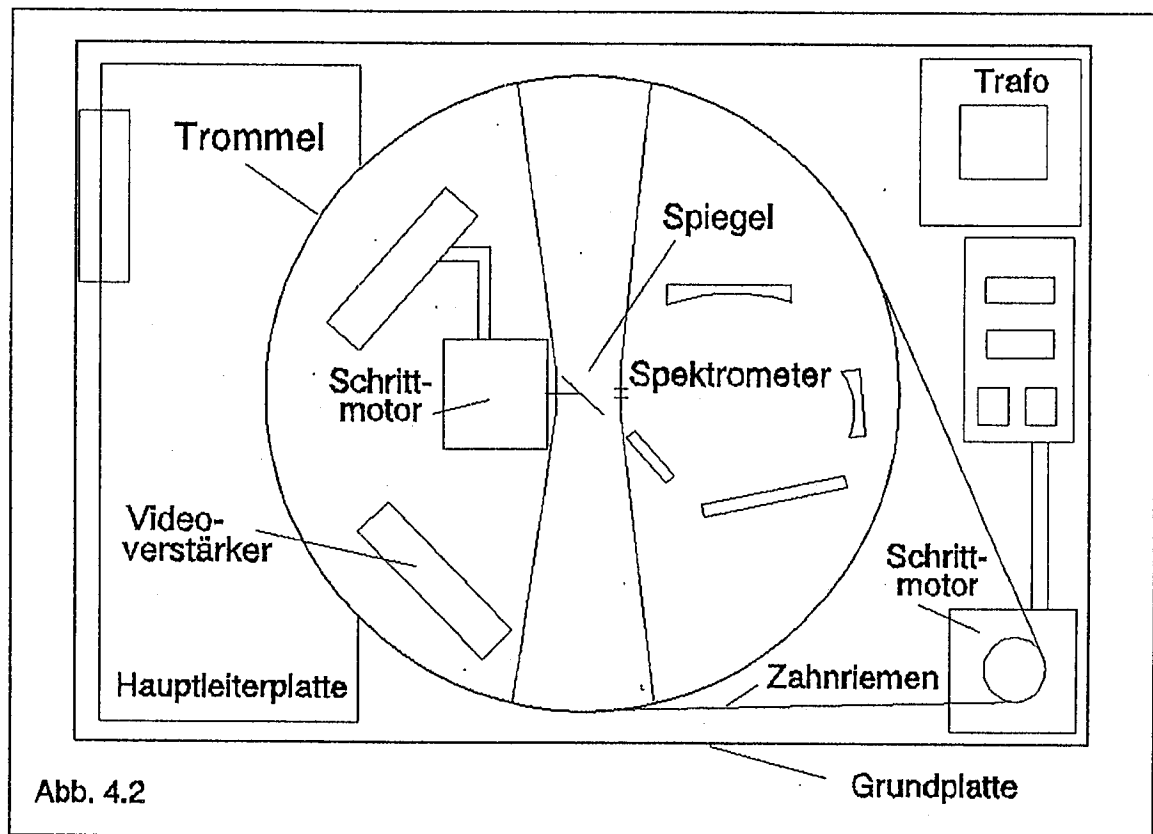


Abb. 4.2

Auf einer Grundplatte befindet sich eine drehbar gelagerte Trommel, die das Spektrometer mit der CCD-Zeile sowie der Schrittmotor zum Antrieb des Umlenkspiegels, der den Öffnungswinkel des Spektrometers um 90° umlenkt. Durch Drehung dieses Spiegels ist die Abstrahlung aller meridianen Winkel gesichert. Dreht man dazu die Trommel innerhalb eines Bereiches von 180° , kann somit jeder Punkt im oberen Halbraum erfaßt werden. Nachdem die Strahlung mittels des Spektrometers in Czerny-Turner-Anordnung spektral zerlegt wurde und durch eine CCD-Zeile detektiert wurde, erfolgt die analog/digital-Wandlung.

Über eine Parallelschnittstelle werden die Daten - Pixel für Pixel gewandelt - in den Steuer- bzw. Auswerterechner überführt. Dort erfolgt eine rechnerische Korrektur zur Eliminierung aller spektralen Einflüsse des Gerätes sowie die Umrechnung in die Strahldichte $L_{e\lambda}$. An dieser Stelle kann nun eine Auswertung oder eine Abspeicherung des Meßdatenfeldes erfolgen. Dies bietet die Möglichkeit der zeitlichen und räumlichen Trennung der Messung und der Auswertung.

UVC-Strahlungsquellen zur Wasseraufbereitung

1. UV-Strahlung und Wirkungen

Im Jahre 1877 entdeckten die englischen Forscher Dowes und Blount, daß die Vermehrung von Mikroorganismen aufhörte, wenn man sie dem Sonnenlicht aussetzte. Spätere Untersuchungen zeigten, daß dieser Effekt von dem unsichtbaren Anteil der Sonnenstrahlung unter 320 nm ausging. Seit Beginn unseres Jahrhunderts nutzt man diese Erkenntnisse und entwickelt zielgerichtet UV-Strahlungsquellen zur Desinfektion.

UV-Strahlung ist kurzwellige energiereiche elektromagnetische Strahlung jenseits des sichtbaren Lichtes. Man unterteilt sie in 3 Bereiche:

UVA 400..315nm : Die Strahlung des UVA-Bereiches ist in der Sonnenstrahlung enthalten. Sie bewirkt verschiedenartige fotochemische Reaktionen und hat pigmentierende Wirkung auf den Menschen.

UVB 315..280nm : Die Strahlung des UVB-Bereiches ist nur noch zum Teil im Sonnenlicht enthalten und hat pigmentierende und erytheme (hautrötende) Wirkung.

UVC 280..100nm : Die kurzwellige UVC-Strahlung der Sonne kann die Ozonschicht der Erde nicht durchdringen. UVC-Strahlung hat einen starken keimtötenden Effekt und verursacht Hautrötungen (erythem) und Augenentzündungen (Konjunktivitis). Strahlung unter 200nm bildet Ozon aus Luftsauerstoff.

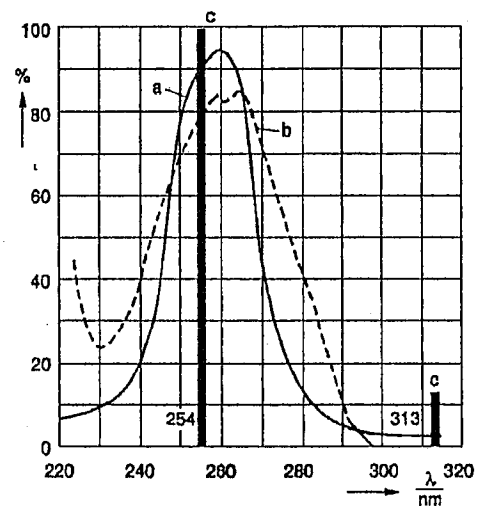
Bakterien, Schimmel, Hefen, Algen und Viren können bei entsprechenden Dosisleistungen durch UVC-Strahlen abgetötet werden.

Die bakterientötende Wirkung von UV-Strahlung besitzt eine Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge. Sie zeigt Ähnlichkeiten zur Absorptionskurve der Thymonukleinsäure, einem Bestandteil der DNS. Durch UV-Bestrahlung ändert sich dieser Stoff, es findet keine Zellteilung, somit keine Vermehrung mehr statt.

Abb. 1

Zusammenhang zwischen der Wellenlänge und der bakterientötenden Wirkung von UV-Strahlung

- a- die stärkste Wirkung wird im Bereich 250..270 nm erreicht
- b- Absorptionskurve der Thymonukleinsäure
- c- Primärstrahlung der Quecksilberniederdruckentladung



Die Bakterientötung hat keinen Schwellwert, es genügt schon die kleinste Dosis, um zufällig Bakterien abzutöten, andererseits gibt es keine noch so hohe Dosisleistung um 100% aller Bakterien zu erreichen.

2. Entladungslampen als UV-Strahlungsquellen

Bei einer Gasentladung fließt ein elektrischer Strom zwischen zwei Elektroden durch ein Gas. Dabei bewegen sich elektrisch geladene Teilchen (Elektronen, Ionen) im elektrischen Feld zwischen Gasatomen. Es kommt dabei zu Zusammenstößen und Herauslösen von Elektronen (Ionisation) oder Hebung auf höhere Energieniveaus (Anregung). Bei der allgemein spontan erfolgenden Rückkehr in den Grundzustand wird die Energiedifferenz als elektromagnetische Strahlung emittiert.

Spektren einer Gasentladung bestehen aus diskreten Linien der Füllgase, bei Dampfdruckerhöhung erfolgt eine Verbreiterung dieser Linien bis zum Kontinuum. Die Aufrechterhaltung einer Entladung erfordert eine bestimmte Ionisationsrate (Stromdichte). Durch die an den Elektroden angelegte Spannungsdifferenz bildet sich ein elektrisches Feld aus, welches von Gasart, Gasdruck, Geometrie des Entladungsrohres und hauptsächlich dem Entladungsstrom beeinflusst wird.

Gasentladungsstrahler können wegen ihrer negativen Kennlinie nur mit einem Vorwiderstand (Drossel) betrieben werden. Dabei treten bis zu 50% Verluste auf. Eine Minderung auf unter 10% ist durch Wechselstrombetrieb (HF-Betrieb) möglich. Hg-Dampflampen sind die zur Zeit wichtigsten UV-Strahlungsquellen. Sie erreichen hohe Strahlstärken und eine hohe Strahlungsausbeute.

Man unterscheidet Niederdruck- (0,01..1 Torr), Hochdruck- (100 Torr..20 atm) und Höchstdrucklampen (30atm..100atm).

2.1. Hg-Hoch- und Mitteldruckstrahler

Hg-Hoch- und Mitteldruckstrahler werden im Leistungsbereich von einigen hundert Watt bis 100 Kilowatt hergestellt. Sie haben ein breites Strahlungsspektrum (bis hinein in den Infrarotbereich), im Gegensatz zu den nahezu monochromatischen Niederdruckstrahlern.

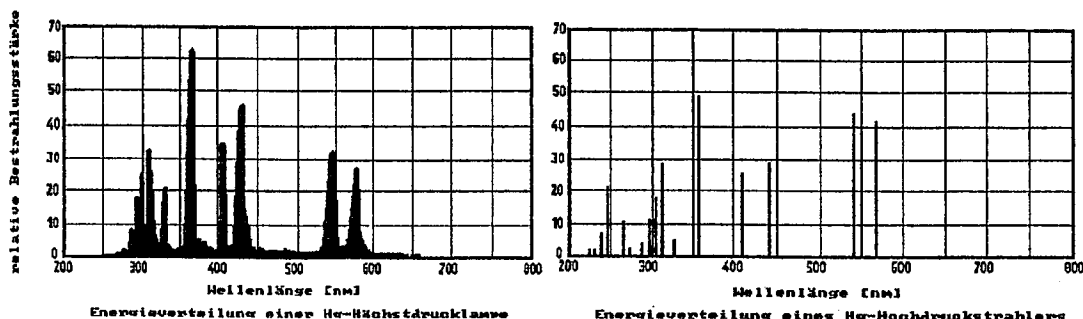


Abb.2

Der UVC-Anteil dieser Strahler beträgt 10..15% bezogen auf die elektrische Leistungsaufnahme. Ihre Ausbeute ist somit für die Bakterientötung nicht optimal. Die Lebensdauer beträgt bei einem UVC-Strahlungsabfall von bis zu 50% etwa 1000..1500 Stunden. Das ist nur ein Zehntel der Lebensdauer von Hg-Niederdruckstrahlern.

Trotz der aufgeführten Nachteile stellen Hoch- und Mitteldruckstrahler die einzige technisch sinnvolle Lösung für das Erreichen sehr hoher UV-Dosisleistungen dar. Bei der Aufarbeitung von Abwässern bis hin zu Deponiesickerwässern werden heutzutage zum größten Teil diese Strahlertypen verwendet.

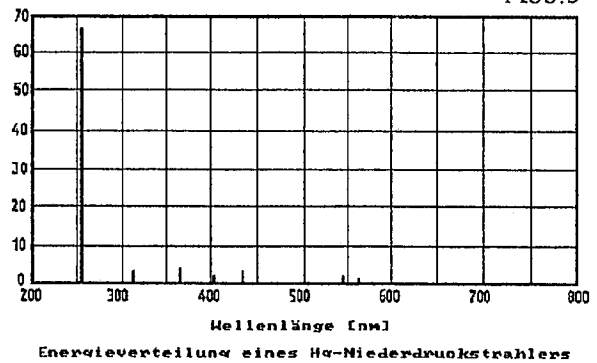
2.2. Hg-Niederdruckstrahler

Hg-Niederdruckstrahler werden im Leistungsbereich 4W bis 150W, mit speziellen Zusätzen bis zu 1500W, hergestellt. Sie bestehen aus einem Quarzglasrohr mit eingeschmolzenen Wendeln und sind mit Quecksilber und Argon (als Zündgas) gefüllt.

UVC-Strahlungsquellen zur Wasseraufbereitung ; Kanigowski, Uwe

UTG Umwelttechnik & Gerätebau GmbH Rudolfstraße 47 D- 99092 Erfurt

Das Quecksilber im Entladungsrohr ist im Überschuß vorhanden, es ist auch im Betriebszustand niemals vollständig verdampft. Der Betriebsdampfdruck hängt vom tiefsten Wert der Wandtemperatur des Strahlers ab. Für herkömmliche Hg-Niederdruckstrahler hat sich ein Wert zwischen 40..50°C als optimal erwiesen, der sich dabei einstellende Quecksilberdampfdruck beträgt 10^{-5} bar.



Hg-Niederdruckstrahler emittieren hauptsächlich die Hg-Resonanzlinie bei 254nm (Abb.3). Bei optimalen Betriebsbedingungen beträgt die Ausbeute für diese Linie etwa 40%.

Ihr Wert liegt nahezu im Maximum der Desaktivierungskurve für Mikroorganismen (siehe Abb.1.). Eine weitere Emission einer Quecksilberentladung liegt bei 185nm. Diese bewirkt bei Luft oder Sauerstoffanwesenheit die Generation von Ozon. Wenn das Entladungsrohr aus speziellem Quarzglas gefertigt ist, kann eine vollständige Absorption der ozonbildenden Linien erreicht werden.

Die Nutzungsdauer dieser Strahlertypen reicht bis etwa 10.000 Stunden bei einem Strahlungsrückfall von etwa 50% (254nm).

Beim Betrieb von Hg-Niederdruckstrahlern hat die Umgebungstemperatur eine große Bedeutung für die Ausbeute der UV-Anteile. In den meisten Fällen werden Strahler in Quarzküvetten betrieben, in denen keine ausreichende Luftzirkulation gewährleistet ist. Nach einer Einbrennzeit von einigen Minuten sinkt der UV-Anteil des Strahlers aufgrund erhöhter Rohrtemperatur bis zu einem Drittel des Maximalwertes ab. Ein Ausweg, diesen Effekt zu kompensieren, ist die Dotierung des Strahlers mit zusätzlichen Stoffen. In der Praxis verwendet man Indium auf einem Goldplättchen, welches an bestimmten Stellen im Rohr befestigt ist. Es entsteht eine Amalgamverbindung durch Reaktion des Quecksilbers mit den Füllgasen. Diese bindet Quecksilber und gibt es erst bei höheren Temperaturen (90..130°C) wieder frei. Dadurch kann der Dampfdruck über einen weiten Temperaturbereich konstant gehalten werden.

Durch Schaffung geeigneter Verhältnisse der Rohrdurchmesser zur Rohrlänge kann der Entladungsstrom entsprechend günstiger UV-Ausbeuten variiert werden.

Zum optimalen Betrieb von Hg-Niederdruckstrahlern verwendet man elektronische Vorschaltgeräte mit einer Betriebsfrequenz um 40 kHz. Dadurch wird gleichermaßen eine schonende Lampenzündung erreicht und die Lebensdauer des Strahlers erhöht.

3. Technische Ausführungsformen von Hg-Niederdruckstrahlern

Hg-Niederdruckstrahler werden u.a. von folgenden in Deutschland ansässigen Firmen gefertigt: PRIAMOS (ehem.NARVA), WATER GUARD Jena (Hauptsitz Kanada), PHILIPS, Heraeus, UV-Technik Langewiesen/Maintal. Die elektrischen Leistungsklassen haben ein Spektrum von 4..1500 W. Bei Umsatz von Leistungen über 150 W müssen spezielle Kühlfallen vorgesehen werden. Die geometrischen Abmessungen der Strahler reichen von 10cm bis hin zu 1,5m Länge und 8..25mm im Durchmesser, die Formen gehen von Stab-, über U-Form bis hin zu Mäander- oder Wendelform. Neuere Technologien erlauben die Herstellung von Amalgamstrahlern.

Hg-Niederdruckstrahler sind somit vielen technischen Problemen anpassbar. Sie stellen die kostengünstigste und zuverlässigste UVC-Quelle für Desinfektionsanwendungen und Aufbereitung von Wasser oder Gasen dar. Aufgrund ihrer eingeschränkten Maximalleistung sind sie für großtechnische Anlagen jedoch nur bedingt verwendbar.

1. Biochemische Wirkung der UV-C Strahlung

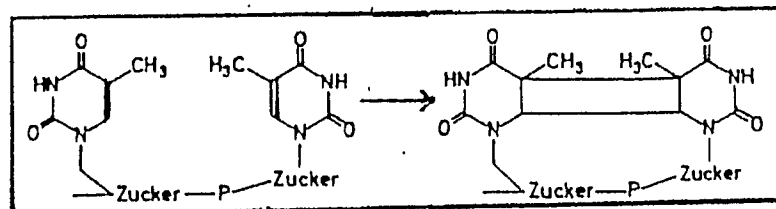
Die desinfizierende Wirkung des Sonnenlichtes wurde schon frühzeitig erkannt, und daraus wurden zum Ende des 19. Jh. erste technische Anwendungen entwickelt. In der aktuellen Anwendung wird als Strahlungsquelle fast ausschließlich der Quecksilberniederdruckstrahler, ggf. in der Modifikation als temperaturstabilisierter Amalgamstrahler verwendet. Speziell in dem hier zu besprechenden Thema Warmwasserdesinfektion finden die Amalgamstrahler ein Einsatzgebiet.

Bei der Diskussion der Strahlungswirkung auf die Bestandteile der Zelle spielt es zunächst keine Rolle, ob wir einen Einzeller oder einen Mehrzeller betrachten. Der grundsätzlich ähnliche Aufbau gestattet es, hier verallgemeinerte Aussagen zu treffen. Betrachtet man die Zellinaktivierungskurve, so erkennt man das Maximum bei 260 nm, also nahe bei der Hauptemissionslinie der Quecksilberniederdruckstrahler.

Verantwortlich für die Inaktivierung der bestrahlten Zelle sind Reaktionen von Nucleinsäuren und Aminosäuren nach Anregung durch die energiereiche Strahlung. Diese Verbindungen kommen in der Zelle als Bestandteil der DNS/RNS bzw. der Proteine vor.

Nucleinsäuren : DNS und RNS als Träger der Erbinformation bestehen aus Zuckerphosphorsäureesterketten mit den Nucleinsäurebasen Guanin (G), Adenin (A), Cytosin (C) und Thymin (T) bzw. Uracil (U) in der RNA. Diese Basen absorbieren bei 260 nm. Typische Reaktionen sind Dimerbildung bei den Pyrimidinbasen (Abb. 1), Hydratbildung, Adduktbildung, Vernetzungen und Strangbrüche.

Abb. 1:
Thymindimerenbildung



Die strukturell veränderte Nucleinsäurebase führt zu einer Fehlstelle auf der DNS. Die in der DNS genetisch codierte Information über den Proteinaufbau der Zelle wird dadurch fehlerhaft. Damit können lebenswichtige Proteine nicht mehr richtig synthetisiert werden, was für die Zelle Letalität bedeuten kann.

Aminosäuren : Von den 20 lebenswichtigen Aminosäuren absorbieren nur vier im interessanten Wellenlängenbereich um 260 nm. Es sind Phenylalanin, Tyrosin, Tryptophan sowie Cystin. Die drei ersten Säuren haben den aromatischen Sechsring als absorptionswirksamen Bestandteil, beim Cystein ist es die chromophore -SH Gruppe. Die Untersuchungen zur UV-Reaktion der freien Aminosäuren sind in der Literatur recht ausführlich dokumentiert. Über den Anteil an der letalen Dosis für eine Zelle, verursacht durch Strukturänderungen der im Proteinmolekül eingebundenen Aminosäure, liegen noch keine endgültigen Ergebnisse vor.

Nicht unerwähnt bleiben soll in diesem Zusammenhang die Möglichkeit der Reparatur UV-geschädigter DNS. Neben zwei rein biochemischen Reparaturprozessen (Dunkelreaktivierung) kann man UV-bestrahlte Zellen mit anschließender Nachbestrahlung mit Licht um 400 nm zu einer Reparatur anregen. Ein zelleigenes Photoenzym aktiviert die Spaltung der Thymindimeren, sozusagen die Rückreaktion der in Abb. 1 dargestellten Dimerbildung.

Diese Reparaturmechanismen sind letztlich auch dafür verantwortlich, daß die UV-geschädigten Zellen genetisch ähnlicher Bakterienstämme äußerst unterschiedlich auf UV-Bestrahlung reagieren.

UV-Warmwasserdesinfektion zur Legionellae-Prophylaxe ; Wulfert, C.
UTG Umwelttechnik & Gerätebau GmbH Rudolfstraße 47 99092 Erfurt

2. Legionellen

Bakterien der Gattung Legionella sind typische Bewohner feuchter bzw. wäßriger Lebensräume. Ihr natürlicher Lebensraum sind Süßwässer oberflächengewässer. Hier kommen sie mit einer Häufigkeit von < 1 Keim pro Liter vor. Ins Bewußtsein der Öffentlichkeit traten diese Krankheitserreger erstmals 1976, nachdem bei einem Kongreß der "American Legion" in Philadelphia 150 Erkrankungen, davon 29 mit tödlichem Verlauf auftraten. Als Erreger dieser Krankheit, die einer schweren Lungenentzündung ähnelt, isolierte man ein unbekanntes Bakterium und benannte es nach dem Ereignis der ersten bekannt gewordenen Wirkung.

Inzwischen sehr ausführlich untersucht, treten trotz aller Kenntnisse immer wieder Infektionen mit tödlichem Ausgang auf. Um dies plausibel zu machen, soll an dieser Stelle ein kurzer Abriss zur Physiologie, Infektion und Erkrankung erfolgen.

Um die für eine Infektion für notwendig gehaltene Keimzahl von > 100 pro ml Wasser zu erreichen, bedarf es des Aufenthaltes bei Temperaturen zwischen 30 und 50 ° C über einen Zeitraum von Tagen bis Wochen, wie er aber in Boilersystemen und Klimaanlage nicht untypisch ist. Wird dieses legionellenhaltige Wasser über technische Systeme in ein Aerosol verwandelt (Dusche, Whirlpool, Raumluftbefeuchter, Deckenfilter von Klimaanlage, Inhalatoren), so können die lungengängigen Aerosole ($3-5\mu\text{m}$) einschließlich der eingeschlossenen Legionellen eingeatmet werden. Das Einatmen gilt als der entscheidende Weg bei der Infektion.

Die für die Abwehr in die Lunge eingedrungener Bakterien zuständigen Makrophagen (Fresszellen des Blutes) fressen die Legionellen. Im Gegensatz zu anderen Bakterien vermehren sich Legionellen in den Makrophagen weiter, daran geht die Makrophagenzelle zugrunde und die giftigen Stoffwechselbestandteile der Legionellen verbreiten sich in der Lunge. Folge ist eine Lungenentzündung, deren Behandlung mit Antibiotica erfolgt. Diese Behandlung muß aber berücksichtigen, daß eine Legionellendesinfektion Ursache der Erkrankung ist, ansonsten besteht bei Fehlbehandlung die Gefahr eines tödlichen Verlaufes.

3. Legionellendesinfektion

Diskutiert man die Wirkung von Desinfektionsmaßnahmen z. B. im Wasser, so wird immer wieder eine Frage zu beantworten sein; welcher Gehalt an Bakterien darf nach der Aufbereitung oder beim Verbraucher noch im Wasser vorliegen, mit welchen Verfahren kann ich diese Werte erreichen. Für das Trinkwasser haben die DIN 2000 und die TVO relativ klare Verhältnisse geschaffen. Es existieren verschiedene Verfahren, um unzulässig hoch mit Bakterien verseuchtes Wasser aufzubereiten., genannt seien hier Verfahren auf der Basis chlorhaltiger Verbindungen, die Desinfektion mit UV Strahlung und mit Ozon.

Diese Verfahren kommen im Wasserwerk zum Einsatz und unter regulären Leitungsverhältnissen hat der Verbraucher ein hygienisch einwandfreies Trinkwasser. Wird dieses Wasser jedoch beim Verbraucher thermisch behandelt, so sind dann die Vorschriften der TVO nicht mehr gültig.

Seit Beginn der achtziger Jahre laufen Untersuchungen zur Minimierung der Legionellengefahr. Schwerpunkt dabei ist die Schaffung technischer Systeme, die eine Legionellenvermehrung gezielt verhindern bzw. vorhandene Verseuchungen durch Desinfektionsverfahren reduzieren.

In die Untersuchung einbezogen wurden die oben schon erwähnten Verfahren, zusätzlich die thermische Desinfektion. Die Desinfektion mit Chlorverbindungen bzw. Ozon erwies sich als wenig wirksam, außerdem sind sie unpraktisch bei den vorgesehenen Anwendungsfällen. Die thermische Desinfektion ist mit hoher Wirksamkeit möglich, erfordert jedoch ein gezieltes Aufheizen des Wassers auf Temperaturen > 60 °C. Gleichzeitig muß gesichert werden, daß keine

Stagnationszonen im Wasserkreislauf entstehen, da hier durch längere Verweilzeit und niedrigere Temperatur wieder günstige Wachstumsbedingungen für die Legionellen auftreten können.

Die UV-Desinfektion kommt mit vergleichsweise niedrigem Energieeinsatz aus. Außerdem erfolgt kein zusätzlicher Eintrag chemischer Verbindungen in das Wasser. Aufwendige Isolationsmaßnahmen, Vorrichtungen zum Schutz vor zu heißem Wasser und zusätzliche thermische Belastung aller Baugruppen der Warmwasseranlage entfallen.

Ein Maß für die Wirksamkeit der Desinfektion ist die Keimzahlreduktion. Mit Hilfe biochemischer Nachweisverfahren wird der Legionellengehalt im Wasser vor und nach der Desinfektion bestimmt. In Abhängigkeit von der Intensität der Einwirkung (Bestrahlungsdosis) erhält man verschiedene Reduktionsfaktoren.

Die Bestrahlungsdosis als Produkt aus Bestrahlungsstärke und Bestrahlungszeit wird in den meisten UV-Desinfektionsuntersuchungen durch Variation der Wasserdurchflußmenge gezielt verändert, um so die Reduktionsfaktoren zu ermitteln. Zu berücksichtigen bei der Bewertung der Ergebnisse sind besonders die optischen Eigenschaften und die Temperaturverhältnisse des Wassers, sowie die verwendeten Bakterienstämme.

Aus der Literatur und aus Eigenuntersuchungen ist bekannt, daß *Legionella pneumophila* als am häufigsten vorkommende Art der Gattung *Legionella* sehr empfindlich auf UV-Bestrahlung reagiert. Nachfolgend sind erste Ergebnisse aus eigenen Untersuchungen dargestellt.

Zum Einsatz kam der Prototyp einer von unserer Firma entwickelten UV-Bestrahlungseinheit. Mit einem neu entwickelten 60 Watt Quecksilberniederdruckamalgamstrahler bestückt, ist dieses Gerät speziell für den Einsatz in Warmwasseranlagen mit Ringleitung konzipiert. Um die aufwendige Züchtung der notwendigen *Legionella p.* Kulturen zu umgehen, wurde mit einer verseuchten Warmwasserquelle gearbeitet.

Vom Warmwasser wurden vor und nach der Bestrahlung 1 l Proben zur Gehaltsbestimmung entnommen. Die Bestrahlung erfolgte bei zwei verschiedenen Durchflußmengen (Bestrahlungszeit). Die Warmwassertemperatur betrug 43 °C.

Tabelle 1: Reduzierung von *Legionella p.* durch UV-Bestrahlung

Spezies	Koloniezahl in 1 l	Bestrahlungszeit	Durchfluß
<i>Legionella p.</i> SG 2	8000	ohne	ohne
<i>Legionella p.</i> SG 2	1-2	7,5 sec	900 l/h
<i>Legionella p.</i> SG 2	0-1	10,0 sec	700 l/h

Derzeit befindet sich eine Anlage innerhalb einer Versuchsserie im Dauerbetrieb. Dabei wird es dann auch möglich sein, ein der Bestrahlungsstärke proportionales Sensorsignal auszuwerten, um Änderung der Strahlerverhaltens und der optischen Wasserqualität in die Bewertung aufzunehmen.

In der Diskussion von Einsatzprinzipien für UV-Anlagen in der Desinfektion und speziell in der Legionellenprophylaxe spielt immer wieder das Problem der Wiederverkeimung eine Rolle. Auf Grund der fehlenden Depotwirkung der UV-Desinfektion kann das derart behandelte Wasser bei längerer Stagnation in nachfolgenden Leitungsabschnitten aufkeimen. Diesem Effekt kann eigentlich nur durch Verlegung der Desinfektion in die Nähe des "user points" begegnet werden. Für Anwendungen mit sporadischen Wasserverbrauch bietet sich dann eine dimmbare Bestrahlungseinheit an, die nur bei Durchfluß mit voller UV-Leistung arbeitet. Auch solche Bestrahlungseinheiten liegen als Prototyp vor. Über einen durchflußabhängiges Signal wird die Lichtleistung der UV-Lampe gesteuert.

The Engineering at the Technical University of Poznań

Różycka Małgorzata

Zalesiński Andrzej

Prepared by the Head of the Lighting Division ,Prof.W.Golik

Specialists in the field of lighting engineering are educated in Poland at two technical universities: in Warsaw and in Poznań. The curricula in the field of lighting engineering at oth these universities are differrent.

The curriculum at the Technical University of Warsaw covers a smaller amount of hours than at the Technical University of Poznań. In both the cases, educating specialists of lighting engineering is accomplished at the Electrical Engineering Department.

At the Technical University of Poznań, specialists in the field of lighting engineering (during five-year studies) have 4245 hours of classes i.e. 1680 hours of lectures, 1335 hours of auditory instruction, 840 hours of laboratory classes and 330 hours of designing. Specialized classes start with the sixth semester and include 690 hours together; 255 hours of lectures, 135 hours hours of auditory instruction, 165 hours of laboratory classes, and 135 hours of designing.

The general educating covers: foreign languages, economy problems, mathematics, physics, foundations of computer science, foundations of mechanical consrtuction, theoretical electrotechnics, electronic elements and circuits, modeling of dynamic systems, foundations of atomatic control, electric and electronic metrology, electric machinery, electric drive, electrothermics, energy convrsions, electiric networks and devices, electric materials technology, high voltage technology, and power engineering electronics.

The specialized training covers: foundations of lighting engineering, physiology of seeing, and lighting technology, which make together 210 hours of classes (75 hours of lectures, 60 hours of auditory instruction, 30 hours of laboratory classes and 45 hours of designing), photometry which makes together 105 hours (30 hours of lectures, 15 hours of auditory instruction, and 60 hours of laboratory classes), lighting equipment which makes together 270 hours (120 hours of lectures, 45 hours of auditory instruction, 75 hours of laboratory classes, and 30 hours of designing), M.S. seminar - 60 hours, and selected problems of optical radiaton- 45 hours together (30 hours of lectures and 15 hours of auditory instruction).

Małgorzata Różycka

Andrzej Zalesiński

Technical University of Poznań - Division of Lighting Engeneering
ul.Piotrowo 3a PL-60-965 Poznań Poland

Graduates of the specialization lighting engineering have wide and versatile knowledge in the field of designing, building and operating lighting devices and lighting sources. They can construct meters for light, spectral, and colorimetric measurements and carry out these measurements. They are also prepared for using UV, VIS, and IR radiation in different medical and commercial applications.

Funktionalität im Raum - Erfahrungen einer Lichtplanerin

Dr.-Ing. Kampe, Annegret, Lichtsysteme Halle Büro Thüringen, Tütteleben

1 Einleitung

In diesem Beitrag möchte ich anhand einiger Beispiele meine Erfahrungen als Lichtplanerin vorstellen.

In der Beziehung zwischen Bauherren, Architekt und Elektroplaner muß der Lichtplaner vermittelnd und ausgleichend wirken die Basis für den Lichtplaner ist die Funktion des Raumes.

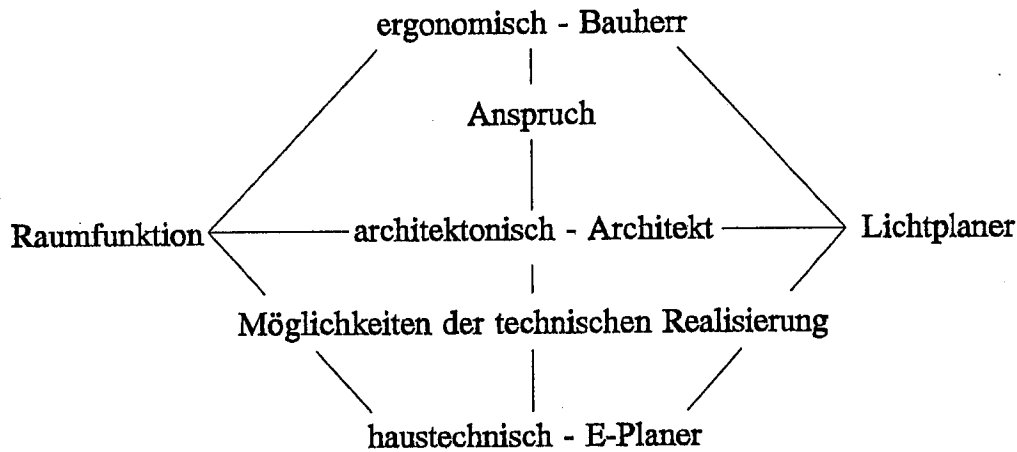


Bild 1 Verdeutlichung der Beziehung zwischen Bauherren und Lichtplaner

Diese Funktion in ergonomischer, architektonischer und haustechnischer Hinsicht muß in intensiven Gesprächen gefunden werden. Unter Umständen können sich Widersprüche aus dem einzelnen Sichten der Beteiligten ergeben. Diese Widersprüche aufzuzeigen und zu lösen muß und kann Aufgabe des Lichtplaners sein.

Anschließend möchte ich diese Beziehungen anhand von ausgewählten Beispielen erläutern.

2 Lichtplanung Euro-Center Erfurt

Das Euro-Center Erfurt ist eine größere Discothek. Es wendet sich an ein Publikum im Alter zwischen 20 und 60 Jahren. Die Funktionen der verschiedenen Räume wurden durch eine Gruppe von Innenarchitekten analysiert und durch Entwürfe von Bar-Räumen manifestiert.

Die Bars folgten den Themen:

- "fresco" italienische Eisbar,
- "HELLAS" Spezialitäten der griechischen und europäischen Küche,
- "le petit" Speisenbar mit französischen Ambiente.

Diese Bars sind im Mitteltrakt rund um einen "Marktplatz" angeordnet. Im Keinen Saal, der ein anspruchsvolleres Publikum erreichen soll, folgen die Bars

- "Amadeus",
- "Josephine".

Beide Bars sind aus wertvollen Materialien hergestellt. Die Beleuchtung soll dieses wertvolle Ambiente unterstreichen. In der eigentlichen Discothek, dem Großen Saal, finden sich die Bars

- "Skyline",
- "Caribic".

Beide Bars sollten auch durch die Beleuchtung Träume und Fernweh wachrufen und zum Verweilen einladen. Weiterhin waren noch die Bars

- "Starlight",
- "Moonshine",
- "Olympic"

und das Restaurant zu beleuchten. Anhand dieser Aufstellung erkennt man, daß keine allgemeingültige Lösung für alle Bars zu finden war. Jede Bar mußte für sich wirken, ohne die anderen zu stören.

Aufgrund der Bar-Entwürfe im Maßstab 1:20 der Innenarchitekten und der farbigen Ansichtszeichnungen ebenfalls mit dem Maßstab 1:20 wurden formale Entsprechungen der Leuchtenkörper gesucht. Die Leuchte wurde als Möbelstück aufgefaßt. Die formale Lösung wurde durch das Einzeichnen der Leuchte in den Bar-Entwurf gefunden. Um auch die Ausleuchtung der Bar im Vorfeld abschätzen zu können, wurde die Lichtwirkung mit einem hellem Stift in einer farblosen Kopie verdeutlicht. Überschlüssig wurde die Beleuchtungsstärke abgeschätzt.

So wurden verschiedene Entwürfe erarbeitet und mit dem Bauherren und den Innenarchitekten diskutiert.

Als schwierige Aufgabe erwies es sich, in der Zusammenarbeit Lichtplaner - Innenarchitekt - Bauherr - Elektroplaner eine Allgemeinbeleuchtung für den Mitteltrakt, den sogenannten Marktplatz zu erarbeiten.

Im Vorfeld wurde eine Beleuchtung gefordert, die eine tageslichtähnliche Wirkung (in einem Raum ohne Tageslicht) bis hin zu romantischen Mondschein zuläßt.

Eine solche Beleuchtung wurde aufgrund der baulichen Voraussetzungen durch Aufbau-Downlights mit Metaldampf-Halogen- und Hochvolt-Halogenglühlampen-Bestückung realisiert. Insgesamt konnte so eine maximale Beleuchtungsstärke von 800 lx realisiert werden.

Während des Betriebes stellte sich jedoch heraus, daß nur die "Mondscheinbeleuchtung" gebraucht wurde. Bei der tageslichtähnlichen Beleuchtung treten die Bars zu sehr in Hintergrund, zum anderen fühlt man sich beim Eisessen unbehaglich und beobachtet. Außerdem wurde die geplante Dimmung der Halogen-Glühlampen nicht eingebaut. Der Auftraggeber war mit dieser Beleuchtung nicht zufrieden und sie wurde überarbeitet. Offenbar wurden im Vorfeld die eigentlichen Funktionen des Raumes falsch eingeschätzt und somit eine "falsche" Beleuchtung entworfen.

Wesentlich besser gelang die Allgemeinbeleuchtung im Kleinen Saal, da hier die Funktion von vornherein festlag und auch die Variabilität besser gewährleistet wurde.

Durch die Zusammenarbeit mit dem Elektroplaner konnte die Notbeleuchtung harmonisch in das Gesamtkonzept eingepaßt werden.

Abschließend läßt sich zu diesem Projekt folgender Handlungsablauf resümieren:

- Entwurf der Beleuchtungsstärkeverteilung,
- Auswahl des optischen Systems, das diese Beleuchtungsstärkeverteilungen realisiert,
- Einpassung des optischen Systems in den Baukörper (Auswahl des Leuchtenkörpers), die Einpassung kann harmonisch oder kontrapunktiert sein.

3 Arztpraxis Dr. Breitbarth

Die Funktion des Raumes in einer Arztpraxis ist eindeutig durch die Arbeitsstätte des Arztes gegeben.

Es werden hohe Anforderungen an die Körperwiedergabe und an die Farbwiedergabe gestellt. Der Arzt muß gut diagnostizieren können. Die Schwester muß z.B. schnell und sicher die Vene finden. Im Gegensatz zu der freien Gestaltung im vorangegangenen Beispiel, werden hier Beleuchtungsgütemerkmale durch die DIN 5035 Teil 3 /1/ gefordert (siehe Tabelle 1).

Art des Raumes	Art der Tätigkeit	E_{Nenn} [lx]	Lichtfarbe	Stufe der Farbwiedergabeeigenschaften
Allgemeine Untersuchungsräume	Allgemeinbeleuchtung	500	neutralweiß	1
	Beleuchtung am Untersuchungsort	1000	warmweiß, neutralweiß, tageslichtweiß	1

Tabelle 1 Beleuchtungsgüteforderungen für allgemeine Untersuchungsräume

4 Sparkasse Ilmenau

Bei diesem Projekt war eine frühe Einbeziehung des Lichtplaners in die Planung möglich. Die Zusammenarbeit Architekt - Bauherr - Elektroplaner führte zum gegenseitig befruchtendem Gespräch.

Als erstes mußte der Raumanspruch gefunden werden. Wie läßt sich das "Raum im Raum"-Prinzip gestalterisch lösen? Die Räume müssen voneinander unterscheidbar sein, ohne abgegrenzt zu wirken.

Auf der Grundlage dieses beabsichtigten Raumerlebnisses wurden erste Vorstellungen einer Beleuchtungsstärkeverteilung erarbeitet. Diese Beleuchtungsstärkeverteilung wurde in ersten Entwürfen auf unterschiedlichem Weg realisiert.

Die hohen ergonomischen Forderungen an einen Bankarbeitsplatz (Bildschirmarbeit, hohe Konzentration) und gleichzeitig gestalterische Anforderungen (Ausstrahlung von Sicherheit und Gediegenheit für den Kunden) führen zum Entwurf von Sonderleuchten. Der Lichtplaner entwirft eine Leuchte, die sowohl in gestalterischer als auch in lichttechnischer Hinsicht diesen Ansprüchen genügt. Um Kosten nicht zu hoch zu treiben, muß man versuchen auf Standardteile der Hersteller zurückzugreifen.

5 Zusammenfassung

Die Aufgaben des Lichtplaners lassen sich, wie folgt, zusammenfassen:

- Er muß die verschiedenen Funktionen des Raumes erfassen und die damit verbundene Lichtverteilung gegenüber dem Bauherren und dem Architekten verteidigen.
- Die Form der Leuchte muß sich in das architektonische Gesamtkonzept einpassen.
- Die Leuchte muß den allgemeinen und speziellen technischen Anforderungen genügen.
- Die gesamte Beleuchtung muß zweckmäßig und bezahlbar sein.

Die Beziehungen zwischen den einzelnen Partnern sind je nach Objekt unterschiedlich stark ausgeprägt. Um eine gute Lösung zu finden, müssen alle Partner kompromißbereit und streitfähig sein.

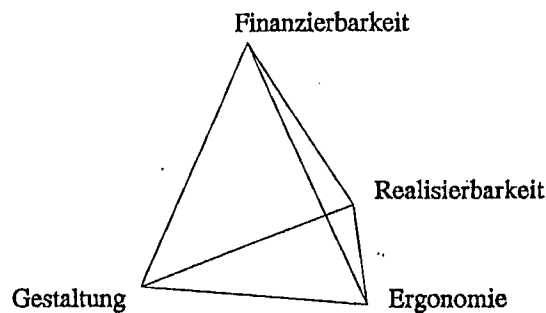


Bild 2 Eckpunkte, die den lichttechnischen Entwurf eingrenzen

Die gefundene Lösung muß den technischen Forderungen genügen, sie darf aber auch nicht den gestalterischen Rahmen sprengen und sie muß finanzierbar sein.

Der Lichtplaner sollte nach meinen Erfahrungen ein gutes Allgemeinwissen besitzen. Er/ sie muß gestalterisches Einfühlungsvermögen besitzen und er/ sie muß fähig sein, wesentliche Punkte an einer Diskussion zu erkennen und einen Kompromiß zu erarbeiten.

6 Literatur

- /1/ DIN 5035 Teil 3 "Spezielle Empfehlungen zur Beleuchtung in Krankenhäusern"

Akzeptanz von Arbeitsplatzleuchten

Lange, Hans-Hasso
Kelling, Udo

Die Akzeptanz von Arbeitsplatzleuchten (APL) wurde anhand einer Umfrage an 60 Personen, die an Büroarbeitsplätzen beschäftigt waren, überprüft. Dabei kam es zur Betrachtung verschiedener Kriterien, die im nachfolgenden näher beleuchtet werden sollen.

Zum Zeitpunkt der Befragung verfügten 27 Arbeitsplätze über APL. Das sind 45 %. Davon waren 22 Leuchten (81,5 %) sehr alt oder genügten heutigen lichttechnischen Anforderungen nicht. Diese Leuchten zeichneten sich durch schlechte oder keine Reflektoren, Blendung und ungenügende bis keine Verstellmöglichkeiten aus. Fünf APL waren mit Kompaktleuchtstofflampen bestückt. Nur in einem Fall wurde das Flimmern beanstandet. Mit der warmweißen Lichtfarbe der verwendeten Kompaktleuchtstofflampen waren die Nutzer zufrieden. Das zeigt, daß diese Lampen als Leuchtmittel in APL akzeptiert werden. Durch die Verwendung von elektronischen Vorschaltgeräten in APL könnte der Beleuchtungskomfort aber noch gesteigert werden.

Die Allgemeinbeleuchtung (AB) in den untersuchten Räumen befand sich in sehr unterschiedlichem Zustand. 40% der Büroräume waren mit freistrahrenden Lichtleisten ausgestattet. Hierbei fiel auf, daß die ohnehin schon schlechte Beleuchtungsqualität dieser Leuchten durch verschiedene Lichtfarben in einem Raum und teilweises Brummen der konventionellen Vorschaltgeräte noch zusätzlich vermindert wurde. Allerdings wurde auch bei den verwendeten modernen, lichttechnisch hochwertigen Spiegelrasterleuchten teilweise festgestellt, daß durch eine falsche Anordnung dieser Leuchten alle positiven Aspekte verloren gingen und die befragten Personen starken Negativwirkungen (Direktblendung und Reflexe auf dem Bildschirm/Schleierreflexion) ausgesetzt waren. Dies führte sogar dazu, daß die Anlagen abgeschaltet und eine Arbeit bei sehr schlechten Beleuchtungsbedingungen akzeptiert wurde. Andererseits fand man eine optimal installierte Anlage, bei der auf eine zusätzliche Arbeitsbeleuchtung verzichtet wurde, da auf der Arbeitsfläche beste Lichtverhältnisse herrschten.

Bei der Lichtfarbenübereinstimmung der APL mit der AB konnte festgestellt werden, daß 74 % der Befragten die Lichtfarbenunterschiede zwischen einer neutralweißen AB und einer warmweißen Arbeitsplatzbeleuchtung als nicht störend empfanden.

Die Beleuchtungsstärkemessungen ergaben im Raum und am Arbeitsplatz bei ausgeschalteter AB Werte, die zum großen Teil unter den nach DIN 5035 geforderten 300 Lux lagen. Nach Einschalten der AB stellte sich der erforderliche Wert größtenteils ein. Bei eingeschalteter APL wurden die erforderlichen Werte fast vollständig erreicht. Teilweise lagen die Werte mit zusätzlich eingeschalteter AB weit über den Empfehlungen der DIN 5035. Die Reflexionsgrade der Arbeitsflächen schwankten in einem Bereich von 0,1 bis 0,8. Dadurch könnten auch Probleme für die Arbeitsplatzbeleuchtung auftreten, da keine einheitliche Schreibunterlage angenommen werden kann. Besonders kritisch wird es bei sehr niedrigen und sehr hohen Reflexionsgraden. Diese müßten bei einer APL-Dimensionierung berücksichtigt werden.

Das Durchschnittsalter der befragten Personen betrug 40 Jahre.

Von den 60 Personen trugen 13 eine Nahbrille, 14 eine Fernbrille, 11 eine Mehrstärkenbrille und 22 keine Brille. 29 Personen arbeiteten mit Bildschirmgeräten, 55 Personen arbeiteten am Schreibtisch, 17 Personen an der Schreibmaschine und 50 Personen telefonierten am Arbeitsplatz.

1. Personen ohne Arbeitsplatzleuchte

Von allen Befragten schätzten 21 Personen (63,3 %) die Beleuchtung zur Ausführung der von ihnen durchgeführten Tätigkeit als ausreichend ein. 17 Beschäftigte (51,5 %) könnten sich vorstellen, mit einer zusätzlichen APL bessere Lichtverhältnisse zu schaffen. Diese Tatsache läßt erkennen, daß ein großer Teil der Beschäftigten mit den vorgegebenen Beleuchtungsverhältnissen nicht einverstanden ist. Die APL, ausgestattet mit einer wärmeren Lichtfarbe als die AB, würden 24 Personen bevorzugen. Hier wird der Wunsch nach wärmeren Lichtfarben deutlich. Als konkrete Vorstellungen und Wünsche an APL wurden Blendfreiheit, ausreichende Verstellmöglichkeiten, ansprechendes Design, einfache Bedienung, ausreichende Standfestigkeit, geringer Platzbedarf und eine gleichmäßige Ausleuchtung der Arbeitsfläche angegeben. Eine Angabe über den optimalen Standort

Hans-Hasso Lange
Udo Kelling
Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau, Fachgebiet Lichttechnik
D-98693 Ilmenau

der APL seitens der Hersteller wünschte sich die Hälfte der Befragten. Es wäre sinnvoll, wenn die Hersteller der Leuchten einen Hinweis über den optimalen Standort direkt an der Leuchte anbringen könnten, da oft falsche APL-Anordnungen beobachtet wurden.

2. Personen mit Arbeitsplatzleuchte

19 Personen (70,4 %) benutzten ihre APL regelmäßig und waren mit der Helligkeit zufrieden. Das läßt aber nicht den Schluß zu, daß die überwiegend alten APL lichttechnisch vertretbar sind, da man auch mit schlechten Leuchten (Konstruktion, Reflektoren) und höheren Leuchtmittleistungen eine ausreichende Helligkeit erzielen kann. 24 Beschäftigte (88,9 %) beantworteten die Frage, ob sie mit der Lichtfarbe der APL zufrieden sind, mit ja. Das ist sicherlich auf den großen Einsatz von Glühlampen und der damit verbundenen warmen Lichtfarbe zurückzuführen. Etwa ein Drittel der befragten Personen fühlte sich durch die APL geblendet, was aber auf Grund der Verstellmöglichkeit weniger Direktblendung, als viel mehr Schleierreflexion auf glatten Oberflächen darstellte. Ein Rastereinbau gegen Direktblendung würde sich günstig auf die Flexibilität der APL und bei Verwendung an Bildschirmarbeitsplätzen auswirken, wäre jedoch bei allgemeiner Benutzung und bei ausreichenden Verstellmöglichkeiten nicht unbedingt erforderlich. 14 Personen (51,9 %) fanden die horizontalen und vertikalen Verstellmöglichkeiten nicht ausreichend. Trotz der auftretenden Lichtfarbenunterschiede zwischen AB und APL akzeptierten diese fast drei Viertel der Befragten. Das läßt eine große Toleranz gegenüber einer Mischlichtbeleuchtung erkennen. Fast die Hälfte der Beschäftigten war trotz der alten APL mit der gleichmäßigen Ausleuchtung ihres Arbeitsplatzes zufrieden. Einerseits könnte das durch die geringe Sensibilität des Auges für langsame Beleuchtungsstärkeveränderungen und andererseits von der jeweils verwendeten erforderlichen Arbeitsfläche abhängen. Somit ist es bis auf einige Ausnahmen mit hohen Anforderungen (Technisches Zeichnen, Prüf- und Kontrollarbeiten) fraglich, ob so große Anforderungen an die Gleichmäßigkeit gestellt werden müssen. 19 Personen (70,4 %) empfanden bei eingeschalteter APL keine zu starken Helligkeitsunterschiede zwischen dem Arbeitsplatz und der Umgebung. Starke Helligkeitsunterschiede traten nur auf, wenn die APL bei ausgeschalteter AB benutzt wurde. Die Frage, welche Fläche ausgeleuchtet werden sollte beantworteten die Befragten wie folgt: 22 (81,5 %) wollten den gesamten Schreibtisch und 4 (14,8 %) nur die Fläche, wo gearbeitet wird ausgeleuchtet haben. Die Ausleuchtung des gesamten Schreibtisches ist natürlich nicht mit einer einzigen APL zu realisieren, sondern setzt eine gute AB voraus und erfordert ein gutes Zusammenspiel zwischen der AB und der APL. Trotz des großen Einsatzes von Glühlampen wurde die auftretende Wärmestrahlung bei 85,2 % der Befragten nicht bemängelt. Da die Glühlampen zukünftig immer stärker durch Kompaktleuchtstofflampen ersetzt werden, wird dieser Punkt bald an Bedeutung verlieren. Dimmbare APL würden von 22 Personen (81,5 %) begrüßt werden. Das stellt den Ausdruck der gewünschten Individualität für die Arbeitsplatzbeleuchtung dar. Eine sowohl manuelle als auch tageslichtgesteuerte Dimmbarkeit der APL würde also sinnvoll sein. Auch hier wurden als konkrete Vorstellungen und Wünsche an zukünftige APL Blendfreiheit, ausreichende Verstellmöglichkeiten, ansprechendes Design, eine gleichmäßige Ausleuchtung der Arbeitsfläche und Dimmbarkeit genannt. Ebenfalls wünschten sich 81,5 % der Befragten eine Angabe über den optimalen Standort der APL.

Schlußbemerkungen

Aus den Ergebnissen schlußfolgernd, kann festgestellt werden, daß an einigen Arbeitsplätzen ungenügende Lichtverhältnisse, verursacht durch eine schlechte AB und das Nichtvorhandensein von APL, herrschen. Deshalb stellt die Verwendung von APL eine sinnvolle Ergänzung zu einer guten AB dar. Da jeder Mensch einen anderen "Lichtbedarf" hat, wird der Einsatz von APL dieser Individualität am meisten gerecht. Bei der weiteren Entwicklung von APL sollten einige Anwenderwünsche und Problemfelder näher berücksichtigt werden. Dazu fiel besonders der Wunsch nach Blendfreiheit und ausreichenden Verstellmöglichkeiten, sowie eine möglichst gleichmäßige Ausleuchtung der Arbeitsfläche auf. Die Ausleuchtung des gesamten Schreibtisches ist aber sicherlich nur in Kombination mit einer guten AB zu realisieren.

Natürlich sollte man immer bedenken, daß Licht nicht der einzige Faktor für eine gute Arbeitsatmosphäre ist. Genauso spielen auch die Möbel, die Architektur, die Anzahl der im Raum tätigen Personen, Lärm, Sauberkeit und vieles anderes mehr eine große Rolle. Daher ist es wichtig, daß zukünftig Lichtplaner, Architekten und Projektanten noch enger zusammenarbeiten sollten.

Literatur

- [1] H.-H. Lange, U. Kelling
Studienarbeit "Akzeptanz von Arbeitsplatzleuchten", Ilmenau 1993

Bewertung von Lichtimmissionen

Bergmann, Volker

Einleitung und Zielstellung

Von Lichtquellen hoher Leuchtdichten können Lichtimmissionen ausgehen.

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz sind Lichtimmissionen den Umwelteinwirkungen zuzurechnen. Diese können der Anlaß zu Beschwerden, Belästigungen oder gar Gefährdungen der Betroffenen sein.

Zu den potentiellen Quellen von Lichtimmissionen können z.B. Anlagen gehören, wie Straßen-, Reklame-, Industriefreiflächen- oder auch Sportstättenbeleuchtungen. Lichtimmissionen treten im allgemeinen durch eine Raumaufhellung und durch Blendung in Erscheinung. Eine allgemeingültige Empfehlung der Lichttechnischen Gesellschaft (LITG) zur Messung und Bewertung von Lichtimmissionen und damit zu ihrer Begrenzung liegt seit 1991 vor /1/.

Da sich jedoch die einzelnen Beleuchtungsanlagen unterscheiden, z.B. hinsichtlich

- des Zeitpunktes und der Dauer der Lichteinwirkung in den Abendstunden,
- des zeitlichen Verlaufes der Lichtstärke,
- des zeitlichen Verlaufes der spektralen Emission oder
- der Entfernung zum Anwohner,

kann die Notwendigkeit bestehen, für eine konkrete Immissionsbelastung die Akzeptanzschwelle der Betroffenen zu untersuchen.

Nachfolgend werden Hinweise für die Vorgehensweise bei einer derartigen Untersuchung gegeben.

Lichtimmissionen und die sie kennzeichnenden Wirkungsgrößen

Befinden sich die Lichtquellen in der Nähe eines Wohngebietes, so werden die Lichtimmissionen beim Betroffenen spürbar durch die **Raumaufhellung** in den Wohnräumen und durch die **psychologische Blendung** bedingt durch die Leuchtdichteunterschiede zwischen Lichtquelle und Umfeld. Für die Benutzer in der Nähe von lichtstarken Quellen vorbeiführender Bundesstraßen oder Autobahnen können sogar Gefährdungen durch eine Blendung auftreten. Diese Besonderheit sei jedoch nachfolgend außer Acht gelassen.

Zur Beurteilung der Raumaufhellung dient die vertikale Beleuchtungsstärke E_v . Die Empfehlungen der LITG /1/ enthalten für reine Wohngebiete den Wert $E_v = 1 \text{ lx}$. In anderen Arbeiten werden auch höhere Beleuchtungsstärken als Grenzwert ermittelt, z.B. $E_v = 3 \text{ lx}$ in /2/.

Maßgebend für die Blendung sind die lichttechnischen Größen, wie die Leuchtdichte des Scheinwerfers L_s und des Umfeldes L_u , die Augenbeleuchtungsstärke E_T , und geometrische Größen,

Bewertung von Lichtimmissionen

Dr.-Ing. Volker Bergmann, Karl-Zink-Str. 21, 98 693 Ilmenau

z.Z. der Bearbeitung: TH Darmstadt, Hochschulstraße 4a, 64 289 Darmstadt

wie der Raumwinkel und der Blickwinkel. Für die Blendungsbewertung verwendet man zweckmäßigerweise die in /1/ angegebene Beziehung. Danach ergibt sich die zulässige Leuchtdichte L_s

$$L_s = k \cdot L_u^{0,5} \cdot \Omega_s^{-0,5}$$

L_u - Umfeldleuchtdichte, Ω_s - Raumwinkel des Scheinwerfers

unter Verwendung eines aus Blendungsuntersuchungen ermittelten k-Wertes. Die Empfehlung der LiTG /1/ gibt für reine Wohngebiete $k = 32$ an.

In den erwähnten Beleuchtungsanlagen dominieren als Lichtquellen Halogen-Metaldampflampen. Die Leistungen reichen von ca. 100 Watt bis zu 3500 Watt. Die mittleren Leuchtdichten erreichen Werte bis zu $10^7 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Charakteristisch sind neben der extremen Helligkeit auch der kleine Raumwinkel (10^{-6} sr bis 10^{-4} sr), unter dem die leuchtende Fläche des Scheinwerfers erscheint.

Untersuchungsmethode

Zur Lösung der gestellten Aufgabe wird vorteilhaft eine physio-psychische Untersuchungsmethode verwendet, die folgende Schritte beinhaltet:

- Anwohnerbefragung zur Erfassung der individuellen Empfindung,
- Messung lichttechnischer und geometrischer Größen am Immissionsort,
- Korrelation von Befragungs- und Meßgrößen.

In die **Befragung** ist eine hinreichende Anzahl von Personen (ca. 100) einzubeziehen. Ihre Auswahl hinsichtlich Wohnlage, Alter, Geschlecht, Gesundheitszustand usw. erfolgt nach statistischen Gesichtspunkten. Der Befragungsbogen untergliedert sich vorzugsweise in zwei Komplexe. Ein Teil der Fragen dient der Erfassung von Biogrammdaten sowie zur Ermittlung von allgemeinen Verhaltensweisen und Lebensgewohnheiten im Zusammenhang mit der Belastungssituation. Den Schwerpunkt bilden die Fragen zur individuellen Empfindung gegenüber Lichtimmissionen. Die Befragungen können in schriftlicher oder auch in Interviewform stattfinden.

Die **Messung** für die Größen E_v , L_s und L_u kann mit üblichen Labormeißgeräten erfolgen.

Vorteilhaft läßt sich auch ein Tubusphotometer (Bild 1) zur Messung der Augenbeleuchtungsstärke

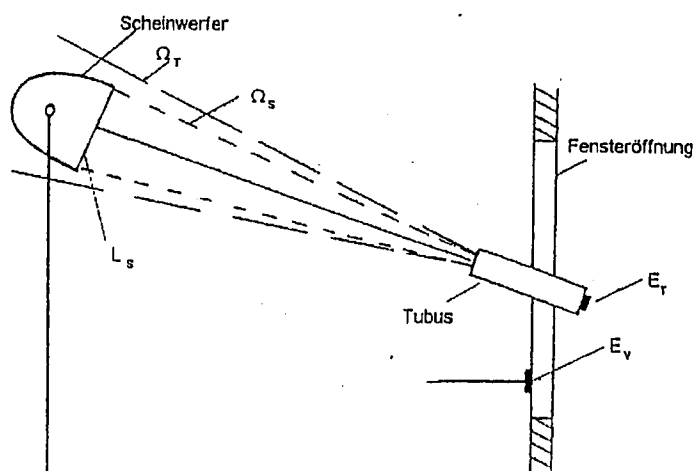


Bild 1: Meßanordnung zur Bestimmung der Größen E_v und E_T

E_T verwenden, um daraus die mittlere Scheinwerferleuchtdichte L_s zu berechnen.

$$L_s = \frac{E_T \cdot S^2}{A_s} \cdot \frac{1}{\Omega_0}$$

S - Entfernung Meßort zum Scheinwerfer, A_s - projizierte Fläche des Scheinwerfers

Aber auch ein CCD-Leuchtdichte-Meßsystem (s.a. Beitrag von M.Hamm in diesem Tagungsband) kann bei geeigneter Auslegung zur L_s -Bestimmung zum Einsatz kommen.

Der Raumwinkel Ω_s des Scheinwerfers ist unter Verwendung des Katasterauszugs und eines Theodoliten oder aus fotografischen Aufnahmen bestimmbar.

Ergebnisse

Durch Anwendung statistischer Methoden läßt sich aus der Korrelation von Befragungs- und Meßergebnissen eine Aussage über den Akzeptanzgrad der Lichtimmission gewinnen. Im Bild 2 ist beispielhaft das Ergebnis für die Raumaufhellung einer untersuchten Beleuchtungsanlage dargestellt. Die Bewertung $w=5$ entspricht dem Urteil der Betroffenen: "gerade zulässig".

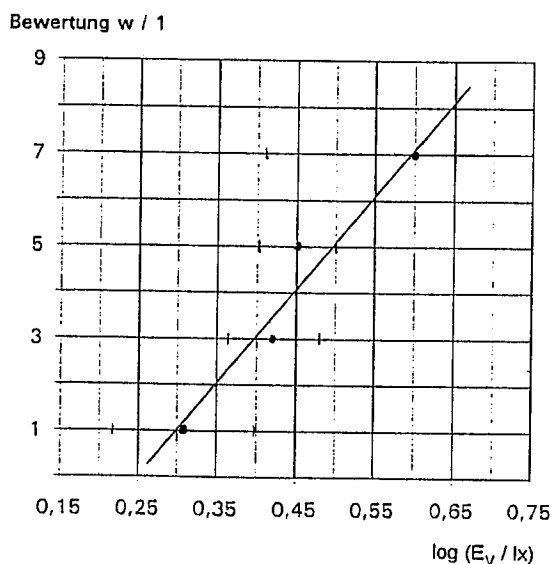


Bild 2: Bewertung w als Funktion der Vertikalbeleuchtungsstärke

Literatur

- /1/ Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen, Berlin, LITG-Publikation 12, 1991
- /2/ Hartmann, E., Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen, München, Uni München, Institut für Medizinische Optik, Forschungsbericht 1984

Die Beleuchtung der Sakralbauten

Ján Kuma

- Die Beleuchtung der Sakralbauten können wir in zwei Teile teilen:
- die Kunstbeleuchtung des Interieurs der Sakralbauten
 - die Kunstbeleuchtung der Sakralbauten mit dem Flutlicht - die Nachtbeleuchtung der Sakralbauten

1. Die Kunstbeleuchtung des Interieurs der Sakralbauten

Die Kunstbeleuchtung inner der Sakralbauten ist ein wichtiger Faktor, der auf die Gesamtatmosphäre der religiösen Zeremonie einwirkt und sie bildet. Ebenso greift sie auch in die gesamte architektonische Konzeption ein.

Die Kunstbeleuchtung soll in den sakralen Räumen vor allem als das Nutzlicht und als ein symbolisches Element wirken, nie aber als ein theatraler, raffinierter Effekt. Sie soll die der liturgischen Zeremonie entsprechende Atmosphäre bilden, und die Wirkungsabstufung des Raumes unterstützen.

Die Kunstbeleuchtung ist zu sein:

1. funktionell
2. ausdrucksvoll gestaltend - den Opfertisch und andere wichtigen Gegenstände und Räume
3. die genügende Beleuchtung für die Gläubigen bildend
4. kunstvoll-ästetisch
5. symbolisch

Die Beleuchtungsstärke, die sich bei mehreren Raumzonen wechseln kann, sollte nächste Werte erreichen:

- a) zur allgemeinen Orientierung in Gängen, Eingängen, Nebenschiffen und Kapellen genügt die Stärke 50-60 lx
- b) zum Lesen aus dem Gebetbuch oder Gesangbuch, wie auch beim Ambon und beim Altar sind 100-150 lx nötig, eventuell auch mehr

Aus dem technischen Gesichtspunkt soll die Kunstbeleuchtung in den Kirchen folgenden Ansprüchen entsprechen:

1. räumlich und zeitlich muß sie die zu großen Unterschiede des Tageslichtes ausgleichen
2. sie soll auch tagsüber verwendet werden, und sogar mehr als bei allen anderen Räumen, besonders in der Tiefe der Kirche, in den Ecken und in den dunklen Räumen, wo es eine ungenügende Beleuchtung ist
3. bei der Abenddämmerung und der Nachtbeleuchtung soll sie zur Beleuchtung in allen Räumen der Kirche dienen
4. der durchschnittliche Wert der horizontalen Beleuchtung sollte 100-150 lx erreichen
5. für die angenehme Beleuchtung der Umgebung über der Augenhöhe (0.85 m über den Boden) ist es nötig, einen gewissen Mittelwert der vertikalen Beleuchtung zu erreichen (minimal 1/3 des Wertes der horizontalen Beleuchtung)
6. die Leuchtdichte der Leuchtungskörper, die sich im Sehfeld befinden, (vielleicht bis 30° vor der Horizontale dem Auge gegenüber soll den Möglichkeiten nach reduziert werden

Ing. Kuma Ján
STU Bratislava
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava SR

Die Beleuchtung der Sakralbauten

Ján Kuma

-In der Regel wirkt entsprechende optische Gliederung und Abstufung der Lichtzonen zweckmäßiger als die gleichmäßige Beleuchtung. In keinem Fall sollte sich die Kunstbeleuchtung um eine dekorative oder szenische Beleuchtung bemühen. Das betrifft vor allem die Beleuchtung des Opfertisches, wo eine höhere Stärke der Beleuchtung gefördert wird. Die Verstärkung muß fließend abgestuft werden, sie darf keine Licht- und Schatteneffekte bilden, die dem natürlichen Bild des Innenraumes nicht entsprechen würden. Auch in der Kirche soll es Unterschiede geben zwischen der Helligkeit während des Tages und der Nacht. Deswegen soll das Zwielflicht nur in dem Ausmaß beleuchtet werden, wie es nach erwähnten Förderungen nötig ist.

Beleuchtungssysteme

Die Leuchten in der Kirche sollen unauffällig placiert werden. Sie stellen keine dekorative, sondern notwendige Teile dar. Tagsüber sollten sie die kleinste Aufmerksamkeit fesseln, sie sollten nicht auf die architektonische Konzeption störend wirken. Die Beleuchtungskörper müssen auch dem Stil der Kirche entsprechen. Es ist ein Unterschied, was für eine Leuchte man für eine Kirche vom bestimmten Stil einwirft, und was für eine für eine moderne Kirche.

Die Beleuchtungskörper werden am meisten zum Opfertisch und zum Ambon gerichtet. Wenn sie sich im Sehfeld befinden, müssen sie eine geniedrigte Leuchtdichte haben. Die Art und Weise der Verteilung der Leuchten bestimmen wir nach den Lichtstärkeverteilungskurven der bestimmten Leuchte und mit Hilfe der lichttechnischen Gesetze.

Die Richtung der Kunstbeleuchtung sollte sich mit der Richtung der Tagesbeleuchtung übereinstimmen. Immer ist es möglich, solche Leuchten auszuwählen, die der gewählten lichtarchitektonischen Absicht dienen werden und die tagsüber nicht auffällig und störend wären. Wir können uns unter verschiedenen Beleuchtungssystemen auswählen.

- a) selbständige Pendelleuchten mit Glühlampen, Entladungslampen und genügend durchgelüfteten Leuchtschirmen
- b) wie a) mit gläsernden Hauben mit verschiedenen Formen
- c) wie a) mit undurchsichtigen Leuchtschirmen
- d) die Beleuchtungskörper auf waagrechten Leisten oder Stangen, die eine Konzentration des Lichtes in die geplante Richtung ermöglichen
- e) die Beleuchtungskörper zur freien Stellung, die das direkte und indirekte Licht spenden, und mit Rückstrahlern ausgerüstet werden
- f) Hängeleuchte - Kronleuchter mit dekorativen Bestandteilen. Man kann sich unter Kronleuchtern mit verschiedener Zahl der Arme, aus verschiedenen Materialien, in unterschiedlichen Stilen, mit mehreren leuchtenden Etagen auswählen.
- g) für eine konzentrierte Beleuchtung werden oft große Scheinwerfer verwendet, oder für eine Hervorhebung eines Teiles des Innenraumes kleine Scheinwerfer
- h) die Wandleuchten und- leuchter mit unterschiedlicher Zahl der Arme sind eine zweckmäßige Ergänzung bei der Kronleuchterbeleuchtung

Ing. Kuma Ján
STU Bratislava
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava SR

Die Beleuchtung der Sakralbauten

Ján Kuma

i) zur Beleuchtung der Bilder und des Kreuzweges sind schicklich die Lichten mit der Farbwiedergabe und der gelegenen Betriebstemperatur
j) die Leuchten deren Lichtstrom in den niedrigen Halbraum gerichtet wird, aber auch in den hohen Halbraum zur Beleuchtung des Gewölbes
k) zur Beleuchtung des Ambons verwendete Leuchten, unterbracht gerade auf dem Ambon

l) die Leuchten werden oft auf Armen unterbracht, eingebauten an den Wänden, in den Erkern und anderen architektonischen Elementen, die Arme ermöglichen mechanisches Klappen und Umdrehen

m) die in der Decke eingebauten Leuchten in modernen Sakralbauten

Bei der Verteilung der Beleuchtungskörper darf man nicht vergessen, damit sie in der Hinsicht der Montage, der Instandhaltung und des Austausches angemessen ist.

II. Die Kunstbeleuchtung der Sakralbauten mit dem Flutlicht

Bei der Nachtbeleuchtung erwirbt das Sakralgebäude ganz andere Formen, Schatten als beim Tageslicht, und das ermöglicht die Bildung ganz neuer Effekte.

Beim Projekt der Kunstbeleuchtung der Sakralbauten gehen wir aus - aus der täglichen Erfahrung des menschlichen Auges bei der Tagesbeleuchtung der Bauten

- aus der gesamten architektonischen Komposition der Sakralbauten, bei der existierenden Bebauung muß man Rücksicht auf den Einfluß der anderen Gebäuden nehmen, auf ihr Reflexionsmögen, Schattenbereich, eventuell auf ihre äußere Beleuchtung

- aus der Lichtstreuung bei dem Übergang durch die Atmosphäre

- aus der Mannigfaltigkeit der gebrauchten Lichtquellen und der eigentlichen Scheinwerfer oder Leuchten für diese Zwecke

Die Regel bei der Beleuchtung der Sakralbauten

Woraus soll man bei der richtigen Beleuchtung der Sakralbauten ausgehen? Wir müssen genügend das eigentliche Objekt kennen, um dem Beobachter und seinen Augen einen wirkungsvollen aber wahren Blick zu bieten. Es ist nötig, ein solches Bild auszuwählen, welches die meisten Beobachter sehen können.

Bei der Beleuchtung der Sakralbauten müssen die Wände eine zweckmäßige Wechselung der Leuchtdichten aufweisen, die einen genügenden Kontrast sichern und so eine Möglichkeit für das Auge gibt, ihre räumliche Gestaltung zu erkennen.

Zur Betonung eines Sakralbautes verwendet man die Beleuchtung, die das Objekt so beleuchtet, damit es stark mit seiner Umgebung kontrastiert, mit seiner Hellichkeit und Farbe, und so benutzt man die natürliche Eigenschaft des menschlichen Auges, sich auf ein Kontrastobjekt zu fesseln. Bei der Bildung des starken Kontrastes kann man aber nicht auf die Blendung des Beobachters vergessen.

Ing. Kuma Ján
STU Bratislava
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava SR

Die Beleuchtung der Sakralbauten

Ján Kuma

Die Blendung kann einerseits durch die zu starke Lichtdichte der eigenen Beleuchtungskörper, oder durch die hohe Reflexion der Oberfläche des Gebäudes entstehen. Bei der Außenbeleuchtung der Sakralbauten spielt eine wichtige Rolle die Richtung des Lichtstromes. Die Beleuchtung muß richtig gerichtet werden, damit sich in das menschliche Auge die nötige Menge des Lichtes zur genügenden Wahrnehmung des Objektes widerspiegelt. Während das Tageslicht aus dem hohen Teil fällt, wird das Kunstlicht am meisten von unten gerichtet. Diese veränderte Richtung der Beleuchtung bildet sehr oft ganz neue räumliche Bilder. Im Unterschied vom Bild beim Tageslicht, unterscheiden wir bei der niedrigen Lichtdichte keine Farben von den Fassaden und Wänden der Sakralbauten. Wenn wir aber wollen, damit das beleuchtete Objekt höhere Werte der Lichtdichte hat, verwenden wir zu seiner Beleuchtung farbige Entladungslampen, die dann mit der Farbe des Objektes eine angenehme Wahrnehmung für das Auge bilden.

Die Verteilung der Beleuchtungskörper.

Der Wirkungsgrad der Beleuchtung und die ausdrucksvolle Lichtgestaltung des Objektes ist auch von der Verteilung der Scheinwerfer und Leuchten abhängig. Sie, die Weite zwischen ihnen und die Höhe über dem Boden sind nicht nur eine Frage der Charakteristiken und Eigenschaften des Gebäudes, sondern hängt auch von der beanspruchten Gleichmäßigkeit der Beleuchtung und von den Bedingungen für die Beseitigung der Blendung ab. Die Scheinwerfer und Leuchten sollen nach Bedarf und Zweck verteilt werden:

- auf den Masten verschiedene Höhe in der Umgebung Sakralbauten
- auf den benachbarten Gebäuden und Objekten
- sie können in Betonschächten im Boden, in der näheren Umgebung der Sakralbauten, die einen genügen Schutz gegen Zerstörung der Beleuchtungskörper sichern
- direkt an der Dächern, z.B. Beleuchtung des Turmes
- unter einem durchsichtig verglasten Dach
- direkt an der Fassaden der Sakralbauten.

Ing. Kuma Ján
STU BRATISLAVA
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava SR

Lichtlenkende Hologramme in Gebäuden

Schuster, Peter

Seit nun fast vier Jahren beschäftigen sich an der Fachhochschule Köln einige Abteilungen der Fachbereiche Architektur, Energietechnik, Photoingenieurwesen, Tropentechnologie und Versorgungstechnik in praxisnaher Kooperation mit Problemen des umweltgerechten Bauens.

Ende 1991 wurde daraus das Institut für Licht- und Bautechnik (ILB) an der Fachhochschule Köln gegründet. Rechtsträger des ILB ist der Verein zur Förderung des Instituts für Licht- und Bautechnik (VILB e.V.), dem neben der Fachhochschule und der Stadt Köln namhafte Unternehmen aus den Bereichen Fotochemie, Glas, Beleuchtung, Fassadenbau sowie Architektur und Fachplanung als Mitglieder angehören.

Die Aufgaben des Institutes sind anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung sowie Lehre und Fortbildung. Aus einer Vielzahl von Forschungsprojekten sollen hier einige wenige vorgestellt werden:

Meß- und Rechenprogramme

Mit einem eigens entwickelten Goniophotometer werden optische Eigenschaften wie Streuung, Absorption und Lichtlenkung von Gläsern, Streuscheiben, holographisch-optischen Elementen (HOE), transparenter Wärmedämmung (TWD) etc. unter verschiedenen Sonnenständen ermittelt. Zur Zeit wird am ILB ein Rechenprogramm entwickelt, das mit diesen Daten und der Geometrie eines Raumes die Beleuchtungsstärke an einem Punkt dieses Raumes, z.B. auf einer Arbeitsfläche, errechnen kann. Und zwar werden Wände, Fußboden und Decke in Flächenelemente aufgeteilt, die einerseits beleuchtet werden und andererseits einen Teil des Lichtes wieder remittieren, so daß schließlich alle Flächenelemente mit ihrer Leuchtdichte zur Beleuchtungsstärke an dem Punkt beitragen.

In einem zukünftigen Schritt soll eine Möglichkeit geschaffen werden, diese Berechnungen zu überprüfen. Es sind bereits Mittel beantragt, ein Meßgerät zu bauen, mit dem von diesem einen Punkt der gesamte Raum abgescannt werden soll. Die so gewonnenen Meßwerte können dann mit dem oben Errechneten verglichen werden.

Lichtlenkende Hologramme in Gebäuden, Peter Schuster
Institut für Licht - und Bautechnik (ILB) an der Fachhochschule Köln
Betzdorfer Straße 2
50679 Köln

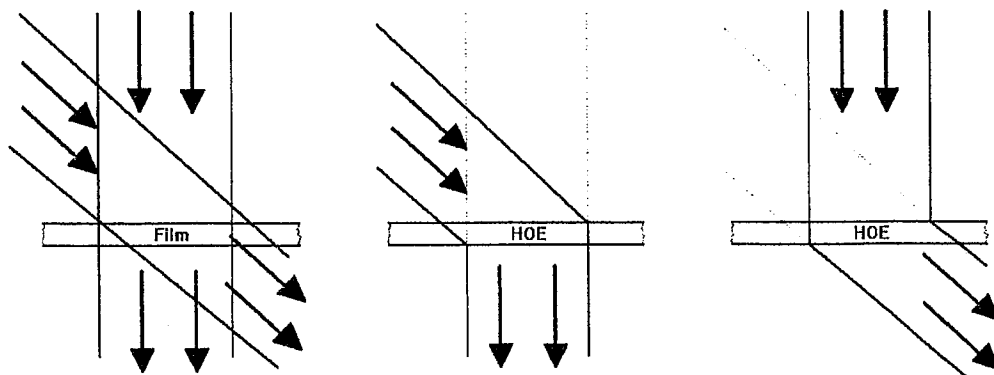
HOE

Ein großer Teil der Arbeit des ILB beschäftigt sich mit Holographie. Zunächst einiges zum Verständnis der Holographie. Ein Laserstrahl wird aufgeteilt und so umgelenkt, daß sich die Teile wieder treffen. In dem Gebiet, wo sie sich überlagern, entstehen Interferenzlinien. Ihr Abstand, die Gitterkonstante g , ist abhängig von der Wellenlänge λ des verwendeten Lichtes und dem Sinus des Winkels α , unter dem die Strahlen aufeinandertreffen.

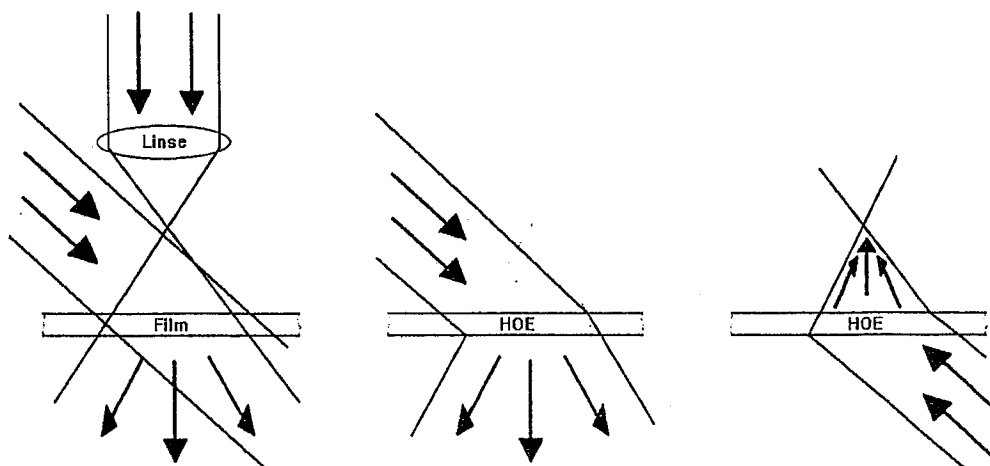
$$g = \lambda / \sin \alpha$$

Man erkennt, daß die Streifen enger zusammenrücken, wenn die Wellenlänge kürzer oder der Winkel größer wird. Bei einer Wellenlänge von $0,6 \mu\text{m}$ und einem Winkel von 30° ist die Gitterkonstante $1,2 \mu\text{m}$.

Auf einem extrem feinkörnigen Filmmaterial lassen sich solche Strukturen aufzeichnen - man erhält ein holographisches Gitter, ein HOE. Dieses Gitter lenkt Licht durch Beugung ab: Wenn man es aus einer bei der Herstellung verwendeten Richtungen beleuchtet, lenkt es das Licht so, als käme es aus der anderen Richtung.



Je nachdem, wie man den optischen Aufbau bei der Herstellung des HOE gestaltet, kann es verschiedene Aufgaben erfüllen, z.B. durch Einfügen einer Sammellinse in einen der Strahlengänge erhält man ein lichtstreuendes oder sammelndes HOE, je nachdem, von welcher Seite es beleuchtet wird.



Anwendungsmöglichkeiten

Eine erste technische Anwendung haben 80 qm HOE auf der IGA in Stuttgart gefunden. Sie lenken das parallel einfallende Sonnenlicht auf streifenförmig dahinter angeordnete Solarzellen. Der diffuse Anteil des Himmellichtes kann ungehindert zwischen den Solarzellen einfallen, so daß eine blendfreie Beleuchtung des dahinterliegenden Raumes gewährleistet ist. Die HOE dienen in dieser Anwendung als Verschattungselemente für Wintergärten.

Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz von HOE im Oberlichtbereich von Fenstern, wo sie Tageslicht in die Tiefe des Raumes lenken. In Verbindung mit Plexiglaslamellen, die den Höhenwinkel der Sonne immer gegen die Decke des Raumes lenken, sorgen die HOE für eine gleichmäßige blendfreie Beleuchtung eines Büroraumes auch in der Tiefe, ohne daß künstliches Licht dazugeschaltet werden muß, wenn die Sonne scheint und man das Sichtfenster verschatten muß. Eine erste technische Anwendung dieser Art von Fenstern steht unmittelbar bevor in einem Industriegebäude mit Büros.

Die Anwendungsmöglichkeit der HOE im Displaybereich soll nicht unerwähnt bleiben. Da der Beugungswinkel eines HOE wellenlängenabhängig ist,

$$\alpha = \arcsin(\lambda / g)$$

wirken die HOE bei direkter Betrachtung farbig je nach Betrachtungs- und Beleuchtungswinkel. Diesen Effekt, den man bei Beleuchtungszwecken vermeiden muß, kann man natürlich in Form von Displays einsetzen. Bei dem IGA-Projekt sind ca. 6 qm mit Display-Hologrammen belegt, die je nach Sonnenhöhe und Azimuth verschiedenfarbig sind. Sie zeigen das gesamte Spektrum des Tageslichtes in verschiedener Sättigung - von zarten Pastelltönen höherer Beugungsordnungen zu den knalligen Farben der ersten Ordnung.

Zukünftige Projekte des ILB umfassen u.a. eine Umstellung auf eine wenigstens teilweise maschinelle Produktion von HOE, um die Nachfrage von Architekten und Fassadenbauern befriedigen zu können.

Zuengeraet fuer Natriumdampf-Hochdruck lampen und
Metалldampf-Halogenlampen mit niedriger Leistung
und erleichterte Temperaturregime

Dipl.Ing.Papasov A.

Wie es bekkant ist, das Zuenden von Natriumdampf-Hochdrucklampen und Metалldampf-Halogenlampen verwirklicht man mit Hochspannungsimpulsen, die man von einem Impulsgeber geformt werden. In den meisten von bekanntesten fuer diesen Zweck Schaltungen wird eine Methode verwendet, bei der Energie in einem Kondensator, der mit der Primaerwicklung des Impulsentransformators Resonanzkontur der abklingenden Schwingungen bildet, akkumuliert wird. Dieser Kondensator wird ueber ein strombegrenzendes Element geladen, meistens ein Resistor. Das Einschalten des energieakkumulierenden Kondensators zu der Wicklung des Impulsentransformators verwirklicht man ueber einen gesteuerten halbleitenden Schluessel.Meistens verwendet man fuer diesen Zweck einen Thyristor oder einen symetrischen Thyristor. Das Einschalten erfolgt nahe des maximalen Wertes der

Zuengerraet fuer Natriumdampf-Hochdruck lampen und
Metалldampf-Halogenlampen mit niedriger Leistung und
erleichterte Temperaturregime.

Dipl.Ing.Atanas Papasov

Technische Universitaet - Sofia, Bulgaria

Sofia, Evlogi Georgiev str.No 3

Speisewechselspannung, d. h. um 60 - 90 el. Wegen des spezifischen Charakters des Schlusselementes, bleibt es bis Ende der entsprechenden Halbperiode eingeschaltet, bei der auf dem strombegrenzten Resistor und auf dem Schlusselement Leistung abgegeben wird.

Das Anwenden dieser Schaltungsloesung erfordert einem maechtigen strombegrenzenden Resistor, und das fuehrt zu einer Vergroesserung der Abmessungen und einer Begrenzung des Temperaturumfangs, in dem eine zuverlaessige Arbeit des Zuendgeraetes garantiert wird.

In dem betrachteten unten Geraet wird dieser Nachteil mit der Anwendung folgender Methode beseitigt : Das Laden des energieakkumulierenden Kondensators wird waehrend der positiven Halbperiode der Speisespannung verwirklicht. Waehrend der negativen Halbwelle wird die Phase der Speisespannung vervolgt und nach dem Erreichen des notwendigen Phasenwinkles (um 240 - 270 el) wird ein steuerndes Impuls geformt, das das halbleitende Schluessel einschliesst und das energieakkumulierende Kondensator ueber die Wicklung des Impulsentransformators entladet.

Man sieht, dass das Prozess von Energieakkumulieren und die Steuerung des Schlusselementes in zwei aufeinanderfolgenden Halbperioden der Speisespannung verwirklicht werden. Diese zwei Phasen von der Formung des Zuendimpulses sind relativ selbststaendig und getrennt und das ist mit der Benutzung von halbleitenden Diodenschluessel gemacht. Das ermoeoglicht eine groessere Zeitkonstante der Ladenkette und beziehungsweise auch Abmessen fuer niedrigere

Leistung und auch Durchfliessen des Stroms durch das Schlusselement nur waehrend des Uebergangsprozesses.

Das Anwenden dieser Methode ermoeeglicht ein Geraet zu konstruieren, das keine maechtige Elemente enthaelt und auch fuer Flaechenmontage geeignet ist. Das fuehrt zu einer Verminderung der Abmessungen bei minimalen Waermeverlusten und verbrauchten Leistung.

Es ist auch eine Variante entwickelt, bei der die Arbeit des Zuendgeraetes nach bestimmter Zeit blockiert wird, bzw fuer 3 min fuer Natriumdampf-Hochdrucklampen und fuer 12 min fuer Metalldampf-Halogenlampen. Mit Absicht fuer eine Minderung des Verbrauchs ist das mit der Benutzung von CMOS Timer realisiert. Es ist ein aeusserer Wiederstart mit einem Mikroschalter, der auf dem Koerper des Geraets montiert wird, moeglich. Das erleichtert die Reparatur-Betriebsarbeiten bei der Bedienung der Leuchten.

The Problem of Radiation Transfer in Discharge Plasmas for Light Source Design.

S. Sarmin.

To model radiation transfer in discharge plasma (i.e. to evaluate the Radiation Transfer Equation (RTE)) one needs data on plasma properties such as oscillator strengths, broadening constants et.al. As of now these data can't be gained with rigorous theoretical calculations with required for practice accuracy, so many researchers while developing radiative models use experimental data (ref 1,2,3). The deviations of these characteristics values reported by different authors are rather great, in so doing researchers have to test the correctness of input data they use and the correctness of their model itself by matching the computation results to the data, gained from their own experiment.

We followed the same path while developing the model of high-pressure (HP) mercury discharge. To our mind the most reliable data as a whole are reported in ref.2. Nevertheless our experiment has shown some disagreements with data in this work.

First of all we studied carefully the 253.7 nm resonance mercury line, which contributes strongly to the heat transfer. Assuming oscillator strength $f=0.025$ (ref. 2,3) and using well-known formula for resonance broadening, we get resonance broadening constant about $1.1 \cdot 10^{-37} \text{ m}^4$. So the collision broadening constant C_r , which includes resonance interaction, must exceed this value. But as it results from our experiment, C_r is about $5 \cdot 10^{-39} \text{ m}^4$, that is more than two orders less than in ref.2, but close to the value in ref.3.

The value of quasistatic broadening constant of 253.7 nm line can be easily derived from the constant C_G by the formula :

M.Sc. Sarmin S.E.

Moscow Power Engineering Institute,

Russia 140160 Moscow reg., Zhukovsky, Makarevskogo st., 7 - 38.

$$C_w = \frac{8}{9} \pi \frac{\lambda_0}{c} C_6$$

Taking $C_6 = 1.1 \cdot 10^{-43} \text{ m}^6/\text{c}$. we get $C_w = 6.6 \cdot 10^{-65} \text{ m}^7$. This value very well fits the experiment, but 2π times larger than the value given in ref 2,3.

One more result of our experiments: the oscillator strength of 1014 nm line is about $f \approx 0.027$ - this optically thin but very intensive line is very good for temperature profile diagnostics in mercury plasma.

Formula derived by Stormberg for computation of Lorentzian and Van der Waals profiles convolution (ref.1) is very good, but the computations can be speeded up if one takes into account the fact, that in the second term of the pointed formula in braces there is difference between conjugate complex quantities.

If you are to create the reserve model of HP discharge, you must know how to evaluate the system of two equations - the Power Balance Equation (PBE) and RTE. To calculate the radiative term in PBE, RTE must be integrated over spectrum and directions. It is extremely time-consuming procedure. PBE can be evaluated only by iteration methods, thus while solving the general problem RTE must be integrated several times. So it's clear that the highlight of any model of emitting plasma is the procedure of fast evaluation of RTE. This procedure may be approximate but exact enough to obtain solution with required accuracy and in assume time.

Original procedure suggested in ref.4, appeared to be quite effective for modelling HP sodium discharge; but it is sure to give large errors when modelling emitting discharge with more complicated spectrum and composition of plasma.

Procedure suggested in ref.2 works rather well, but to our mind it contains the principle error: you mustn't use formulas (24) and

$$(26): P_w = P_{e1} - \int_{0.2}^{4\mu} S_\lambda d\lambda, \text{ where } P_w - \text{power per unit absorbed by the}$$

wall vessel, P_{e1} - electric power per unit arc length, S_λ - spectral radiation flux. It is fallacious to calculate the small value as a

difference between two great values. one of which you evaluate approximately. You should better use the following formula :

$$P_w = \int_0^{0.2} S_\lambda d\lambda + \int_{4\mu}^{\infty} S_\lambda d\lambda$$

But according to our thoughts it is better to model radiation transfer in plasma not by using the empiric formulas with specially fitted coefficients but by fast methods of RTE evaluation. Now we do our research along the development of the RTE evaluation procedure, based on the modified Spherical Harmonics method. We consider this method to be the most promising one for solving problems of radiation transfer in emitting plasma.

REFERENCES

1. H.P. Stormberg, J.Appl.Phys. 51, 1963 (1980)
2. H.P. Stormberg and R. Schafer, J.Appl.Phys. 54, 4338 (1983)
3. J.T. Dakin and R.P. Gillard, J.Appl.Phys. 62, 79 (1987)
4. B.F. Jones and DAJ Mottram, J.Phys D: Appl.Phys. 14, 1183 (1981)

Development of electrodeless discharge lamps

Uhrin, Patrik

Since 1991 is at the Department of Power Engeneering provided a work, concerning a research in the development of electrodeless discharge lamps. The first steps were done under the lead of Doc. Ing. A. Smola, CSc. by Ing. Patrik Uhrin. Work is concerning the development of a relative new way of transformation of electrical energy into light by the high-frequency magnetic field. Commonly an electrodeless discharge lamp is based on the particular units, joined together and affecting one another. These are the high-frequency generator, the inductor and the light transmitting unit, including the lamp bulb, arc space and luminophosphor. Work examines the possibility of utilization of parameters of these relatively independent parts, especially to reach the most possible efficiency of th hf-genetator, to reach satisfying thermic conditions and regular geometry of the inductor. However, the parts seem to be independent, we know that non-utilized parameters may cause a serious problems and lead to disfunction of the whole unit or starting problems and to need of starting coil. As regarded, mostly it is recommended to use a "classical" light transmitter - a low-pressure mercury discharge, transformed from the UV-range to visual one by the 3-band phosphors. This seems to be the most suitable way also to reach the quality of light, as well as need.

In 1992 Philips introduce on the European market the only serial produced induction lamp - a QL 85 W lamp with 5500 lm, about 65 W/lm and 60 000 hours of useful life. This high average life is caused by a non-presence of electrodes in the discharge tube.

In our work we also provide a research, concerning the possibility and special conditions for the final serial production of this type of lamps. This leads to need of a highly-developed technologies in glass-industry, electrotechnology, chemistry etc., including the bulb serial production, inductor mounting, dozing of mercury and many other details.

We hope that our work will contribute to optimalization of the technical parameters of induction lamps and in fact to greater distribution of their usage, both in common and special applications.

Dipl.-Ing. Patrik Uhrin
Slovakische Technische Universität Bratislava
Lehrstuhl Elektrotechnik
Ilkovičova 3, SQ-812 18 Bratislava

Meßtechnische Erfassung und mathematische Beschreibung der optischen Eigenschaften von Nebel

Boehlau-Godau, Martin

Übersicht

Ziel der Arbeit war die Beschreibung des Streuverhaltens von Licht im Nebel sowie die Berechnung und anschließende grafische Darstellung der (Streu-) Leuchtdichten, die durch Lichtquellen oder Objekte im Nebel erzeugt werden. Betrachtet werden sollte hierbei insbesondere die Situation, wie sie ein Kraftfahrer nachts im Nebel wahrnimmt.

Der Fahrer hat es dabei im allgemeinen mit folgender Situation zu tun :

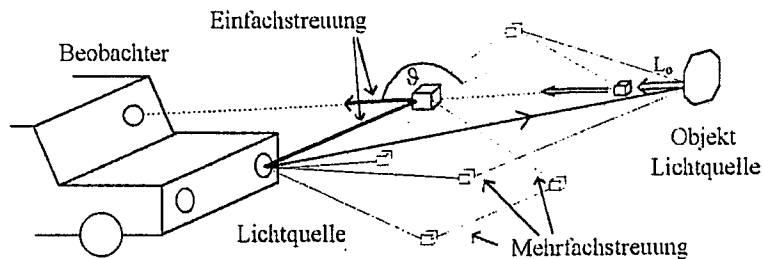


Bild 1 : Streulicht im Nebel

Die Scheinwerfer seines Autos strahlen ein Objekt im Verkehrsraum (Straße/ Verkehrszeichen etc.) an. Zum Licht, das direkt von den Scheinwerfern kommt, fällt noch Streulicht auf das Objekt. Vom Objekt wird Licht in die Beobachtungsrichtung zurückreflektiert. Das Licht wird auf dem Hin- und Rückweg im Nebel geschwächt. Überlagert werden diese Leuchtdichten durch die Streuleuchtdichten, die im Nebel von den eigenen Scheinwerfern erzeugt werden. Dabei sieht der Fahrer sowohl Licht, das einmal im Nebel gestreut wurde (Einfachstreuung), als auch Licht, das auf dem Weg zum Auge mehrfach gestreut wurde (Mehrfachstreuung). Zusätzlich können auch andere Lichtquellen (Rückleuchten etc.) im Verkehrsraum Streuleuchtdichten verursachen.

Ziel war es nun, all diese entstehenden Leuchtdichten in Abhängigkeit von Parametern wie Nebeldichte, verwendete Scheinwerfer oder Reflexionseigenschaften zu berechnen. Dazu wurde ein umfangreiches Programmpaket entwickelt. Die Berechnung teilt sich dabei in folgende Schritte auf :

- Berechnung der Streufunktion
- Bestimmung der Streuleuchtdichte, die durch die Scheinwerfer des eigenen Fahrzeuges verursacht werden
- Bestimmung der Beleuchtungsstärken, die von den Scheinwerfern auf den Objekten im Verkehrsraum erzeugt werden
- Bestimmung der (Streu-)Leuchtdichte der Objekte in Abhängigkeit von den Reflexionseigenschaften
- Bestimmung der (Streu-)Leuchtdichten von anderen Lichtquellen wie z.B. die Rückleuchten eines vorausfahrenden Fahrzeuges

Definition und Eigenschaften von Nebel

Nach DIN 5037 spricht man dann von Nebel, wenn die Sichtweite unter 1000m fällt. Unter der Sichtweite versteht man dabei die Entfernung, in der man ein schwarzes Objekt gegenüber dem Horizont gerade noch wahrnehmen kann. Nebel besteht aus an kleinen Partikeln kondensierten Wassertropfen, deren Radien zwischen $2 \mu\text{m}$ und $15 \mu\text{m}$ liegen. Im Nebel findet Miestreueung statt (von Miestreueung spricht man, wenn die Streuelemente ungefähr so groß wie die Wellenlänge sind). Die Schwächung des Lichts ist weitgehend wellenlängenunabhängig, allerdings wird Licht verschiedener Frequenz in bestimmte Winkelbereiche unterschiedlich stark gestreut (Beugungsbereich, Regenbogenwinkel). Absorption findet im sichtbaren Wellenlängenbereich

praktisch nicht statt. Die Tropfenanzahl schwankt um 100- 500 Tropfen pro cm^3 , je nach Dichte des Nebels und nach Verteilung der Tropfengrößen.

Die wichtigsten auftretenden Nebelarten sind der Strahlungsnebel und der Advektionsnebel.

Strahlungsnebel entsteht zumeist in den frühen Morgenstunden nach einer klaren Nacht durch Abkühlung der sich in Bodennähe befindlichen Luftmassen (Abstrahlung der Erdoberfläche im langwelligen Wellenlängenbereich). Da die Abkühlung umso stärker ist, je länger die Nacht dauert, tritt der Strahlungsnebel bevorzugt im Winterhalbjahr auf. Er löst sich meist unter Einfluß der Sonnenstrahlung gegen Mittag auf. Häufig ist Strahlungsnebel in Senken oder Tälern zu finden. Diese füllen sich mit Kaltluft, die nachts von den Hängen hinabfließt. Es entstehen dann Nebelschwaden oder Nebelbänke. Diese sind meist nicht besonders ausgedehnt, aber wegen ihres plötzlichen Auftretens für den Kraftfahrer von besonderer Gefährlichkeit.

Advektionsnebel entstehen durch die Abkühlung warmer Luftmassen, die über eine kalte Oberfläche strömen. Da die Oberfläche im Vergleich zur Luft kalt sein muß, tritt Advektionsnebel über Land am häufigsten im Winter auf, über Gewässer meist im Frühjahr. Der Advektionsnebel ist eine der dauerhaftesten Nebelformen und wird häufig bis zu mehreren hundert Metern hoch. Im Küstenbereich tritt Advektionsnebel im Frühjahr auf, wenn warme Luft vom Land her über das noch kalte Meer strömt (Küsten-Seenebel), sowie im Herbst, wenn vom Meer her warme Luft auf das kalte Festland trifft (Küsten-Landnebel).

Schwächung von Licht im Nebel, Streufunktion

Schickt man ein Lichtstrahl mit dem Lichtstrom Φ durch ein Volumenelement dV , in dem sich Streuelemente befinden (z.B. Nebeltropfen), so wird der Lichtstrahl geschwächt. Dabei wird Licht in alle Richtungen gestreut. Die Menge des Lichtstrom $d\Phi$, um die Φ geschwächt wird, ist proportional zu der Länge des Volumenelementes sowie zu der Größe vom Lichtstrom Φ

$$d\Phi = -k \cdot \Phi \cdot dx,$$

wobei dx die Länge des Volumenelementes in Richtung des Lichtstromes ist und k der Faktor, um den Φ geschwächt

wird. k wird als **Schwächungskoeffizient** bezeichnet. Im allgemeinen wird nicht in jede Raumrichtung gleichviel Licht gestreut. In Richtung vom Streuwinkel ϑ wird die Intensität $dI = f(\vartheta) \cdot k \cdot \Phi \cdot dx$ gestreut. $f(\vartheta)$ wird als **Streufunktion** bezeichnet. Die Streufunktion ist abhängig von den Streuelementen (d.h. von der Tropfenverteilung im Nebel), von der Wellenlänge des Lichts sowie von der Polarisationsrichtung.

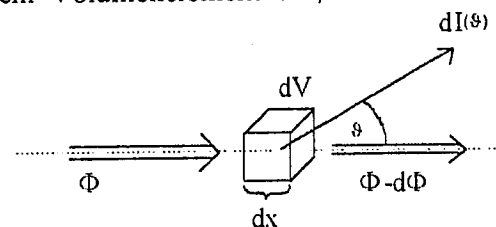
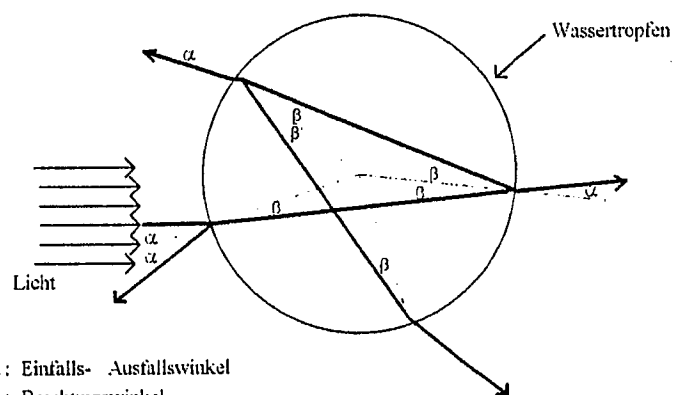


Bild 2: Schwächung des Lichtstroms im Nebel

Da Nebeltropfen typischerweise etwa 10 mal so groß sind wie die Wellenlänge, können die wesentlichen Merkmale der Streufunktion mit der geometrischen Optik erklärt werden. Die Streufunktion kommt dabei durch Reflexion und Brechung des Lichts an der Wassertropfenoberfläche zustande. Nicht erklärt werden kann so allerdings die Beugung des Lichts an den Tropfen. Zudem bekommt man größere Abweichungen im Bereich der Regenbogenwinkel (Winkelbereich von etwa 125 bis 145 Grad), so daß man die korrekte Streufunktion über die Mietheorie berechnen muß.



α : Einfalls- Ausfallswinkel
 β : Brechungswinkel

Bild 3: Lichtweg eines Strahls in einem Wassertropfen

Mehrfachstreuung

Hauptproblem bei der Berechnung der Streuleuchtdichten war die Bestimmung des Mehrfachstreuanteils. Da hier jede Lichtrichtung einer Lichtquelle einen Beitrag zu jeder Beobachtungsrichtung liefert, wird die Berechnung sehr (rechenzeit-) aufwendig. Daher wurde beschlossen, den Mehrfachstreuanteil nicht mit einem numerischen Integrationsverfahren, sondern über die Monte-Carlo-Methode zu berechnen. Hierbei werden einzelne Lichtstrahlen im Nebel mittels Zufallszahlen modelliert. Die Abschätzung des Mehrfachstreuanteils geschieht dann über die Mittelung der Beiträge der einzelnen Strahlen.

Die Modellierung eines Lichtstrahls geschieht wie folgt:

Der Lichtweg wird sowohl von der Lichtquelle als auch vom Auge her verfolgt. Für eine gegebene Licht- und Beobachtungsrichtung wird über Zufallszahlen die Länge l der Strahlen bis zum nächsten Streuort bestimmt. Der Streuwinkel ϑ , unter dem der Strahl dort gestreut wird, wird ebenfalls über Zufallszahlen bestimmt. Die Verteilungsfunktion

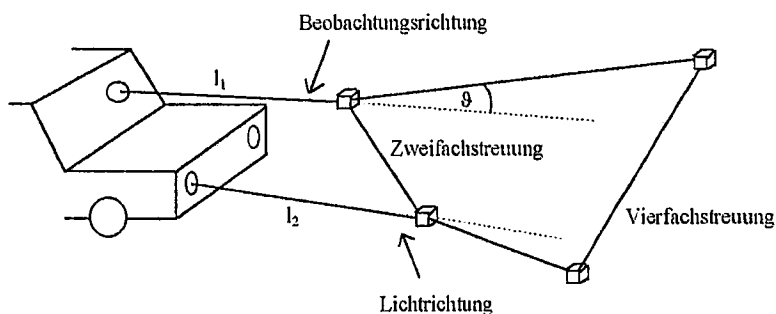


Bild 4 : Lichtstrahlverfolgung mit der Monte-Carlo-Methode

der Streuwinkel ist dabei durch die Streufunktion $f(\vartheta)$ gegeben. Nun wird erneut die Länge l bis zum nächsten Streuort berechnet. Dies wird so lange gemacht, bis die gewünschte Anzahl von Streuungen erreicht ist. Der Beitrag eines Strahls bestimmt sich aus dem Abstand r der beiden letzten Streuorte und den Streuwinkeln. Auf diese Weise wird nacheinander die Zweifach-, Dreifach-, ...n-fachstreuung berechnet. Dabei hat sich gezeigt, daß die Bestimmung der Vierfachstreuung meist mehr als ausreichend ist (vereinfacht gesagt wird das meiste Licht im Nebel nach vorne gestreut, so daß es sich vom Beobachter entfernt und nach dem fotometrischen Entfernungsgesetz mit jeder Streuung ein kleinerer Teil zurückgestreut wird). Ist nennenswerte Einfachstreuung vorhanden (d.h. auf alle Fälle unterhalb der Hell-Dunkel-Grenze bei Scheinwerfern), macht Mehrfachstreuung einen Anteil von etwa 10%-20% der Gesamtstreuleuchtdichte aus, ist keine große Einfachstreuung vorhanden, kann der Anteil wesentlich größer sein (dies hängt dann stark von der Lichtverteilungskurve des Scheinwerfers ab).

Vergleich Messungen \leftrightarrow Rechnungen, Ausblick

Die gemachten Rechnungen wurden mit Messungen verglichen, die im Nebelkanal bei Mercedes-Benz in Sindelfingen vorgenommen wurden. Dabei wurden im Nebelkanal mit einer zu einer Leuchtdichtekamera umgebauten CCD-Kamera Aufnahmen gemacht. Bei den Berechnungen der Streuleuchtdichten von Lichtquellen im Verkehrsraum (Leuchtdichtenormal in einer bestimmten Entfernung vom Auge) zeigten sich recht gute Übereinstimmungen (Fehler $< 10\%$). Weniger gut war die Übereinstimmung bei der Streuleuchtdichte, die von den Scheinwerfern des eigenen Fahrzeuges verursacht wird. Hier lagen die berechneten Werte durchweg unter den gemessenen (bei etwa 60%-70%). Ein Grund dafür könnte sein, daß der Boden im Nebelkanal naß war und stark reflektierte und dieser reflektierte Teil des Licht Streulicht verursachte, das im Programm bisher nicht berücksichtigt wird. Bei einem weiteren Ausbau des Programms müßte versucht werden, diesen Teil zu berücksichtigen. Zudem wären auch Untersuchungen nötig, welche Reflexionseigenschaften eine Straße/ ein Verkehrszeichen bei Nebel hat (trocken \leftrightarrow naß).

Meßtechnische Erfassung und mathematische Beschreibung der optischen Eigenschaften von Nebel

Martin Boehlau-Godau

Technische Hochschule Darmstadt

Hochschulstraße 4a

64289 Darmstadt

Bewertung von Körperfarben mit einem rechnergestützten Farbmeßgerät

Hartmann, Jürgen

Der neuzeitliche Mensch ist ein Augentier.

Sein Kaufverhalten, seine Gemütslage, sein Streben, fast alles wird entscheidend davon bestimmt, was seine Augen aufnehmen: von Licht und Farbe. Wir, als Vertreter dieser Gattung, sind es dennoch nicht gewohnt, Farben quantitativ exakt anzugeben.

Mit anderen Größen ist das nicht so.

Seit der Erfindung der Uhr, weiß jeder, was eine halbe Stunde ist. In einem Vortrag, zum Beispiel, ist für den Vortragenden eine halbe Stunde etwas völlig anderes, als für den Zuhörer. Wobei dahingestellt sei, wer letztendlich mehr zu leiden hat. Aber, unabhängig von der Empfindung, bleibt eine halbe Stunde immer eine halbe Stunde.

Jeder weiß, was 2 Kilometer sind. Die Bewertung der 2 Kilometer wird sich danach richten, ob man sie zu Fuß abgehen oder mit dem Auto abfahren wird. Aber 2 Kilometer sind mit einer Vorstellung der entsprechenden Weglänge verbunden.

Wie halten wir es mit Farben?

Im Alltag gibt niemand eine Farbe mit z. B. "2 Kilobunt" an, eher ist damit die Füllung seiner Waschmaschine gemeint. Immer noch wird um Farben gefeilscht, wie auf einem orientalischen Basar. So gelb wie eine Zitrone. So rot wie eine Tomate. Die Mode kennt sogar Farben wie Hummer, Pflaume oder Maulwurf. Dem Einen sein Maigrün ist dem Anderen sein Giftgrün.

Ist es vielleicht gar nicht so wichtig, Farben exakt einzuordnen?

Weit gefehlt!

Farben sind, unter anderem, nicht nur Informationsträger erster Güte, sondern auch empfindliche Marketingfaktoren, unverfälschliche Markenzeichen, naturwissenschaftliche Wertvariablen und diagnostische Hilfsgrößen.

Wie bunt ist diese Tomate?

So könnte die Fragestellung für eine farbmetrische Untersuchung lauten. Verständlicherweise hat mein Vortrag einen weniger dramatischen Titel. Er lautet wie das Thema meiner Studienarbeit, die diesem Kurzreferat zugrunde liegt:

Bewertung von Körperfarben mit einem rechnergestützten Farbmeßgerät.

Im Institut für Lichttechnik der Fachhochschule für Technik in Mannheim werden im Zuge der Ingenieurausbildung Studien- und Diplomarbeiten für lichttechnisch interessierte Studenten angeboten, die sich auch mit den Themen Farbe und Farbmeterik beschäftigen. Dies ist zwar nicht ungewöhnlich, aber keine Selbstverständlichkeit, denn die zentralen Kapitel innerhalb der wöchentlich 4-stündigen Wahlpflichtvorlesung *Lichttechnik* sind photometrische Grundlagen und beleuchtungstechnische Projektierungen. Um darüber hinaus einen Einstieg in die Farbbewertung zu ermöglichen wurde ein Laborversuch geschaffen, dessen vorrangiges Ziel die Vermittlung der grundlegenden farbmetrischen Zusammenhänge ist. Zur Realisierung dieses Versuchs wurden ein Meßgerät, das nach dem Dreibereichsverfahren (DIN 5033) mißt und ein Datenprozessor angeschafft. In einer Diplomarbeit wurde ein Farbmeßplatz mit PC-Ankopplung errichtet und eine grundlegende Auswerte- und Ablaufkoordinierungssoftware erstellt. Mit diesem Vorhaben soll kein Spezialistentum gefördert, sondern das Bewußtsein für den Begriff Farbe bei den Studenten geschärft werden.

Bevor auf diese Aktivitäten einzugehen ist, sind noch einige Erläuterungen zur Farbmeterik sinnvoll. Grundlage der Betrachtungen ist DIN 5033 T.1-9.

Eine Farbe ist durch drei voneinander unabhängige Empfindungsqualitäten bestimmt:

Bunton, Buntheit und Helligkeit. Bunttöne (umgangssprachlich: Farbtöne) sind z.B. mit den Adjektiven rot, gelb, grün, blau bezeichnbar. Aus der Buntheit einer Farbe leitet sich deren Sättigung ab, also wie blaß oder satt eine Farbe bei gleicher Helligkeit ist. Eine Farbe ist erst dann bunt, wenn sie einen Bunton und eine Buntheit besitzt. Unbunte Farben, von schwarz, über grau, zu weiß, haben nur Helligkeit.

Jürgen Hartmann (stud. ing.)
Fachhochschule für Technik Mannheim
FB Elektrische Energietechnik
Speyerer Straße 4
68163 Mannheim

Um Farben graphisch darzustellen, gibt man sie als Ortsvektoren in dreidimensionalen Farbenräumen an. Die zentrale Größe einer solchen Betrachtungsweise ist die Farbvalenz. Ihre Koeffizienten werden Farbmaßzahlen oder Farbwerte genannt. In den Normvalenzsystemen nach CIE gibt es dafür die Normfarbwerte XYZ, die allen Betrachtungen zugrunde liegen.

Noch gebräuchlicher ist die zweidimensionale Darstellung in Farbtafeln. Dabei wird auf die Darstellung der Helligkeit verzichtet. Eine geläufige Farbtafel ist die Normfarbtafel für das 2°-Normvalenzsystem. Aus den Normfarbwerten XYZ werden durch einfache mathematische Umformung die Normfarbwertanteile x und y gebildet, was für die Ebenendarstellung genügt. In solch einer Farbtafel ist der Spektralfarbenzug (respektlos "Schuhsohle" genannt) enthalten. Er beschreibt in kontinuierlicher Weise die Normfarbwertanteile aller Spektralfarben. Zur letztlich vollständigen Bestimmung einer Körperfarbe dient als dritte Größe der Normfarbwert Y , der gleichzeitig Hellbezugswert ist. Der Hellbezugswert ist das 100fache des Reflexionsfaktors R_v . Damit ist der sogenannte Yxy-Farbenraum vollständig definiert.

Was theoretisch wohlgedacht ist, scheint unserem Gehirn trotzdem egal zu sein, denn der Farbenraum Yxy hat einen Schönheitsfehler. Er ist empfindungsgemäß nicht stimmig. Die geometrischen Farbabstände divergieren derart von den empfundenen Farbabständen, daß für empfindungsgemäße Anforderungen besondere Farbenräume eingeführt wurden. Zwei seien hier erwähnt. Sie heißen Lab- und Luv-Farbenraum (auch Farbenräume CIE1976). Diese Farbenräume lassen sich mit entsprechenden Transformationsgleichungen aus dem Yxy-System überführen.

Eine weitere Darstellungsmöglichkeit, ist die Angabe der Buntheit C (und damit der Sättigung) als Betrag und des Bunttons als Bunttonwinkel H , eines aus dem Lab-System transformierten LCH-Farbsystems mit Zylinderkoordinaten. Für die Farbtafel folgt daraus ein Polarkoordinatensystem.

Nach diesem vereinfachten Exkurs zu den farbmtrischen Grundlagen, kann das eigentliche Thema, die Messung der Körperfarben, angegangen werden. Gemessen wird in diesem Zusammenhang mit einem Farbmeßgerät der niedrigeren Preiskategorie (< 10 000 DM). Es wurde vom Hersteller für die Qualitätskontrolle in Labor und Produktion geschaffen.

Das Gerät besteht aus einem Meßkopf mit integrierter Xenon-Blitzlampe und dem Instrumentenkörper. Beide Teile sind mit einem Glasfaserkabel verbunden. Die Xenon-Lampe emittiert ein definiertes Licht, das durch eine Meßöffnung auf die Farbprobe fällt und wieder reflektiert wird. Das Glasfaserkabel überträgt in 6 Lichtleitern die Lichtwellen zu den Silizium-Photodioden im Instrumentenkörper. Dabei empfangen drei Dioden das von der Meßprobe reflektierte Licht. Die übrigen drei Dioden erreicht das direkt von der Xenonlampe emittierte Licht. Diese Maßnahme dient zur Kompensation von Abweichungen in der Meßlichtzusammensetzung. Die Diodenströme werden über die dabei anstehenden Spannungen mittels einer A/D-Wandlereinheit in digitale Signale überführt. Ein Mikroprozessor bestimmt die Normfarbwerte XYZ und rechnet sie in die Angaben des gewünschten Farbenraumes um. Die Meßwerte können dabei in Lab- oder Yxy-Farbwerten ausgegeben werden. Es sind sowohl Absolutmessungen, als auch Differenzmessungen (zu einer vorgegebenen Zielfarbe) möglich. Die Ausgabe erfolgt über ein LCD-Display.

Das Meßprinzip basiert auf dem Dreibereichsverfahren (DIN 5033 T.6). Die drei Farbwerte der zu messenden Farbvalenz werden dadurch bestimmt, indem die Empfindlichkeit der Strahlungsempfänger, der Empfindlichkeit eines sogenannten farbmtrischen Normalbeobachters, durch Vorschalten geeigneter Farbmeßfilterkombinationen angepaßt wird.

Zur Verbesserung der Auswertung wurde ein spezieller Datenprozessor, als unterstützende Einheit zum Farbmeßgerät, angeschafft. Damit können Meßergebnisse als Datensätze remanent gespeichert werden. Zusätzlich zu den Meßmodi des Farbmeßgerätes gibt es beim Datenprozessor noch die Umrechnung in das Munsell- und das LCH-Farbsystem. Ein kleiner Thermodrucker dient zur Protokollierung der Meßreihen.

Ein äußerst nützliches Element des Datenprozessors ist die serielle Schnittstelle im RS 232C-Format. Diese Schnittstelle ist der eigentliche Ansatzpunkt zum Aufbau eines rechnergesteuerten Farbmeßplatzes. Der fertig eingerichtete Meßplatz besteht aus dem Farbmeßgerät mit Datenprozessor, einer Karussell-Meßprobenaufnahme mit Synchronmotorantrieb für Reihenmessungen, einer Einzelmessprobenaufnahme, einem IBM-AT-Personalcomputer mit MS-DOS-Betriebssystem, einem Farbmonitor und einem 24-Nadel-Drucker.

Zur Hardware wurde eine Ablaufkoordinierungs- und Auswertesoftware in GW-Basic erstellt. Das ursprüngliche Programm, das zusammen mit dem Meßplatz im Rahmen einer Diplomarbeit angefertigt wurde, erfuhr nachträglich einen weiteren Ausbau. Der optionale Zugriff auf die Programm-Routinen erfolgt über Pulldown-Menüs. Vom Farbmeßgerät erfaßte Meßwerte, werden zum PC übertragen, gespeichert und angezeigt. Die Speicherung erfolgt wahlweise in den üblichen Diskettenformaten (5,25" und 3,5") oder auf Festplatte. Die gespeicherten Dateien können mit entsprechenden Verwaltungsroutinen editiert, gelöscht oder umbenannt werden.

Einzelne Meßreihen sind auf dem Monitor oder dem Drucker abrufbar. Für die Auswertung im Yxy-Farbsystem besteht die Möglichkeit der graphischen Darstellung innerhalb einer Normfarbtafel.

Der Grund für die Einrichtung des Meßplatzes ist, wie bereits erwähnt, seine didaktische Nutzung bei der Durchführung eines vorlesungsbegleitenden Laborversuchs. Der Student, die Studentin soll am praktischen Beispiel mit der Farbmatrik in Kontakt treten. In den Versuchsunterlagen, die der Vorbereitung dienen, ist eine Auswahl von Grundlagenwissen niedergeschrieben, die der Studierende zum theoretischen Verständnis der Materie benötigt. Der Versuch selbst ist in zwei Abschnitte unterteilt. Ein einführender Versuchsteil befaßt sich mit der stufenweise Inbetriebnahme des Meßplatzes und der Durchführung von Absolutmessungen an Körperfarben. Zuerst kommt das vom Meßplatz abgenabelte, und damit, transportable Meßgerät zum Einsatz. Sinnvollerweise werden dabei die Körperfarben gewöhnlicher Gegenstände der Laboreinrichtung mit recht unterschiedlichen Bunttönen gemessen:

roter Feuerlöscher, blaue Tür, grüner Labortisch.

Später wird mit dem komplettierten Meßplatz eine vorbereitete Reihe von Farbproben gemessen. Die Meßreihe wird mit dem PC weiterbearbeitet und in einer Normfarbtafel dargestellt.

Die Differenzmessung von Farbvalenzen bezüglich einer Zielfarbe ist Thema des zweiten Teilversuchs. Dabei werden Farbproben aus dem unmittelbaren Bereich eines als Zielfarbe gewählten Bunttons verglichen. In einer Vorüberlegung werden Vermutungen bezüglich Bunttondifferenz, Sättigung und Helligkeit schriftlich fixiert. Die anschließende Meßreihe, die sowohl für den Lab- als auch für den Yxy-Farbenraum auszuwerten ist, soll die Unterschiede der beiden Farbräume, auch in Bezug zu dem vorher gemachten Überlegungen, herausstellen. Zur vergleichenden Auswertung sind die Meßergebnisse in $\Delta x\Delta y$ - und $\Delta a\Delta b$ -Koordinatensysteme einzutragen, in deren Ursprüngen die Zielfarbe definiert ist.

Wesentliches Ziel des Versuchs ist, für den einzelnen Teilnehmer, die Entdeckung der Farbe als meßbare Größe.

In einer Zeit rasanter Entwicklungen, ist unsere Hardware, da es sich um eine Gerätegeneration aus der Zeit zwischen Mitte und Ende der 80er Jahre handelt, bereits etwas antiquiert. Auch die Software ist nicht mehr ganz aktuell.

An moderne Farbmeßgerät werden immer gehobeneren Anforderungen gestellt:

- kompakte, leichte und robuste Ausführung,
- Anwendungsvielfalt in Bezug auf die Meßobjekte,
- Anpassung auf Form und Größe der Meßobjekte,
- Meßgenauigkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse,
- Normkonformität,
- Datenaustausch mit Peripheriegeräten und umfangreiche Auswertesoftware.

Enorme Fortschritte hat es innerhalb der letzten Jahre besonders in Bezug auf die Auswertesoftware gegeben. Hat unsere ursprüngliche Softwareversion noch ihren Schwerpunkt auf dem Yxy-Farbenraum, so gibt es heute für den Nachfolger unseres Meßgerätes bereits eine vielseitige Software, bei der die empfindungsgemäß gleichabständigen Lab- und LCH-Farbenräume dominieren.

Zum Abschluß möchte ich einen vorsichtigen Ausblick auf die weiteren Entwicklungen auf dem Gebiet der Farbmessung wagen. Eine exakte Voraussage ist dabei nicht möglich, dennoch lassen sich aus dem Vergleich der früheren Meßmöglichkeiten mit dem heutigen Stand einige unverfängliche Vorhersagen für die Zukunft machen.

Die Meßgeräte werden noch höher integriert sein. Meßkopf und Auswertungsteil mit grafikfähigem Display werden eine Einheit bilden. Die Meßgeräte werden sich in Zukunft selbst kalibrieren. Die Auswertesoftware wird noch umfassender und ausgereifter sein.

Zusammenfassend wird die Farbmatrik zu einem angemesseneren Stellenwert innerhalb der Meßtechnik finden, als dies bisher der Fall war und damit einen selbstverständlichen aber oft übergangenen Aspekt unseres Lebens noch stärker ins Bewußtsein rücken: die Farbe.

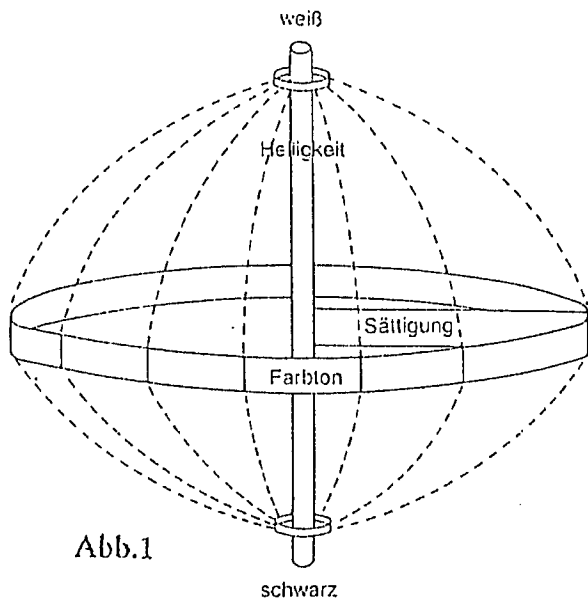


Abb.1

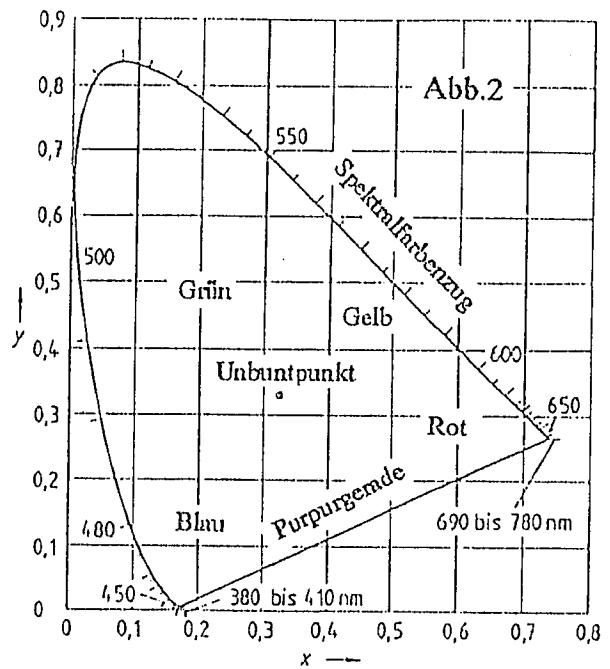


Abb.2

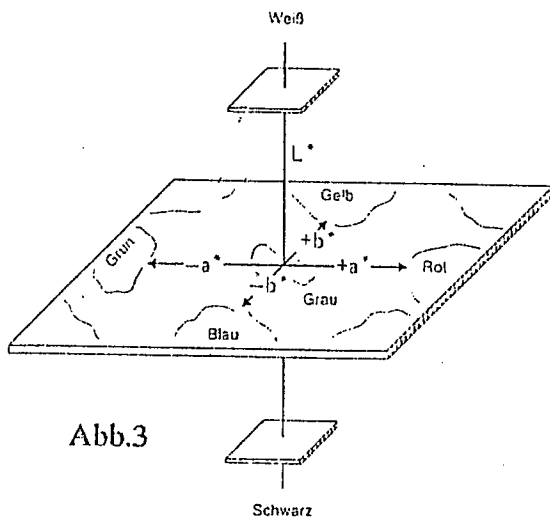


Abb.3

Abb.1: Dreidimensionaler Farbenraum

Abb.2: 2°-Normfarbtafel

Abb.3: L*a*b*-Farbenraum

Abb.4: Meßprinzip und Systemdiagramm des Farbmeßgeräts

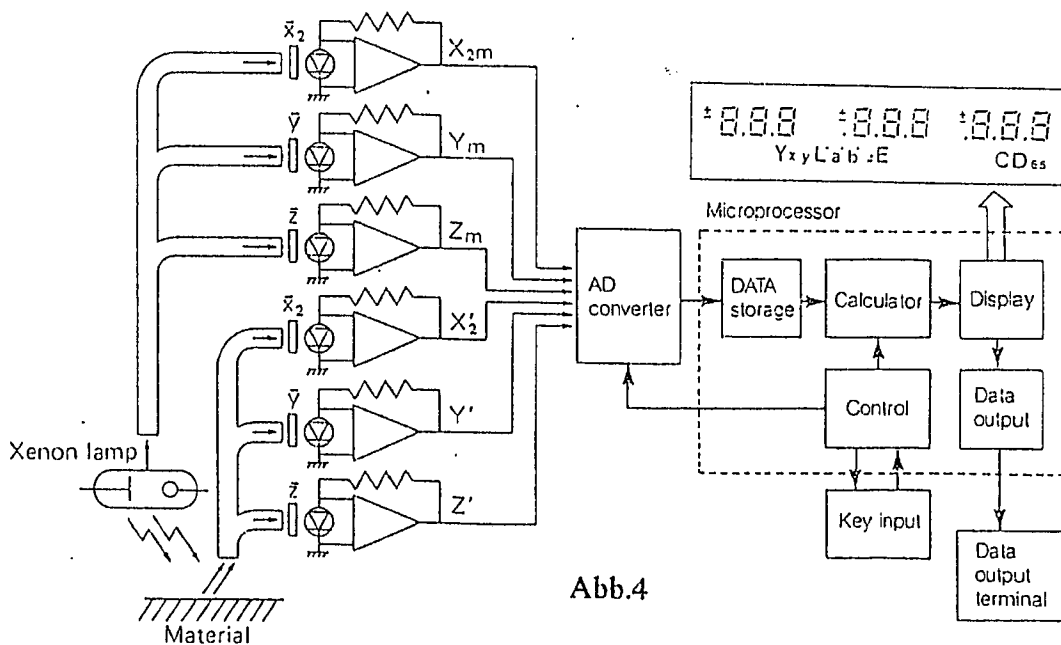


Abb.4

Complicated Light-Scattering Volume Textures Exploration based on Reflected Light Polarizative Properties Utilization

Lisitsin, Dmitry.

The underlying surfaces (numerous mineral, soil and vegetative covers and landscapes) as well as others natural complicated textures ecological remote sensing based on optical methods is become urgent of late. On working out an aforesaid problem investigator encounters quite often the textures optical-physical or chemical-mineralogical parameters retrieving from radiation field reflected by them, which is to be measured. However note should be taken that such a method requires the several experiments data coupling to draw in and utilize a supplementary information about the objects of interest - due to their properties alterations high influence upon the reflected light field.

It ought to emphasize that most complete optical information which can be available in somewhat spectral interval $\Delta\lambda$ is carried with the reflected (or scattered) radiation polarizative parameters. Besides the polarization proves to be extremely sensible under change in both researching textures substance properties and remote sensing scheme geometry. Those facts impose considerable restrictions on both measurements accuracy and their results theoretical interpretation. Hence the last one seems to be impossible without the careful physical and mathematical models of the natural surfaces polarizative ability.

The experimental laws of reflected radiation polarizative parameters behaviour, such as Umov's rule and Polarizative-Phase Curve (PPC) - linear polarization degree vs. angle between incidence and observation directions - well known from atmosphereless cosmic bodies surfaces observations [1], can not be understood by means of superficial radiative interaction mechanism only. For instance the PPCs shape for lot of natural textures stable as it is (under geometry alterations), it is sure to have a marked difference from one given by Fresnel formulae. Such PPCs have the polarization notorious "negative branch" (for $0^\circ - \approx 15^\circ$ phase angles range), which means the polarization azimuth rotating by 90° towards reflection plane. The multiple re-reflection or scattering mechanism was the one what produced such a phenomenon, therefore it requires the account of radiation penetration inside the natural layers thickness and analysis of the volume interaction with substance.

The complete models involving such an interaction and suitable for quantitative estimations still being absent, the polarimetric observations data interpretation is grounded very often upon multiple reflections (ordinary reduced to double!) by rough surface (using Fresnel law) or by regular structure of particles (using Mueller matrices, G.Mie theory, or diffraction theory). Nevertheless to our mind for the aforesaid phenomena quantitative model the superficial radiation reflection and refraction should be combined with Radiative Transfer Theory - for natural layers volume.

This way we did seek such a model and supposed the natural object to be the plane-parallel layer confined with random rough in-

Junior Research Worker Dmitry Lisitsin
Moscow Power-Engineering Inst., Illuminating Engineering Dep.
Russia, E-250, Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14
Phone: 095 362 70 67
Fax :007 095 361 16 20, Illuminating Engineering Dep.

terface at the top and Lambertian underlaying surface at the bottom. The 4x4 matrix Green's function P of the whole layer obeys the boundary value problem:

$$(\hat{l}, \nabla) P(z; r, \hat{l}) + \varepsilon(z) \cdot P = \frac{\varepsilon}{4\pi} \oint d\hat{l}' S(z; \hat{l}' \rightarrow \hat{l}) \cdot P(z; r, \hat{l}') \quad (1)$$

- Vectorial Radiative Transfer Equation (VRTE)
when distributed radiation sources neglecting;

$$\begin{cases} P(z; r, \hat{l}) \Big|_{\Gamma_1} = \mathbb{T} \mathbb{1} \cdot \delta(r-r_0) \cdot \delta(\hat{l}-\hat{l}_0) + \mathbb{R} P(z=0; r, \hat{l}'); \\ P(z; r, \hat{l}) \Big|_{\Gamma_2} = \mathbb{R} P(z=H; r, \hat{l}) \end{cases} \quad (2)$$

- boundary conditions have been taken,

where $\Gamma_1 = \{z=0, \hat{l} \in \Omega_+\}$, $\Gamma_2 = \{z=H, \hat{l} \in \Omega_-\}$; $\Omega_+ = \{\hat{l}: (\hat{l}, \hat{N}) \geq 0\}$, $\Omega_- = \{\hat{l}: (\hat{l}, \hat{N}) \leq 0\}$ - lower and upper hemispheres respectively; the whole unitary sphere is $\Omega = \Omega_+ \cup \Omega_-$; r - horizontal coordinate; \hat{l} - unitary vector; matrix P incident coordinates r_0 and \hat{l}_0 are omitted here and further; "o" index denotes everywhere the incidence coordinates; \hat{N} - unitary normal vector risen at r point on the surface; z - vertical coordinate; H - whole layer thickness; $\mathbb{1} = \text{Diag}\{1, 1, 1, 1\}$ - unitary matrix; \mathbb{T} , \mathbb{R} , \mathbb{R} - Fresnel refraction, reflection and Lambertian reflection operators respectively; δ - Dirac function; ε - extinction index; S - Mueller matrix for volume element which is called scattering matrix.

The polarizative ability ρ (reflectance with polarization consideration) of layer can be obtained by P averaging on rough surface arbitrary realizations:

$$\rho(r_0, \hat{l}_0 \rightarrow r, \hat{l}) = \langle \mathbb{T} P(z=0; r, \hat{l}) \rangle + \langle \mathbb{R} \mathbb{1} \cdot \delta(r-r_0) \cdot \delta(\hat{l}-\hat{l}_0) \rangle, \quad (3)$$

where angular brackets denote the averaging. The elementary facets slopes distribution function relatively horizon is supposed to be Gaussian as it the authors majority make ordinary.

The perturbations theory method application and neglecting both the surface neighbouring facets correlations (it is intrinsic to numerous natural surfaces) and re-reflections of order higher 1st on top interface, yield quite simple expressions which will do for further performing. Those expressions "main link" is the basic boundary value problem relevant to plane-parallel layer; it has the boundary conditions for infinite-wide monodirectional illumination (it is called "flat wave"):

$$\begin{cases} \mathcal{L}(z; \mu, \varphi) \Big|_{\Gamma_1} = \mathbb{1} \cdot \delta(\mu-\mu_0) \cdot \delta(\varphi-\varphi_0); \\ \mathcal{L}(z; \mu, \varphi) \Big|_{\Gamma_2} = 0, \end{cases} \quad (4)$$

where \mathcal{L} is VRTE 4x4 matrix Green's function; 0 means the entirely nought matrix. Under such conditions \mathcal{L} is function vs. 3 variables only: z, $\mu=(\hat{z}, \hat{l})$ and φ - azimuth angle with respect to OZ - axis.

However the polarization characteristics fields mathematical simulation based on VRTE solutions methods (for boundary conditions

(4) in particular), which will do for remote sensing purposes, turns out to be developed poorly at present - due to methods either have too "narrow" applicability field (S.Chandrasekhar's well known exact method [2] for homogeneous layer with whole scattering governing by Rayleigh matrix S), or require the refined numerical algorithms and the huge computing capacities [3,4,5]. Besides it should be considered that for natural textures solid or dry substance containing the components of spherical or irregular particles (for them we can either simulate the S matrices by G.Mie theory or measure those ones by laboratory means) the scattering angular anisotropy is typical. Thus small-angle approximation well known for scalar RTE can be applied expediently for our purpose, but it is to be generalized carefully for VRTE case. We succeeded in such a generalization basing upon the vectorial spherical harmonics approximation [5] which had allowed us to reduce the corresponding infinite and matrix differential equations system to 4 differential equations system [6]. Last one leads to simple solution not requiring complicated numerical algorithms or long computing run times even for PC, meanwhile the approximation accuracy testing has been carried out in detail (comparing with S.Chandrasekhar's and Monte-Carlo methods) shown us its wide applicability field. Moreover method allows the amendment for "obtuse" scattering angles without algorithm considerable complications. Enumerated facts make the suggested method to be suitable in the best way possible as elaborated model "main link".

The volume textures polarizative reflectance model enabled us to calculate the PPCs for samples of layers when all of their parameters were varying. In its turn it has allowed to analyze the model PPCs behaviour to comprehend the acting processes, also to find the layers parameters most crucial for PPCs shapes observing peculiarities, and to offer the PPC sensible parameters to apply under natural textures remote sensing. Such parameters are:

- 1) PPC maximum and minimum points;
- 2) polarization "inversion" point (crossing the OX-axis);
- 3) curve slope in this point (at this phase angle).

Such parameters are enough to retrieve the whole PPC with the aid of 4 angular channels whose technical parameters can be defined by our model using. Thus the 4-angular videopolarimeter functional scheme was offered jointly with employees of Moscow Technical University of Communication and Informatics. Now the polarimeter is at the constructing stage, and we hope sincerely the device combined with our model will give new remote sensing method soon.

REFERENCES

1. Lyot B. Recherches sur la Polarisation de la Lumiere des Planetes et de Quelques Substances Terrestres // Ann. Obs. Meudon, 1929. - V.8, N1. - 145 P.
2. Chandrasekhar S. Radiative transfer // Oxford, 1950.
3. Kattawar G.W., Plass G.N. Radiance and Polarization of Multiple Scattered Light from Haze and Clouds // Appl. Opt., 1968. - V. 7, N8. - P. 1519 - 1527.
4. Hovenier J.W. Multiple Scattering of Polarized Light in Planetary Atmospheres // Astronomy & Astrophysics. - 1971.-V.13. P.7-29.
5. Garsia R.D.M., Siewert C.E. A generalized spherical harmonics solution for radiative transfer models that include polarization effects // JQSRT, 1986. - V. 36, N5, - P. 401 - 423.
6. Astakhov I.E., Budak V.P., Lisitsin D.V. Small-Angle Approximation relevant to Stokes Vector-Parameter Computation for Scattering Layer confined with Reflecting Interface // Int. Symp. Numerical Transport Theory. Russia, Moscow. May, 1992.

Die Körperwiedergabeeigenschaft von Beleuchtungssystemen

Funk, Thomas
Pretzsch, Winfried

Einleitung

Die Wahrnehmung räumlicher Strukturen wird durch die Beleuchtung maßgeblich beeinflusst. Dabei spielen Lichtrichtung, Schattigkeit, Glanzerscheinungen auf der Oberfläche und die Bemusterung des Objektes und des Umfeldes eine Rolle. Die Körpererkennung wird aber auch durch die geometrische Form des Körpers in Verbindung mit der Beleuchtungssituation geprägt. Deswegen wird vorgeschlagen diese Eigenschaften als Körperwiedergabeeigenschaften (KWG) zu definieren und diese als ein neues Gütekriterium in die Beleuchtungsnorm zu übernehmen.

Im Gegensatz zu vorrangegangenen Versuchen und Definitionen (Norden /1/, Haeger /2/) zur Schattigkeit ist es unser Ziel, die Körperwiedergabeeigenschaften nicht nur auf den Schatten zu beziehen, sondern auch auf die räumliche Wirkung des Körpers (Tiefeneindruck) bei verschiedenen Beleuchtungsniveaus.

Bei unseren Versuchen ging es darum, bevorzugte Lichtrichtungen, Leuchtdichteschwellwerte der Erkennbarkeit /3/ und allgemeine Bewertungen von verschiedenen Beleuchtungssituationen zu untersuchen.

Bevorzugte Lichtrichtungen

Ein Kriterium für die gute Erkennbarkeit von Gegenständen ist die Richtung, aus der diese beleuchtet werden. In dieser Versuchsreihe wurden mehrere Testreihen am Computerbildschirm und an einer Schwenkarmkonstruktion, ähnlich einem Goniphotometer mit bewegter Lichtquelle, durchgeführt. Um Fremdeinflüsse zu vermeiden, wurde in einem abgedunkelten Raum gearbeitet, so daß indirekte Lichtanteile zur Beleuchtung wegfielen.

Bei den zu bewertenden Körpern handelte es sich um Zylinder, Kugel, Würfel und Kegel, mit einer Höhe von jeweils ca. 5 cm.

Hierbei hatte der Proband die Aufgabe, eine von 9 vorgegebenen Beleuchtungssituationen auszuwählen und zu bewerten. Die meisten Probanden entschieden sich für eine Beleuchtungssituation, bei der das Licht aus einem Vertikalwinkel von 60° und einem Horizontalwinkel von 60° bzw. 45° auf die Körper eingestrahlt wurde.

Dipl.-Ing. Thomas Funk
WILA Leuchten GmbH
Potsdamer Str. 10, 14513 Teltow

Dipl.-Ing. Winfried Pretzsch
Porzellanstr. 30, 98693 Ilmenau

Desweiteren wurde mit einer feinmodellierten, 5 cm hohen geweißten Zinnfigur gearbeitet. Hierbei sollte der Beobachter die Lichtrichtung so einstellen, daß die Figur für ihn optimal beleuchtet wird. Bei 75 Versuchen ergab sich ein mittlerer Horizontalwinkel von $49,1^\circ$ und ein mittlerer Vertikalwinkel von $23,9^\circ$ vom Modellkörper in Richtung Probanden gemessen.

Schwellenwerte der KWG

Ein wichtiger Punkt für die Erkennbarkeit von Gegenständen und Körpern ist die Höhe des Beleuchtungsniveaus. Dieser Versuch wurde ebenfalls mit der weiter oben beschriebenen Schwenkarmkonstruktion durchgeführt. Dabei sollten bei einem fest vorgegebenen Horizontal- und Vertikalwinkel von jeweils 45°

- die Schwelle der räumlichen Erkennbarkeit;
 - die Grenze der optimalen Beleuchtung und
 - die Schwelle zur Blendung
- eingestellt werden werden.

Dabei ergaben sich für die erstgenannte Situation ein Mittelwert von $1,1 \text{ cd/m}^2$, für die Zweite ein Mittelwert von 907 cd/m^2 und für die Blendung ein Mittelwert von 2900 cd/m^2 . Diese Ergebnisse wurden mit einem Pritchard-Photometer auf einer weißen Würfeloberfläche mit 45° Drehung gemessen.

Untersuchungen im Modellraum

Im Gegensatz zu den vorangegangenen Versuchen wurde hier in einem Modellsaal gearbeitet. Hierbei hatte der Proband die Aufgabe, einfache geometrische geweißte Körper (Zylinder, Kegel und Quader; Höhe 25 cm) und farbig gespritzte Gesichtsmasken zu beurteilen. Die unterschiedlichen Körper waren in drei Gruppen zusammengefaßt, und auf drei Tischen im Raum angeordnet.

Zu bewerten waren die Körper bei folgenden Lichtsituationen:

- indirekte Beleuchtung;
- indirekte/direkte Beleuchtung;
- tiefstrahlende Beleuchtung und
- tiefstrahlende/direkte Beleuchtung.

Es wurden zu jeder Beleuchtungssituation der Versuchsperson mehrere Fragebögen zur Bewertung der allgemeinen Beleuchtungssituation im Raum, sowie zur Beleuchtung auf den einzelnen Tischen vorgelegt. Dabei galt das Hauptaugenmerk der Bewertung der Gesichtsmasken.

Versuchsergebnisse

- Das Gesicht konnte nach den vorgegebenen Bewertungskriterien gut eingeschätzt werden, und es ergab sich eine Korrelation zwischen den KWG-Formeln und der Einschätzung.
- Die geometrischen Körper liefern keine Korrelation zum visuellen Eindruck. Am schwächsten schneidet hierbei der Zylinder ab. Der Quader hat gegenüber den anderen Körpern ein anderes Vorzeichen des Korrelationskoeffizienten. Das deutet darauf hin, daß die einzelnen Körper durch die Beleuchtungssysteme unterschiedlich beeinflusst werden. Man könnte so etwas wie spezielle KWG-Indizes vermuten.

- Es gibt für die Einschätzung der KWG des Gesichtes mehrere Einschätzungskriterien, die für die Bewertung geeignet sind:
 - * "Ausprägung" der Schatten
 - * "Räumlichkeit" der Maske
 - * "Kontrast" auf der Maske.

Schlußfolgerungen

Zusätzlich zu diesen Versuchen wurden zahlreiche Messungen und Berechnungen durchgeführt. Allgemein läßt sich sagen, daß bei der Beleuchtung von dreidimensionalen Gegenständen durch mehrere Leuchten, wie bei Allgemeinbeleuchtungssystemen meist vorhanden, die KWG durch die Definitionen von Krenzke /4/ oder Norden beschreibbar ist. Obwohl die Definition nach Krenzke die beste Korrelation zum visuellen Eindruck liefert, sollte doch auf die Definiton

$$KWE = E_{\text{vertikal}} / E_{\text{horizontal}}$$

E_{vertikal} ... vertikale Beleuchtungsstärke
 $E_{\text{horizontal}}$... horizontale Beleuchtungsstärke

zurückgegriffen werden, da sie nur zwei Beleuchtungsstärken enthält, die ohne Mühe rechnerisch und meßtechnisch ermittelt werden können.

Wir sind deshalb der Meinung, daß zu einer Definiton der Körperwiedergabe weitere Faktoren herangezogen werden müssen, so zum Beispiel

- Positionierung Leuchte, Körper, Beobachter;
- Direkt/Indirektverhältnis der Beleuchtung;
- Summierung mehrerer Leuchten mit verschiedenen Lichtrichtungen und Anteilen an Beleuchtungsniveau;
- Horizontal-/Vertikalbeleuchtungsstärke und
- das Beleuchtungsniveau.

Hierzu sind jedoch eine Reihe von weiteren Versuche notwendig.

Literatur

- /1/ Norden, K.: Grundlagen der Schattentechnik
Union Deutsche Verlagsgesellschaft Berlin 1934
- /2/ Haeger, F.: Schattigkeit
Dissertation TU Berlin 1975
- /3/ Pretzsch, W.: Physiologisch - optische Untersuchungen zur realitätsnahen Wiedergabe ...
Diplomarbeit TH Ilmenau 1992
- /4/ Krenzke, G.: Eine neue Definition der Schattigkeit
Tagungsbericht LiTG-Jahrestagung Garmisch-Patenkirchen 1968