

# Nr. 51

Messen und Beurteilen  
von Lichtimmissionen

Herausgeber:

Landesanstalt für Immissionsschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Wallneyer Straße 6  
D-4300 Essen 1

1984

ISSN 0720-8499

Messen und Beurteilen  
von Lichtimmissionen  
Kolloquium "Messung und Beurteilung  
von Lichtimmissionen im Bereich  
des Immissionsschutzes"  
im Rahmen des Fortbildungsprogrammes  
des Landesanstalt für Immissionsschutz  
des Landes NRW

# Inhaltsverzeichnis

		Seite
Dipl.-Phys. E. Herpertz	Eröffnung	7
Dr. J. Assmann	Zur Problematik der Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen	11
Dipl.-Ing. D. Krane	Schutzanspruch vor Licht- immissionen nach dem BImSchG	25
Prof. Dr. E. Hartmann	Untersuchungen zur be- lästigenden Wirkung von Lichtimmissionen	33
Dr. B. Steck	Möglichkeiten zur Beur- teilung und Verminderung von Lichtimmissionen	57
Dr. E. Brewig	Vorstellung einer Arbeits- anleitung zur Ermittlung und Beurteilung von Immissionen durch Licht	73
Prof. Dr. J. Krochmann	Anforderungen an die Meßgerätetechnik bei der Messung von Lichtimmissionen	85

## ERÖFFNUNG DES KOLLOQUIUMS

E. Herpertz

In der Bundesrepublik Deutschland fühlen sich nach neuesten Untersuchungen etwa 2 bis 3 % der Bevölkerung durch künstliche Lichtquellen gestört und belästigt. Obwohl im Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 15.03.1974 neben Luftverunreinigungen, Geräuschen und Erschütterungen auch Licht unter den Immissionen genannt ist, von denen Gefahren, Nachteile und erhebliche Belästigungen für den Menschen ausgehen können, gibt es für die Lichtimmissionen im Gegensatz zu den Einwirkungen durch Luftverunreinigungen und durch Geräusche, für deren Beurteilung "Technische Anleitungen" sowie viele Regelwerke des Deutschen Normenausschusses und des Vereins Deutscher Ingenieure erstellt worden sind, bisher noch nicht ein einziges Regelwerk, das für die Beurteilung der Lichteinwirkungen auf den Menschen herangezogen werden kann. Der Grund für diesen Mangel ist m.E. sowohl bei dem in bezug auf die Gesamtbevölkerung doch sehr geringen Anteil als auch bei der in bezug auf viele andere Umwelteinflüsse geringen Gefahrenrelevanz zu suchen.

Im Frühjahr 1982 ist der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NRW, Essen, die Aufgabe übertragen worden, Sachverständigenaussagen über Entstehungen und Wirkungen von Lichtimmissionen zu erstellen und Vorschläge zur Beurteilung von Lichtimmissionen auf Eignung zu prüfen. Um nun diese Aufgabe erfüllen zu können, hat die Landesanstalt im Rahmen ihrer Fortbildungsveranstaltungen Experten der Lichttechnik und der dazugehörigen Meßtechnik sowie der Wirkungen von Lichtimmissionen zu einem Kolloquium eingeladen. In ihrem Kreise soll über Möglichkeiten der meßtechnischen Erfassung und der Beurteilung, aber auch über die Möglichkeiten der Minderungen von Lichtimmission diskutierte werden.

So ist es ein Ziel dieser Veranstaltung, den gegenwärtigen Kenntnisstand der gesamten Problematik darzustellen und Verfahren vorzuschlagen, die für eine Beurteilung der Wirkungen von Lichtimmissionen auf den Menschen im Sinne des Immissionsschutzgesetzes geeignet sind.

Zur Einführung in den Problemkreis wird Herr Dr. ASSMANN, ein Mitarbeiter der Landesanstalt, einige typische Situationen über Art und Einwirkungen von Lichtimmissionen vorstellen. Er wird zeigen, daß im Lande Nordrhein-Westfalen bisher am häufigsten Beschwerden über Lichtquellen vorgetragen werden, die in Hinterhöfen oder in ähnlichen Bereichen errichtet sind und im allgemeinen dazu dienen, die von der Straße abgewandten Flächen - wie Höfe, Garageneinfahrten, Gärten usw. - zu beleuchten und damit irgendwelche Sachgüter zu beschützen. In diesen Fällen ist es deshalb zu Beschwerden gekommen, weil die der Entspannung dienenden Wohnräume und -flächen - wie Schlafzimmer, Balkone, Terrassen, Gärten usw. - meistens ebenfalls auf der von den Straßen abgewandten Seite liegen und von den Einwirkungen der vorher genannten Lichtquellen im Innenhof be-

troffen sind. Beschwerden über Lichteinwirkungen von Sportplatzbeleuchtungen, von Reklamelichtanlagen oder von Lichtanlagen in Gewerbebetrieben wurden nur selten registriert. Über die dem Straßenverkehr dienenden Beleuchtungsanlagen liegen in der Landesanstalt bisher noch keine Beschwerden vor. Nach dem Überblick über Art und über Ort der Lichtquellen wird Herr Dr. ASSMANN das vom ihm benutzte Beurteilungsverfahren erklären und dabei auf die besondere Problematik dieses Verfahrens hinweisen. Insbesondere wird er kritisch Stellung nehmen zu Methoden der bisherigen Beurteilung von psychologischen Blendungen und zur Ermittlung der Umgebungsleuchtdichte.

Im Anschluß daran wird Herr Ministerialrat Dipl.-Ing. KRANE vom Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW, zu dessen Geschäftsbereich die Landesanstalt gehört, den Schutzanspruch vor Lichtimmissionen aufgrund des Bundes-Immissionsschutzgesetzes ausführlich darstellen. Er wird dabei auf die verschiedenartigen Lichteinwirkungen eingehen und auf die wesentlichen Lästigkeitsursachen - wie Blendung, Störung der Privatsphäre, starken Helligkeitswechsel durch regelmäßige Schaltfolgen usw. - hinweisen. Er wird die Notwendigkeit herausstellen, daß die hier aufgezählten Wirkungsbegriffe, die ja bei der verwaltungsrechtlichen Betrachtung als unbestimmte Rechtsbegriffe gebraucht werden, mit optischen Meß- und Kenngrößen unbedingt verknüpft werden müssen, um ein objektives und reproduzierbares Beurteilungssystem zu erhalten.

In dem folgenden Referat wird Herr Professor Dr. HARTMANN vom Institut für medizinische Optik der Universität München, ein Experte auf dem Gebiet der Blendungsforschung, den Teilnehmern die Ergebnisse seiner Untersuchung über "Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen" vorstellen, die er im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen, durchgeführt hat. Zum Vergleich wird er Ergebnisse aus eigenen Laborversuchen zur Erfassung der Zusammenhänge zwischen den verschiedenen lichttechnischen Parametern und der subjektiven Bewertung von Lichtimmissionen heranziehen. Wesentliches Ziel dieses Untersuchungsvorhabens war es, durch Messungen am Ort der Beschwerde und durch Experimente im Labor praktikable Meßmethoden und Beurteilungsverfahren zu erarbeiten, mit denen es möglich ist, Beschwerden über Lichtimmissionen mit Hilfe physikalischer Meßmethoden quantitativ zu bewerten. Am Ende seines Referates wird Herr Professor HARTMANN seinen Richtlinienvorschlag zur Beurteilung von schädlichen Umwelteinwirkungen durch Licht vorstellen, in dem die relevanten Meßgrößen, die Meßsysteme und die Meßdurchführungen im einzelnen beschrieben sind, und Grenzwerte für Lichtemissionen und -immissionen zur Diskussion stellen. Der Emissionsgrenzwert ist bezogen auf die Leuchtdichte kleiner Lichtquellen unter Berücksichtigung der Umfeldleuchtdichte, der Immissionsgrenzwert auf die vertikale Beleuchtungsstärke in der Fensterebene. Zur Prüfung auf Einhaltung oder Überschreitung der beiden Grenzwerte werden zwei physikalisch unterschiedliche Meßsysteme eingesetzt. Anforderungen an diese optischen Meßsysteme - Luxmeter und Photometer - werden angegeben.

Herr Dr. STECK, Vorsitzender des technisch-wissenschaftlichen Ausschusses der "Lichttechnischen Gesellschaft e.V.", wird in seinem Vortrag über "Möglich-

keiten der Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen" als neuen Aspekt der Diskussion die Diskrepanz erklären, die darin besteht, daß einerseits künstliches Licht die Lebensqualität der Menschen verbessert und daß sich aus der Verpflichtung zur Sicherung der öffentlichen Ordnung und aus der Pflicht zur Verkehrssicherung die Beleuchtungspflicht für öffentliche Verkehrswege und öffentliche Einrichtungen ableiten lassen, andererseits durch Beleuchtungseinrichtungen Mitmenschen belästigt oder gestört werden können. Es wird darauf hingewiesen, daß es im allgemeinen immer möglich ist, Lichteinwirkungen von der Nachbarschaft abzuhalten, wenn der Stand der Beleuchtungstechnik beachtet wird. Dabei sind häufig nur sehr geringe Maßnahmen erforderlich. Grundlage für die Maßnahme ist die Beachtung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten. Durch optisch-technische Mittel muß gewährleistet sein, daß das Licht überwiegend zur Nutzfläche hingelenkt wird. Anhand von Tabellen und Abbildungen wird Herr Dr. STECK die verschiedenartigen Lichtstärkeverteilungen unterschiedlicher Leuchten aufzeigen. An praktischen Beispielen will er die im allgemeinen einfachen Möglichkeiten der Immissionsminderung vorstellen.

Herr Dr. BREWIG vom TÜV-Rheinland, Köln, der bereits schon im Jahre 1978 in einer Studie "Belästigung durch Lichtimmissionen" eine Meßvorschrift zur Ermittlung und Beurteilung von Lichtimmissionen vorgestellt hat, wird seinen Vorschlag in etwas modifizierter Form nochmals erläutern. In seinem Vorschlag geht er von folgenden Voraussetzungen aus:

1. von der psychologischen Blendung und 2. von der Theorie, daß zwischen Helligkeitsempfindung und Netzhaut-Beleuchtungsstärke ein näherungsweise logarithmischer Zusammenhang besteht. Außerdem nimmt er an, daß der visuelle Sinnesapparat einen bestimmten Leuchtdichteumfang um die Adaptionsleuchtdichte auswerten und den gewonnenen Bildeindrücken Informationen entnehmen kann. Nach seiner Vorstellung bedeutet Blendung Informationsverlust durch Anheben der Adaptionsleuchtdichte.

Er hat eine Methode entwickelt, mit deren Hilfe das Gesichtsfeld und das Blickfeld hinsichtlich Leuchtdichte und der Leuchtdichtendifferenz festgestellt wird. Durch einen Vergleich der Leuchtdichte mit und ohne zusätzlichen Lichtquellen kann der sogenannte Informationsverlust ermittelt werden. Das Maß des Informationsverlustes kann als Maß für die Blendung verwendet werden. Flimmern faßt er als Spezialform der Blendung auf. Nach seiner Vorstellung besteht die Möglichkeit, die Störwirkung von flimmernden Lichtquellen dadurch zu kennzeichnen, daß man - analog zu den Geräuschbeurteilungsverfahren - zu der Blendwirkung ohne Flimmern eine Korrekturgröße hinzufügt, die die Flimmerwirkung ausreichend berücksichtigt.

Als letzter Vortragender wird Herr Professor Dr. KROCHMANN vom Institut für Lichttechnik der Technischen Universität Berlin über die Anforderungen an die Meßgerätetechnik bei Messung von Lichtimmissionen berichten. Als Meßgrößen schlägt Herr Professor Krochmann die äquivalente Leuchtdichte, die Beleuchtungsstärke und die äquivalente Schleierleuchtdichte vor. Im einzelnen wird er auf die meßtechnischen Bestimmungen der hier genannten Meßgrößen eingehen, hierzu Meßverfahren und -meßgeräte vorschlagen und auf die erreichbaren Meßgenauig-

keiten eingehen, die von den Geräteeigenschaften und von den Kalibrierfehlern abhängen, sowie die Problematik der Korrektur von Meßergebnissen in bezug auf die spektrale Bewertung behandeln.

Die Vortragsfolge bietet eine Palette der Möglichkeiten zur Beurteilung der Wirkungen von Lichtmissionen auf den Menschen an. Bei der Beurteilung der Raumaufhellung scheint sich in den wesentlichen Grundsätzen eine einheitliche Betrachtungsweise durchzusetzen. Dagegen sind bei der Beurteilung der Quelleigenschaften noch unterschiedliche Standpunkte vorhanden. So sieht Herr Dr. ASSMANN die psychologische Blendung, Herr Professor HARTMANN die Auffälligkeit und Herr Dr. BREWIG den Informationsverlust als Möglichkeit zur Beurteilung der Lichtquelleneigenschaften.

Leider gibt es bislang keine Wirkungsuntersuchungen, aus denen sich ableiten läßt, welche Wirkungsart und welche Meßsystemparameter entscheidend für die Belästigungen durch Lichtmissionen sind. Möglicherweise ist hier, wie auch bei vielen anderen Einwirkungen von Umwelteinflüssen, eine Vielzahl von Gesichtspunkten zu beachten. Deshalb empfehle ich, daß eine Konvention getroffen wird, nach welchen Kriterien die meßtechnischen Bestimmungen vorgenommen werden sollen.

Die Zuhörer sind dazu aufgerufen, am Ende der Vortragsfolge mit den Referenten über diese Konvention zu diskutieren. Ich hoffe, daß eine konkrete Vorstellung über die meßtechnische Methode zur Beurteilung von Lichtmissionen erarbeitet werden kann. In diesem Sinne wünsche ich dem Kolloquium viel Erfolg und eröffne die Veranstaltung.

## ZUR PROBLEMATIK DER MESSUNG UND BEURTEILUNG VON LICHTIMMISSIONEN

Dr. J. Assmann

Z u s a m m e n f a s s u n g

Lichtimmissionen, die aus der Nachbarschaft in Wohnungen oder in die zugehörigen Außenbereiche einwirken, können Anlaß zu Belästigungen und damit auch zu Beschwerden geben. Zur Zeit gibt es jedoch keine Regelungen auf diesem Gebiet; die Beurteilung von Lichtimmissionen ist bislang sowohl vom Verfahren als auch von der Höhe möglicher Grenzwerte her unsicher. Zur Erläuterung des Problemkreises werden in diesem Bericht die in der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NW, Essen, eingegangenen Beschwerdefälle beschrieben und die sich daraus ergebenden Fragestellungen aufgezeigt; der Bereich der Verkehrsbeleuchtung bleibt jedoch ausgespart. Aus den dabei gewonnenen Erfahrungen werden unter Einbeziehung von Ergebnissen der Fachliteratur mögliche Ansätze zur Beurteilung skizziert. Es wird auf die unerwünschte Aufhellung von Wohn- und Schlafräumen sowie der zur Wohnung gehörenden Außenbereiche, die der Entspannung und Erholung dienen, eingegangen. Außerdem erfolgen Anmerkungen zur psychologischen Blendung.

S u m m a r y

Exterior lighting can cause annoyance and complaints in the neighbourhood when it shines into rooms or when it is incident on outdoor places like gardens or terraces. Presently there are no regulations or standards to protect against such interferences. Neither procedures for evaluating light disturbances nor limits have been laid down until now. This report describes cases of complaints received and dealt with by the Landesanstalt fuer Immissionsschutz, Essen, and the problems raised by them excluding the subject of vehicle headlights. The unwanted illumination of the living quarters or bedrooms as well as of outdoor recreation areas is discussed and recommendations for evaluating light disturbances are drawn from results of the literature and of the own investigations.

## 1. E i n l e i t u n g

Beschwerden über Lichtimmissionen, die aus der Nachbarschaft in Wohnungen oder in die zugehörigen Außenbereiche einwirken und dort zu Belästigungen führen, sind zwar nicht sehr häufig, werden aber insbesondere bei früher einsetzender Dunkelheit immer wieder von betroffenen Anwohnern vorgetragen. Zur Zeit gibt es jedoch keine Vorschriften, Normen, Richtlinien o.ä., die sich zur Beurteilung heranziehen lassen. In diesem Bericht werden zur Erläuterung des Problemkreises die in der Landesanstalt für Immissionsschutz (LIS) des Landes Nordrhein-Westfalen in Essen eingegangenen Beschwerdefälle und die sich daraus ergebenden Fragestellungen beschrieben sowie Ansätze zur Beurteilung skizziert; die Vertiefung der angesprochenen Themen erfolgt in den nachfolgenden Beiträgen.

## 2. C h a r a k t e r i s i e r u n g v o n B e s c h w e r d e n ü b e r L i c h t i m m i s s i o n e n

Die bisher in der LIS eingegangenen Beschwerden über Lichtimmissionen lassen sich grob in drei Bereiche einteilen:

### 2.1. Beschwerden über Hofbeleuchtungsanlagen

Relativ am häufigsten werden Beschwerden über Lichteinwirkungen aus Hinterhöfen oder ähnlichen Bereichen vorgebracht. Dabei sind insbesondere Lichtenanlagen angesprochen, die i.a. dazu dienen, von der Straße abgewandte Flächen wie z.B. Höfe, Garageneinfahrten, Gärten oder, allgemeiner, Freiflächen zu beleuchten. Damit soll z.B. das Arbeiten während der Nachtzeit ermöglicht oder Schutz vor Einbruch und Diebstahl gewährt werden. Auch können, wie in einem Fall geschehen, hell erleuchtete, große Fenster eines zur Nachtzeit arbeitenden Gewerbebetriebes in der unmittelbaren Nachbarschaft Anlaß zur Beschwerde geben.

Charakteristisch für diese Beschwerdesituation ist, daß in betroffenen, rückwärtig gelegenen Bereichen die allgemeine Umgebungsleuchtdichte ohne die be- anstandete Lichtquelle i.a. sehr niedrig ist; selbst in innerstädtischen Gebieten kann es dort sehr dunkel sein. Deshalb sind diese Beleuchtungseinrichtungen oft auffällig und lästig.

Besonders erschwerend kommt hinzu, daß i.a. die der Entspannung und Erholung dienenden Räume bzw. Flächen wie z.B. Schlafzimmer, Balkone, Terrassen oder Gärten ebenfalls von der Straße abgewandt nach hinten liegen und so das Freizeit- und Ruhebedürfnis nicht in der von den Betroffenen gewünschten Form erfüllt werden kann.

Der Ärger der Nachbarschaft vergrößert sich weiter, weil in allen bisher vorgebrachten Fällen die Lichtimmissionen mit einfachsten Maßnahmen an den Beleuchtungsanlagen ohne großen Kostenaufwand und ohne Beeinträchtigung der Zweckerfüllung hätten beseitigt werden können.

## 2.2. Beschwerden über Sportplatzbeleuchtungsanlagen

Beschwerden über Sport- oder Trainingsplatzbeleuchtungsanlagen traten im Vergleich zu den beschriebenen Fällen selten auf. Solche Anlagen, zu denen z.B. von der Art her auch die Beleuchtungsanlagen großer Autoparkplätze zählen, zeichnen sich durch Leuchten kleiner Abmessungen, aber sehr hoher Leuchtdichte aus. Dadurch kann in Verbindung mit der i.a. großen Lichtpunkthöhe selbst über größere Entfernungen eine Belästigung auftreten.

Betrachtet man solche Anlagen aus der Umgebung, so ist zu erkennen, daß häufig die Belange des Nachbarschaftsschutzes nicht genügend beachtet werden. Jedoch ist es auch hier wieder möglich, mit relativ einfachen Maßnahmen an den Leuchten die Lichtimmissionen in der Umgebung wesentlich zu verringern, ohne die Platzausleuchtung zu verschlechtern.

## 2.3. Beschwerden über Reklamelichtanlagen

Beschwerden über Reklamelichtanlagen traten ebenfalls relativ selten auf. Dieser Bereich betrifft vor allem Stadtzentren, wobei zu bedenken ist, daß dort die Umgebungsleuchtdichte häufig relativ hoch ist.

Für den Immissionsschutz können erhebliche Probleme auftreten, weil Maßnahmen an der Anlage ohne Einschränkung des Werbezweckes i.a. nicht möglich sind, denn der Zweck der Reklame ist natürlich, Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Deshalb ist es bereits in der Planungsphase notwendig, mögliche Lichteinwirkungen auf die Nachbarschaft zu beachten.

Besonders auffällig und damit werbeträchtig für den Passanten sind sicherlich Leuchtreklamen mit zeitlich veränderlichem Licht; für den betroffenen Anwohner können solche Anlagen umgekehrt besonders belästigend sein.

## 2.4. Verkehrsbeleuchtungsanlagen

Beschwerden über die dem Straßenverkehr dienenden Beleuchtungsanlagen sind in der LIS bislang nicht eingegangen, weil vermutlich andere Stellen in diesem Zusammenhang angesprochen wurden. Möglicherweise ist auch die Einstellung zu derartigen Einwirkungen anders als bei gewerblich oder privat eingesetzten Lichtquellen.

Verkehrsbeleuchtungsanlagen dienen der Sicherheit der Verkehrsteilnehmer; dabei müssen u.U. andere Kriterien herangezogen werden als bei Beleuchtungsanlagen z.B. gewerblich genutzter Betriebe. Aus diesem Grund wird die Straßenverkehrsbeleuchtung im folgenden nicht mit einbezogen.

### 3. Beurteilung von Lichtimmissionen

Im Bereich des Immissionsschutzes ist bei den üblicherweise auftretenden Leuchtdichten bzw. Beleuchtungsstärken eine Schädigung des Auges bzw. der Haut i.a. auszuschließen, so daß zur Beurteilung nur die Belästigungswirkung zugrunde gelegt werden kann. Dabei sind zwei Gesichtspunkte zu berücksichtigen [1]:

- Zum einen kann die unerwünschte Aufhellung von Wohn- und Schlafräumen belästigend wirken; ebenso die unerwünschte Beleuchtung von Außenbereichen wie z.B. Balkon, Terrasse oder Garten. Hierbei ist das Immissionsangebot, d.h. die durch die störende Lichtquelle hervorgerufene Beleuchtungsstärke am Immissionsort ausschlaggebend, unabhängig von den lichttechnischen Eigenschaften der Quelle.
- Zum anderen sind jedoch auch Eigenschaften der Lichtquelle wie Leuchtdichte, Kontrast zur Hintergrundleuchtdichte, Größe etc. von Bedeutung - unabhängig von der Beleuchtungsstärke am Immissionsort -, denn dadurch wird der optische Eindruck der Quelle wie z.B. ihre Auffälligkeit oder Blendwirkung und damit ihre Störwirkung bestimmt.

Aus diesen und ggf. weiteren Daten muß nun mit Hilfe eines geeigneten Meß- und Beurteilungssystems die Lästigkeitswirkung ermittelt werden. Einen ersten Vorschlag dazu hat 1980 der TÜV Rheinland mit der "Arbeitsanleitung zur Ermittlung und Beurteilung von Immissionen durch Licht" [1] erarbeitet. Dieser Vorschlag war als Einstieg in die Problematik anzusehen; eine wirkungsmäßige Absicherung lag nicht vor.

Experimentelle Untersuchungen zur Belästigung durch Lichteinwirkungen im Bereich des Immissionsschutzes wurden erstmalig vom Institut für Medizinische Optik der Universität München durchgeführt; Prof. E. HARTMANN berichtet in seinem Beitrag darüber.

Da jedoch bis zu diesem Zeitpunkt keine Ergebnisse vorgelegen haben, war es erforderlich, eigene Vorstellungen zu diesem Problemkreis zu entwickeln, um bei vorliegenden Beschwerdefällen zu einer Beurteilung zu kommen. Darüber wird in den folgenden Abschnitten berichtet.

#### 3.1. Unerwünschte Raumaufhellung

Zur Beurteilung der Lästigkeitswirkung durch unerwünschte Aufhellung von Aufenthaltsräumen, insbesondere von Schlafzimmern, wird in [1] vorgeschlagen, die Beleuchtungsstärke in der Fensterebene mit der Normalen der Meßzelle in Richtung zur Lichtquelle hin zu messen und als Grenzwert für die so ermittelte Beleuchtungsstärke einen Wert von 20 lux anzusetzen.

Um diesen Vorschlag in der Praxis konkreter Beschwerdefälle zu überprüfen,

wurde bei vorliegenden Beschwerden dementsprechend die Beleuchtungsstärke gemessen und außerdem eine Beobachtergruppe nach ihrem subjektiven Urteil zur Raumaufhellung befragt. Die Beurteilung erfolgte in den betroffenen Räumen, meistens im Schlafzimmer, bei vorgezogenen Stores, jedoch bei zurückgezogenen Übergardinen. Als Beobachter standen fünf nicht weiter mit den Beschwerdefällen befaßte Angehörige der LIS zur Verfügung.

Es ist nicht untersucht, ob und inwieweit das Urteil dieser Beobachtergruppe repräsentativ für ein größeres Bevölkerungskollektiv ist. Deshalb läßt sich hieraus nur ein erster Hinweis auf die mögliche Belästigungsreaktion ableiten, weitere Untersuchungen müßten folgen. Da jedoch weitgehend immer die gleichen Beobachter eingesetzt wurden, ist zumindest ein Relativvergleich der verschiedenen Beschwerdefälle möglich. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, um bei der subjektiven Einschätzung der Beleuchtungssituation nicht allein auf das Urteil des Betroffenen, d.h. des Beschwerdeführers, oder auf das der untersuchenden Person angewiesen zu sein.

Bei den Fällen zeigte sich, daß für die Lästigkeitswirkung neben der Beleuchtungsstärke auch die Lage der einwirkenden Lichtquelle relativ zum Fenster und daraus abgeleitet die räumliche Ausdehnung und die Position der erleuchteten Partien im Zimmer von Bedeutung ist. Die Belästigung ist um so größer, je zentraler die Lichtquelle im Fenster erscheint, so daß auch der erhellte Bereich im Zimmer relativ zentral und ausgedehnt ist.

Um dies, wenn auch sehr grob und in gewissem Maße willkürlich, zu berücksichtigen, wird vorgeschlagen, abweichend von [1] die Beleuchtungsstärke in der Fensterebene als Vertikalbeleuchtungsstärke zu ermitteln, d.h. mit der Meßzellennormale parallel zur Fensternormalen.

Der in der Arbeitsanleitung genannte Grenzwertvorschlag von 20 lux in der Fensterebene liegt sehr hoch. Nach den Untersuchungen in Beschwerdefällen können Raumaufhellungen bereits bei Beleuchtungsstärken unter 20 lux als sehr unangenehm empfunden werden; selbst bei einem Wert von 1 lux stufte die Beobachtergruppe in einem Beschwerdefall die Raumaufhellung als störend ein.

Dementsprechend wird unter Berücksichtigung der Ergebnisse in den vorgelegenen Beschwerdefällen als vorläufiger Grenzwert für die unerwünschte Raumaufhellung durch Beleuchtungsanlagen, die im Zusammenhang mit gewerblich genutzten Einrichtungen stehen, eine Vertikalbeleuchtungsstärke in der Fensterebene (bei geöffnetem Fenster) von 1 lux vorgeschlagen. Dabei wird vorausgesetzt, daß die Vertikalbeleuchtungsstärke der Umgebung ohne die Störlichtquelle den Wert von ebenfalls 1 lux in der Fensterebene nicht überschreitet. Dies ist für die häufig vorkommende Hofbeleuchtungssituation i.a. immer erfüllt. Dabei spielt üblicherweise auch die dem Straßenverkehr dienende Beleuchtung keine Rolle, so daß hier die besonderen Belange der Verkehrsbeleuchtung von diesem Vorschlag nicht betroffen werden; sie könnte vielmehr generell aus dieser Regelung ausgenommen werden.

Darüber hinaus sollte auch der zur Erholung genutzte private Außenbereich (Garten, Terrasse, Balkon) vor unerwünschter Aufhellung geschützt sein. Hier kann die Horizontalbeleuchtungsstärke auf dem Boden zur Beurteilung herangezogen werden, wobei als Grenzwert wieder 1 lux vorgeschlagen wird.

Diese Ausführungen beziehen sich alle auf zeitlich konstante Lichtimmissionen. Zeitlich veränderliches Licht kann im Vergleich dazu lästiger sein. Zur Erfassung dieser erhöhten Lästigkeit definiert BREWIG in der "Arbeitsanleitung" [1] einen "Lästigkeitszuschlag" für Flimmern, der von der Frequenzbewertungsfunktion des Auges für zeitlich veränderliche Lichteindrücke ausgeht. Wirkungsuntersuchungen dazu gibt es jedoch nicht; deshalb können hier keine weitergehenden Aussagen gemacht werden.

### 3.2. Blendung

Neben der Aufhellung am Immissionsort sind für das Auge als optisch abbildendes System auch die Eigenschaften der Lichtquelle von Bedeutung. Dabei ist im Bereich des Immissionsschutzes insbesondere die Blendung und die Auffälligkeit zu beachten. Prof. HARTMANN berichtet in seinem Vortrag über Auffälligkeit, hier werden einige Anmerkungen zur Blendung gemacht.

Im allgemeinen unterscheidet man zwei Arten von Blendung, die z.B. in der Norm DIN 5035, Teil 1 [2] folgendermaßen beschrieben werden:

- a) Die physiologische Blendung führt zu einer Herabsetzung des Sehvermögens (z.B. Unterschiedsempfindlichkeit und Formenerkennbarkeit).
- b) Die psychologische Blendung wird allein unter dem Gesichtspunkt der Störempfindung bewertet. Psychologische Blendung führt bei längerem Aufenthalt im Raum zu vorzeitiger Ermüdung und zur Herabsetzung von Leistung, Aktivierung und Wohlbefinden.

Das Ausmaß der physiologischen Blendung wird dementsprechend im Rahmen einer Sehaufgabe durch die meßbare Herabsetzung des Sehvermögens ermittelt. Im Vergleich dazu gibt die psychologische Blendung die Empfindung zu einer Beleuchtungssituation wieder. Sie wird aufgrund einer subjektiven Beurteilung in eine vorgegebene Merkmalsskala eingeordnet.

Eine allgemeine Entscheidung, ob die Blendung - bzw. welche Art - ein geeignetes Maß zur Beurteilung von Lichteinwirkungen im Bereich des Immissionsschutzes darstellt, gibt es bislang nicht. Da jedoch hierbei die Störwirkung von Bedeutung ist, erscheint nach bisherigem Kenntnisstand die psychologische Blendung als eine Möglichkeit, Lichtimmissionen zu beurteilen. Deshalb wird im folgenden auf diese Blendungsart näher eingegangen.

Die psychologische Blendung hängt, wie in Abb. 1 als Übersicht skizziert, u.a. von folgenden Parametern ab:

- a) Leuchtdichte der Blendquelle:  $L_B$
- b) Leuchtdichte der Umgebung der Blendquelle:  $L_u$
- c) Vom Beobachter aus gesehener Raumwinkel der Blendquelle:  $\omega$
- d) Position der Blendquelle im Gesichtsfeld relativ zur Blickrichtung:  $P$

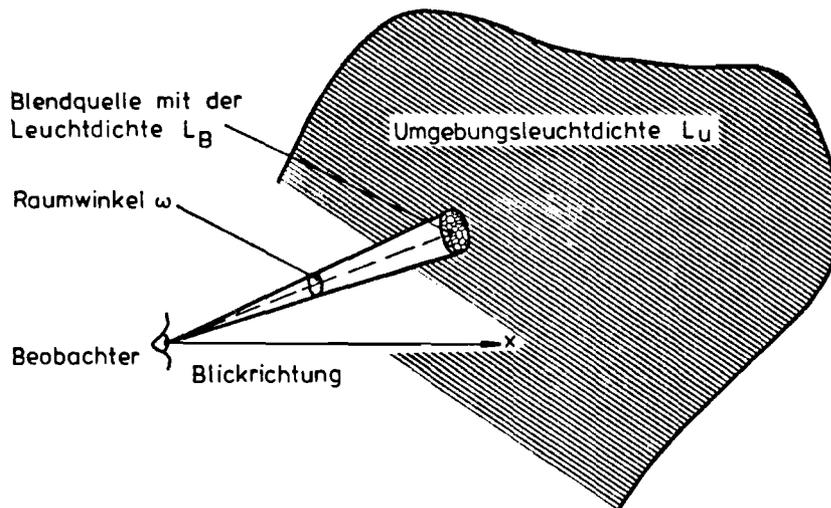


Abb. 1: Skizze zur Beschreibung der Größen, die die psychologische Blendung beeinflussen.

Neben diesen Haupteinflußgrößen sind auch noch andere Parameter zu beachten, wie z.B. die Form der Lichtquellen und ihre Positionierung im Raum oder die Lichtfarbe. Diese Größen werden jedoch im folgenden wegen ihrer nur sekundären Bedeutung nicht weiter in die Überlegungen einbezogen.

Durch Untersuchung der subjektiv empfundenen Blendungsbewertung verschiedener Beobachter in Abhängigkeit von den verschiedenen objektiv meßbaren Einflußgrößen lassen sich bei systematisch variierten Beleuchtungssituationen Beziehungen aufstellen, die eine Beurteilung der Blendung aus der Messung optischer Größen gestatten. Die Ergebnisse werden in "Blendformeln" zusammengefaßt, in denen das subjektive Blendurteil in Abhängigkeit von optischen Parametern dargestellt ist:

$$\text{Blendurteil} = f(L_B, L_u, \omega, P, \dots)$$

Häufig werden Blendformeln in folgender Form angegeben:

$$G = \frac{L_B^K}{L_u^1} \cdot \omega^{-m} \cdot P$$

Hierbei bedeuten neben den schon erläuterten Größen:

G: Parameterzahl zur Beschreibung des Blendurteils

K, l, m: Exponenten, deren Betrag i.a.  $< 1$  ist

P: Faktor zur Beschreibung des Positionseinflusses der Blendquelle relativ zur Blickrichtung.

Es gibt eine Reihe von z.T. groß angelegten Untersuchungen zur Ermittlung solcher Blendformeln, vor allem im Bereich der Innenraumbeleuchtung und der Straßenbeleuchtung; entsprechende Untersuchungen auf dem Gebiet des Nachbarschaftsschutzes fehlen jedoch. Um zumindest eine grobe vorläufige Orientierung bei der Beurteilung von Beschwerdefällen zu erhalten, wurden versuchsweise Ergebnisse aus den oben genannten Bereichen herangezogen.

Hierbei sind natürlich einige kritische Punkte zu beachten:

So bleibt zunächst ganz allgemein offen, ob es generell zulässig ist, die genannten Untersuchungen auch im Bereich des Nachbarschaftsschutzes anzuwenden, weil hierbei andere Fragestellungen und Randbedingungen als bei den Experimenten vorliegen. Diese Frage läßt sich nach dem bisherigen Kenntnisstand nicht beantworten, weil entsprechende Untersuchungen dazu fehlen. Einige der Experimente [z.B. 3, 4] wurden jedoch unter sehr engen Laborbedingungen weitgehend losgelöst von konkreten Beleuchtungssituationen durchgeführt, so daß zumindest diese Untersuchungen eine mögliche Basis für weitere Überlegungen darstellen könnten.

Die ermittelten Gesetzmäßigkeiten sind zunächst nur auf die Randbedingungen des Experiments beschränkt, sie lassen sich nicht ohne weiteres auf Bereiche außerhalb des Untersuchungsrahmens extrapolieren. Dies wird in der schematischen Darstellung der Abb. 2 verdeutlicht.

Diese Darstellung zeigt, daß z.B. im Bereich von Umgebungsleuchtdichten  $L_u \leq 1 \text{ cd/m}^2$ , die insbesondere beim Nachbarschaftsschutz von Bedeutung sind, andere Gesetzmäßigkeiten als im Bereich höherer Umgebungsleuchtdichten vorliegen, die bei der Innenraumbeleuchtung wichtig sind. Die Blendung wird im Bereich der niedrigen Umgebungsleuchtdichte nur noch wenig durch eine Änderung von  $L_u$  beeinflusst. Aus diesem Grunde sind für den Bereich des Immissionsschutzes nur Untersuchungen bei sehr niedrigen Umgebungsleuchtdichten heranzuziehen, so z.B. die Arbeit von PUTNAM und FAUCETT [4].

Die Bestimmung der Umgebungsleuchtdichte ist in der Praxis nicht einfach, weil hierbei eine Vielzahl unterschiedlich heller und unterschiedlich großer Bereiche zu berücksichtigen sind. Neben den meßtechnischen Schwierigkeiten tritt insbesondere die Frage auf, wie eine inhomogene Umgebungsleuchtdichte wirkungsmäßig die psychologische Blendung beeinflusst. Diese Frage läßt sich aus den vorliegenden Unterlagen nicht beantworten. U.U. müssen je nach Art der Umgebung gewisse Vorgaben für  $L_u$  festgelegt werden.

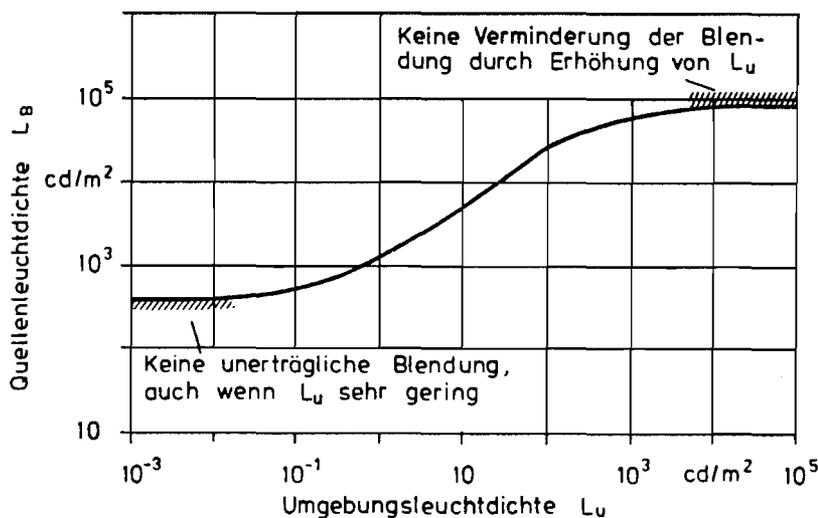


Abb. 2: Schematischer Verlauf einer Blendgrenze [nach 5]

In den Blendformeln werden z.T. unterschiedliche Skalen zur Beschreibung und Einordnung der Blendempfindung verwendet. So benutzen z.B. PETHERBRIDGE und HOPKINSON [6] eine 4stufige Skala A-B-C-D, die von gerade unerträglicher Blendung (A) bis zu gerade nicht mehr wahrnehmbarer Blendung (D) reicht. Häufig wird daneben in einer 2-Bereiche-Skala das "BCD-Kriterium" herangezogen, das die Grenze zwischen den mit "störend" und "nicht störend" beurteilten Blendwirkungen bildet (borderline between comfort und discomfort).

Das BCD-Kriterium liegt für eine Beobachterperson vor, wenn eine Beleuchtungssituation z.B. in einem Versuch gerade so eingeregelt ist, daß sie genau im Grenzbereich zwischen der störenden und der nicht störenden Blendung liegt. Bei einem Beobachter-Kollektiv ist das BCD-Kriterium erreicht, wenn die Hälfte der Beobachter die Anlage als störend einstuft, während die andere Hälfte sie als nicht störend betrachtet.

Die BCD-Grenze ist ein Standardkriterium der psychologischen Blendung und sollte, wenn sich diese Blendungsart zur Beschreibung der Lästigkeitswirkung im Bereich des Immissionsschutzes als geeignet erweist, auch dort als Markierung der Blendwirkung angewendet werden.

Zu einer eindeutigen und einheitlichen Anwendung der Blendformeln muß die Blickrichtung vorgegeben sein. Obwohl sie im Bereich des Nachbarschaftsschutzes nicht - z.B. durch eine vorgegebene Aufgabe - festgelegt ist, erscheint es sinnvoll zu sein, bei der Beurteilung den Blick in die Lichtquelle vorauszusetzen, weil diese immer wieder die Aufmerksamkeit auf sich zieht. Jedoch müßten dazu noch nähere örtliche Randbedingungen festgelegt werden.

Bei der Beurteilung von Lichtimmissionen nach vorgegebenen Formeln ist zu beachten, daß - wie jede Sinnesempfindung - auch die Blendung von verschiedenen Personen sehr unterschiedlich wahrgenommen werden kann. Über die Größe der

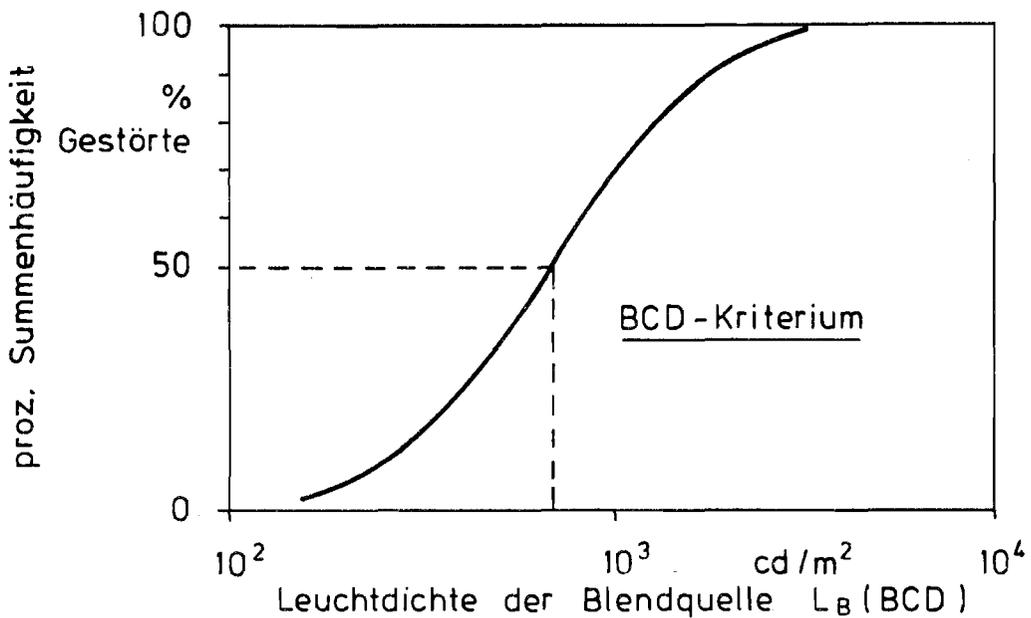


Abb. 3: Prozentuale Summenhäufigkeitsverteilung der Beobachter, die in Abhängigkeit von der Leuchtdichte  $L_B$  der Lichtquelle die psychologische Blendung zumindest als "störend" beurteilen [nach 7]

Umgebungsleuchtdichte  $L_u = 1 \text{ cd/m}^2$   
 Raumwinkel der Lichtquelle :  $\omega = 10^{-3} \text{ sr}$   
 Blick in die Lichtquelle

Streubreite wurden Untersuchungen [5, 7] durchgeführt. Abb. 3 zeigt nach Daten von GUTH [7] die prozentuale Summenhäufigkeitsverteilung der Personen, die sich in Abhängigkeit von der Leuchtdichte der Blendquelle entsprechend dem BCD-Kriterium oder stärker gestört fühlen. Dabei wurde als Beispiel eine Blendquelle mit dem Raumwinkel  $\omega = 10^{-3} \text{ sr}$  bei einer Umgebungsleuchtdichte  $L_u = 1 \text{ cd/m}^2$  gewählt.

Die Untersuchung zeigt, daß sich die Verteilung in der Blendungsbeurteilung bei sonst festgehaltenen Parametern über einen Leuchtdichtebereich der Blendquelle von mehr als einer Zehnerpotenz erstreckt. Das bedeutet, daß das subjektive Urteil einzelner Personen wesentlich vom Urteil eines Kollektivs - hier dargestellt durch den 50 %-Wert - abweichen kann.

In Abb. 4 ist als Übersicht ein Vergleich von Blendformeln einiger "klassischer" Untersuchungen [3, 4, 5, 8] wiedergegeben, wobei die nach dem BCD-Kriterium zulässige Quellenleuchtdichte in Abhängigkeit von der Umgebungsleuchtdichte dargestellt ist.

Die Daten beziehen sich beispielhaft auf eine einzelne Lichtquelle mit einem Raumwinkel  $\omega = 10^{-3} \text{ sr}$ ; dabei wurde der Blick in die Lichtquelle bzw. in deren unmittelbare Nähe zugrundegelegt. Die Ergebnisse sind nur innerhalb des



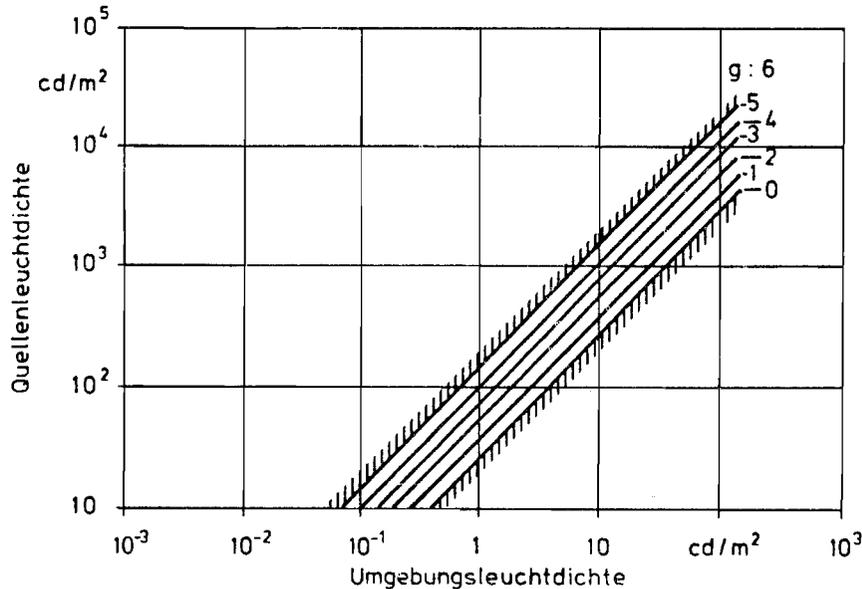


Abb. 5: Blendungsbeurteilung nach der "Arbeitsanleitung" [1]

Raumwinkel der Lichtquelle:  $\omega = 10^{-3}$  sr

Lichtquelle innerhalb des "wesentlichen" Blickfeldes

Blendgrad  $g = 0$ : keine Blendung,  $g = 1$ : Blendung eben merkbar

$g = 2$ : Blendung merkbar,  $g = 3$ : Blendung eben störend

$g = 4$ : Blendung störend,  $g = 5$ : Blendung stark störend

$g = 6$ : Blendung unerträglich

#### 4. S c h l u ß b e m e r k u n g e n

Die bisherigen Erfahrungen im Bereich des Immissionsschutzes zeigen, daß Beschwerden über Lichtimmissionen in der Praxis vorkommen, allerdings relativ selten sind. Besonders häufig vertreten sind offensichtlich Beschwerden über Lichteinwirkungen aus Hinterhöfen oder ähnlichen Bereichen. Dabei werden i.a. die der Entspannung und Erholung dienenden Räume bzw. Flächen wie z.B. Schlafzimmer, Balkone, Terrassen oder Gärten angesprochen, weil das Freizeit- und Ruhebedürfnis nicht in der von den Betroffenen gewünschten Form erfüllt werden kann.

Bei der Planung und Errichtung von Beleuchtungsanlagen werden die Belange des Nachbarschaftsschutzes vielfach nicht beachtet oder genügend ernst genommen. Es zeigte sich bei fast allen Beschwerden, daß grundlegende Regeln der Lichttechnik nicht beachtet wurden; eine Abhilfe war i.a. mit sehr einfachen Maßnahmen an der Lichtquelle ohne großen Kostenaufwand und ohne Beeinträchtigung der Zweckerfüllung der Anlage möglich. Das Problembewußtsein ist offensichtlich in vielen Fällen nicht vorhanden. Deshalb sind die Fachfirmen, Fachverbände und

Behörden aufgefordert, auch die Belange des Nachbarschaftsschutzes gezielt anzusprechen und besonders zu beachten.

Da es jedoch bislang keine Vorschriften, Richtlinien o.ä. gibt, die sich hierbei anwenden lassen, ist die Handlungsfähigkeit zumindest für die Behörde auf diesem Gebiet zur Zeit begrenzt.

Die Beurteilung von Lichtimmissionen ist bislang sowohl vom Verfahren als auch von der Höhe möglicher Grenzwerte her unsicher. Dieses Kolloquium wurde durchgeführt, um den gegenwärtigen Kenntnisstand auf diesem Gebiet unter Einbeziehung der neuesten Forschungsergebnisse darzulegen und das Gespräch unter Experten zu fördern. Vielleicht ergibt sich daraus ein Anstoß zur Lösung der auf diesem Fachgebiet anstehenden Fragen.

## S c h r i f t t u m

- [1] BREWIG, E. u. F. SCHNEIDER:  
Arbeitsanleitung zur Ermittlung und Beurteilung von Immissionen durch Licht.  
Bericht Nr. 320001 des TÜV Rheinland im Auftrag des Ministers für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1980.
- [2] DIN 5035, Teil 1:  
Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht, Begriffe und allgemeine Anforderungen (Oktober 1979).
- [3] LUCKIESH, M. u. S. K. GUTH:  
Brightnesses in Visual Field at Borderline between Comfort and Discomfort (BCD).  
Ill. Engng, 44 (1949), pp 650-670.
- [4] PUTNAM, R. C. u. R. E. FAUCETT:  
The Threshold of Discomfort Glare at Low Adaptation Levels.  
Ill. Engng 46, (1951), pp 505-510.
- [5] HOPKINSON, R. G:  
Evaluation of Glare.  
Ill. Engng. 52 (1957), pp 305-316.
- [6] PETHERBRIDGE, P. u. R. G. HOPKINSON:  
Discomfort Glare and the Lighting of Buildings.  
Trans. I.E.S., 15 (1950), pp 39-79.
- [7] GUTH, S. K:  
A Method for the Evaluation of Discomfort Glare.  
Ill. Engng., 58 (1963), 351-361.
- [8] ARNDT, W., H. W. BODMANN u. E. MUCK:  
Blendung durch einzelne Lichtquellen im Sehfeld.  
Lichttechnik, 11 (1959), S. 22-28.

D. Krane

### Z u s a m m e n f a s s u n g

Lichteinstrahlungen von fremden Grundstücken können die Nachbarschaft stören. Lichteinwirkungen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen, sind schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Lichtimmissionen können insbesondere durch Blendung, Störung der Privatsphäre und Beeinträchtigung der Konzentration in Folge wechselnder Lichteffekte stören. Schädliche Umwelteinwirkungen in Form von erheblichen Belästigungen sind nicht auszuschließen. Beleuchtungseinrichtungen sind Anlagen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Sie sind so zu errichten und zu betreiben, daß schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind, und nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen sind auf ein Mindestmaß zu beschränken. In den meisten Fällen ist es möglich, durch technische Maßnahmen die Lichteinwirkungen auf ein erträgliches Maß zu verringern. Die hier verwendeten Wirkungsbeschreibungen werden als unbestimmte Rechtsbegriffe benutzt. Zur objektiven, nachvollziehbaren Beurteilung von Lichtimmissionen sind diese Begriffe durch optische Kenngrößen zu konkretisieren.

### S u m m a r y

Light from neighbour properties can annoy the vicinity. Light immissions which according to their nature, extent or duration are liable to cause danger, considerable disadvantages or considerable nuisance are harmful effects in the meaning of the Federal Immissions Control Law. Light immissions can dazzle, disturb the privacy and annoy the concentration by changing light effects. Harmful effects are possible. Lamps are installations in the meaning of the Federal Immission Control Law. They shall be established and operated in such a manner that harmful effect on the environment which can be avoided by applying the latest state of technology are prevented and harmful. In most cases it will be possible to minuate light immissions to a tolerable measure. The descriptions of the effects in this publication are used as uncertain legal terms. For an objective and duplicating judgement of light immissions these terms must be defined by optical criterias.

## 1. B e s c h w e r d e n   ü b e r   L i c h t e i n w i r k u n g e n

Ob das Einstrahlen von Licht durch eine fremde Lichtquelle in ein Grundstück eines Nachbarn belästigende Wirkungen verursacht, ist nur schwer objektiv zu beurteilen. Subjektiv empfundene Belästigungen und dadurch ausgelöste Beschwerden sind ein gewisses Indiz dafür, daß die Einwirkungen von Licht die Schwelle der Duldsamkeit der Betroffenen überschreitet. Diese Schwelle kann verschieden hoch sein. Sie hängt von der Art der Lichteinwirkungen ab, von der Einstellung des Betroffenen zum Verursacher und von den Erfolgsaussichten einer Beschwerde. Beschwerden über Störungen durch Lichteinwirkungen können daher nicht allein für die Erarbeitung objektiver Maßstäbe zur Beurteilung des Störgrades von Lichtimmissionen herangezogen werden.

Lichteinwirkungen gelten häufig als unbedeutend und daher als zu dulden, da man sich ohne Schwierigkeiten dagegen schützen könne. Dennoch werden bei den Behörden Beschwerden vorgetragen. Für einen kleinen Überblick über die Art der Lichteinwirkungen, die zu Beschwerden führten, seien einige Fälle kurz skizziert:

- Rundum-Außenbeleuchtung einer Verkaufshalle durch Leuchtstoffröhren an der weiß gestrichenen Außenwand, Entfernung zu mehrgeschossigen Häusern ca. 20 m. Beschwerden über Blendwirkung der Leuchtstoffzeile gerade in Herbst und Winter, wenn die Beleuchtung in den späten Nachmittagsstunden eingeschaltet wird,
- Flutlichtanlage von Tennisplätzen, Abstand zwischen Wohnhaus-Terrasse und Tennisplatz ca. 20 m, Beeinträchtigungen insbesondere an Sommerabenden, wenn bei gutem Wetter die Terrasse benutzt werden kann,
- Reklamebeleuchtung mit Schriftzügen, wobei die einzelnen Buchstaben in festgelegter Reihenfolge regelmäßig an- und abgeschaltet werden. Die Fenster der betroffenen Wohnungen und Arbeitsräume sind 8 bis 12 m von der Reklamebeleuchtung entfernt,
- Flutlichtanlage eines Sportplatzes, Beschwerden über Blendwirkungen, selbst bei zugezogenen Fenstervorhängen waren in den betroffenen Zimmern noch erhebliche Lichteinwirkungen feststellbar,
- Flutlichtanlage, die in ein Gewächshaus strahlte und nach Auskunft des Gärtners dadurch Blumen (Weihnachtssterne) eher zur vollen Entwicklung kamen als geplant und dadurch nicht den gewünschten Preis erzielten.

Die Umstände dieser Beschwerdefälle zeigen, daß man sie nicht einfach damit abtun kann, die durch das Licht Belästigten könnten durch entsprechend dichte Vorhänge sich selbst gegen die Lichteinstrahlung schützen. Sie deuten unterschiedliche Lästigkeitsursachen an:

- Blendung,
- Störung der Privatsphäre,
- Raumaufhellung,
- Ablenkung und Konzentrationsstörung durch starke Helligkeitswechsel in kurzer Zeitfolge,
- Nachteile wirtschaftlicher Art.

Der "gesunde Menschenverstand" zur Prüfung herangezogen wird in den genannten Fällen wahrscheinlich den Beschwerdeführern die Lästigkeit der Lichteinwirkungen bestätigen. Doch ist das keine objektivierbare, sachgerechte Schlußfolgerung, die für eine verwaltungsrechtliche Beurteilung derartiger Beschwerden ausreichen könnte. Ob die von dem Gärtner behaupteten Nachteile wirklich durch die Lichteinwirkungen entstanden sind, ist ohne genaue Untersuchung kaum zu beurteilen.

## 2. L i c h t e i n w i r k u n g e n   a l s   I m m i s s i o n e n   i m S i n n e   d e s   B u n d e s - I m m i s s i o n s s c h u t z g e - s e t z e s

Der Gesetzgeber stuft Lichteinwirkungen zu den Immissionen ein, die schädliche Umwelteinwirkungen hervorrufen können. Denn Immissionen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes sind auf Menschen sowie Tiere, Pflanzen oder andere Sachen einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen u.a. Umwelteinwirkungen. Schädliche Umwelteinwirkungen sind Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen. Für eine sachgerechte Beurteilung ist zu prüfen, ob die Störungen, die durch Lichteinwirkungen entstehen können, als erhebliche Belästigungen anzusehen sind. Dabei sind Art, Ausmaß und Dauer der Lichteinwirkungen in die Prüfung miteinzubeziehen.

Um an die o.g. Beispiele anzuknüpfen, ist zu fragen, ob Blendwirkungen durch Licht ein Ausmaß erreichen können, das als erhebliche Belästigung anzusehen ist. Hat der Bürger Anspruch auf natürliche Beleuchtungsverhältnisse und damit auf natürliche Dunkelheit in seinem Privatbereich? Hat man Anspruch auf Vermeidung von Ablenkungen durch wechselnde Lichteinwirkungen, wie sie z.B. bei Reklamebeleuchtung auftreten?

Bei der Blendwirkung unterscheidet man die physiologische Blendung und die psychologische Blendung. Die physiologische Blendung wird durch derart helle Lichtquellen hervorgerufen, daß jegliche übrige optische Information des Gesichtsfeldes verloren geht. Diesen Effekt kennt man z.B. im Straßenverkehr, wenn man in den Lichtkegel des Fernlichtes oder falsch eingestellten Abblendlichtes eines Kraftfahrzeuges blickt. Bei psychologischer Blendung wird das optische Informationsvermögen zwar nicht beseitigt, die Helligkeitsunterschiede zwischen Umgebung und Lichtquelle sind jedoch so groß, daß die Lichtquelle ungewollt Aufmerksamkeit erregt und dadurch belästigen kann.

Physiologische Blendwirkungen auf einem Betriebsgrundstück können die Arbeit stark behindern und zu einem erhöhten Unfallrisiko beitragen; eine Gefahr

ist dadurch denkbar, wenn z.B. schwierige Transportvorgänge auf dem Werksge-  
lände abgewickelt werden sollen, bei denen die Beschäftigten durch Lichtquellen  
von einem anderen Grundstück geblendet werden. Derartige physiologische Blen-  
dung wird allerdings nur selten vorkommen.

Ob die psychologische Blendung eine erhebliche Belästigung ist, kann generell  
nicht gesagt werden. Dies wird abhängen von den Helligkeitsunterschieden der  
blendenden Leuchtquelle und der Umgebung, aber auch von der Ortsüblichkeit.  
Meines Erachtens ist in einem Mischgebiet die psychologische Blendung anders  
zu beurteilen als in einem reinen Wohngebiet. Es ist durchaus denkbar, daß  
psychologische Blendung auch zu erheblichen Belästigungen führen kann.

Unter Störung der Privatsphäre ist eine Lichteinwirkung unterhalb der Blend-  
wirkung zu verstehen mit einer Beleuchtungswirkung, die das Grundstück optisch  
öffnet. Die Betroffenen können ihren zur Wohnung gehörenden Freiraum wie Gar-  
ten, Terrasse oder Balkon nicht mehr ungestört durch Blicke anderer nutzen.  
Zum natürlichen Erleben des Abends gehört das Ungestörtsein. In Gebieten, in  
denen ausschließlich oder überwiegend gewohnt wird, ist dieses Ungestörtsein  
wichtiges Element der Wohnqualität, wenn nicht die Einzelumstände, wie z.B.  
Straßenbeleuchtung, übliche starke Beleuchtung der Wohnhäuser der Umgebung und  
des eigenen Hauses, ohnehin zu einer größeren Helligkeit führen. In derartigen  
Fällen dürfte die zusätzliche Lichtquelle ohnehin kaum störend bemerkbar sein,  
da die Dunkelheit ohnehin schon aufgehellt ist. In Mischgebieten oder Kern-  
gebieten wird durch die Beleuchtung, die aus den verschiedensten Gründen vor-  
handen ist, dazu beitragen, daß natürliche Dunkelheit nicht besteht.

Die Raumaufhellung trotz geschlossener Vorhänge in Wohn- und Schlafräumen ist  
zumindest für den Abend und für die Nacht unüblich und wird durch die Lebens-  
erfahrung nicht erwartet. Sie kann zumindest subjektiv belästigen, wenn man  
feststellt, daß die eigenen Schutzvorkehrungen (Schließen von Vorhängen) nicht  
oder nur wenig nutzen. Normalerweise gehört zum Einschlafen eine erwünschte  
Dunkelheit. Wird sie durch einstrahlendes Licht verhindert, kann dies auch als  
erhebliche Belästigung eingestuft werden.

Ob Störung der Privatsphäre durch Licht als erhebliche Belästigung angesehen  
wird, dürfte von folgenden Kriterien abhängen:

- Dunkelheit oder Helligkeit des Gebietes ohne die zu beurteilende Licht-  
quelle,
- Nutzungsart des Gebietes,
- Nutzung des beleuchteten Grundstückes.

Ähnlich wie bei der Beurteilung von Geräuschen dürfte danach der Anspruch auf  
Vermeiden von Lichteinwirkungen von dem Schutzanspruch des Gebietes abhängen,  
damit von einer plangegebenen Vorbelastung und auch von der tatsächlichen  
Helligkeit durch andere Lichtquellen und damit auch von der tatsächlichen

Vorbelastung. Dabei ist der Begriff "Vorbelastung" nicht so eng und negativ zu sehen, wie bei der Beurteilung von Geräuschimmissionen.

Typische Beeinträchtigungen durch Flackerlicht werden durch Reklamebeleuchtung hervorgerufen, bei der in festgelegter Schaltfolge Buchstaben, Schriftzüge oder Bilder unter Umständen in unterschiedlicher Farbe erscheinen. Dabei entstehen Helligkeits- und Farbunterschiede, die die Aufmerksamkeit erregen und von Tätigkeiten im privaten, aber auch beruflichen Bereich ablenken. In den Innenstädten ist es zwar relativ hell, die Lichtreklame soll gerade durch ihre Effekte trotz der Helligkeit Aufmerksamkeit z.B. der Passanten erregen. Dieses Aufmerksamkeit-Wecken kann negativ zur Ablenkung und mangelnden Konzentration z.B. bei Büroarbeit führen. Es ist daher nicht auszuschließen, daß dieser negative Aufmerksamkeitseffekt zu Ärger führt mit allen negativen Folgen.

Gegen diese Lichtimmissionen am Arbeitsplatz kann man sich durch lichtdichte Vorhänge schützen. Ob derartige Beeinträchtigungen am Arbeitsplatz erhebliche Belästigungen sind, ob es zumutbar ist, den Arbeitsplatz gegen derartige Immissionen und auch Beeinträchtigungen zu schützen, muß diskutiert werden. Besteht keine Möglichkeit, den Arbeitsplatz gegen die Flackerlicht-Immissionen zu schützen, kann, wenn die Lichteinwirkungen wie z.B. im Winter lange andauern und wenn sie sehr stark sind, ein Anspruch auf Vermeiden der Immissionen bestehen. Es ist aber anerkannt, daß am Arbeitsplatz eine stärkere Belastung zumutbar ist als im Wohnbereich, in dem alle Menschen - auch Kranke - ihren Anspruch auf Schutz haben. Daher ist die Toleranzschwelle für die im Einwirkungsbereich derartiger Lichtanlagen Wohnenden niedriger anzusetzen.

Ist nachgewiesen, daß durch Lichteinwirkungen erhebliche Nachteile - z.B. Mindererlöse bei Blumen - tatsächlich durch Lichteinwirkungen verursacht werden, dürfte dieser Tatbestand als erheblicher Nachteil im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes angesehen werden.

### 3. A n s p r u c h   a u f   V e r m e i d e n   s c h ä d l i c h e r U m w e l t e i n w i r k u n g e n

Beleuchtungseinrichtungen, die im Bereich von Anlagen, die gewerblichen Zwecken dienen oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden, sind nicht genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Anlagen dieser Art sind so zu errichten und zu betreiben, daß schädliche Umwelteinwirkungen durch Lichteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind, und nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen sind auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Soweit Beleuchtungseinrichtungen bei Anlagen verwendet werden, die nicht gewerblichen Zwecken dienen und nicht im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden, gilt das Bundes-Immissionsschutzgesetz nicht. Hier gilt das Ordnungsrecht der Länder. Die Maßstäbe zur Beurteilung von Lichteinwirkungen sind jedoch identisch, so daß sich lediglich ein Unterschied in der Rechtsnorm, nach der erhebliche Belästigungen zu vermeiden sind, besteht.

Die Erfahrung zeigt, daß mit Blendschutzlamellen, Änderung des Strahlwinkels und Blendschirmen das Licht sich auf die Flächen begrenzen läßt, die beleuchtet werden sollen. Daher dürfte es regelmäßig der Stand der Technik zulassen, derartige Beeinträchtigungen auf ein zumutbares Maß zu verringern. Schwieriger sind Schutzvorkehrungen bei Leuchtreklame-Anlagen. Sie haben den Sinn, möglichst viel Aufmerksamkeit zu erregen durch einen großen Abstrahlwinkel und mit großen Leuchtdichte- oder Farbwechsellern. Hier sind zeitliche Begrenzung und Verminderung der die Auffälligkeit hervorrufenden optischen Eigenschaften der Reklame möglich.

Die Beleuchtungsanlage von genehmigungsbedürftigen Anlagen, z.B. Freianlagen, sind als genehmigungsbedürftige Nebenanlagen zu sehen, da sie für den Betrieb der Anlage unabdingbar sind. Hier ist im Genehmigungsverfahren zu prüfen, ob durch diese Beleuchtungsanlagen schädliche Umwelteinwirkungen auftreten können. Das ist im allgemeinen nicht zu erwarten, da genehmigungsbedürftige Anlagen in Industriegebieten zu errichten sind. In Gebieten dieser Art besteht ohnehin nur ein geringer Schutzanspruch gegenüber Immissionen dieser Art.

#### 4. U n b e s t i m m t e R e c h t s b e g r i f f e u n d o p t i s c h e K e n n g r ö ß e n

Bei der verwaltungsrechtlichen Betrachtung werden optische Begriffe wie Blendung, Ausleuchtung des Privatgrundstückes, Raumaufhellung u.ä. als unbestimmte Rechtsbegriffe gebraucht. Sie müssen, wenn man von subjektiven Beurteilungen losgelöst möglichst objektive Beurteilungsmaßstäbe entwickeln will, mit optischen Meß- und Kenngrößen verknüpft werden. Die Physiker, Physiologen und Psychologen müssen angeben,

- wann physiologische oder psychologische Blendung vorliegt,
- wann durch ungewollte fremde Beleuchtung die Ungestörtheit der Privatsphäre beeinträchtigt ist,
- wann Raumaufhellungen die Nutzung von Wohn- und Schlafräumen unzumutbar beeinträchtigen und
- welche Helligkeitsunterschiede, Farbfolgen und deren Sequenzen die Konzentration stören und unerwünschte Aufmerksamkeit wecken.

Dieser Bereich des Immissionsschutzrechtes ist zwar nicht der bedeutendste, aber der betroffene Bürger genießt den Schutz des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Um ihn sachgerecht zu gewähren, müssen Verwaltungsrecht, optische Kenngrößen und die Erkenntnisse über Lichteinwirkungen miteinander verknüpft werden.

Die Frage nach der Erheblichkeit von wirtschaftlichen Nachteilen durch Lichteinwirkungen ist ein Sonderfall, der nur schwer generellen Regelungen zugänglich ist.

Bisher fehlen allgemein anerkannte Regelwerke zur Beurteilung von Lichteinwirkungen, daher werden für die Beschwerdefälle Einzeluntersuchungen und entsprechende Gutachten nötig sein. Die Verwaltungsbehörden sind gewohnt, in anderen Bereichen des Umweltschutzes mit Verwaltungsvorschriften oder antizipierten Sachverständigenäußerungen zu arbeiten. Zur Beurteilung von Lichteinwirkungen wären derartige Regelungen wünschenswert. Sie müßten ein einfaches Ermittlungsverfahren und einleuchtende Beurteilungsmaßstäbe unter Berücksichtigung von Vorbelastung und Ortsüblichkeit zum Inhalt haben.

Messungen und Beurteilung  
der Lichtimmissionen  
künstlicher Lichtquellen

- Kurzbericht -

Vortragender: Prof. Dr. E. Hartmann

M E S S U N G E N   U N D   B E U R T E I L U N G E N  
D E R   L I C H T I M M I S S I O N E N  
K Ü N S T L I C H E R   L I C H T Q U E L L E N

K U R Z B E R I C H T

Auftraggeber:

Bayerisches Staatsministerium  
für Landesentwicklung und Umweltfragen  
Rosenkavalierplatz 2  
8000 München 81

Projektbegleitung:

Bayerisches Landesamt  
für Umweltschutz  
Rosenkavalierplatz 3  
8000 München 81

Auftragsnummer:

V 1/5-233-16/80  
Bewilligungsdatum: 05.09.1980

Autoren:

E. Hartmann  
M. Schinke  
K. Wehmeyer  
H. Weske

Redaktionelle  
Überarbeitung:

H. Müller  
Bayerisches Landesamt für  
Umweltschutz

Institut für medizinische Optik  
der Universität München

1984

In der regen Diskussion, die sich im Anschluß an den Vortrag von Prof. Hartmann entwickelte, wurde von den anwesenden Vertretern der Beleuchtungsindustrie und Lichttechnikern einstimmig die Meinung geäußert, daß die von Prof. Hartmann vorgeschlagenen Richtwerte für die Beleuchtungsstärke in der Fensterebene und für die Leuchtdichten kleiner Lichtquellen in der Praxis einhaltbar sind. Darüber hinaus wurde betont, daß es Stand der Beleuchtungstechnik ist, daß durch geeignete Leuchtenwahl, Blenden und Schirme, durch geeignete Wahl der Lichtpunkthöhe und des Neigungswinkels der Leuchten usw. eine direkte Ausstrahlung einer Beleuchtungsanlage auf die Nachbarschaft verhindert wird. Bei fachgemäßer Planung bräuchten hier keine Nachteile für die eigentliche Beleuchtungsaufgabe befürchtet werden.

MESSUNG UND BEURTEILUNG DER LICHTIMMISSIONEN KÜNSTLICHER LICHTQUELLEN  
- KURZBERICHT -

Prof. Dr. E. Hartmann u.a.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Vor dem Hintergrund wachsenden Umweltbewußtseins hat das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen im September 1980 einen Forschungsauftrag mit obigem Titel an das Institut für Medizinische Optik vergeben. Folgende Fragestellungen sollten untersucht werden:

1. Wie weit sind Belästigungen oder Beeinträchtigungen durch Lichtquellen in der Bevölkerung verbreitet?
2. Um welche Lichtquellen handelt es sich dabei?
3. Worauf sind die Beschwerden zurückzuführen?
4. Lassen sich Grenzwerte für zulässige Lichtimmissionen ableiten?
5. Berechnung der zu erwartenden Lichtimmission im Planungsstadium einer Beleuchtungsanlage.

Mit Hilfe eines Meinungsforschungsinstituts wurde in einer bundesweiten Umfrage der Anteil der durch Lichtimmission betroffenen Personen ermittelt, er beträgt etwa 2,5 % mit leichten saisonalen Schwankungen. Der weit überwiegende Teil der Beschwerden bezieht sich auf Straßenbeleuchtung, zu einem geringen Teil sind Lichtreklamen und Sportplatzbeleuchtung beteiligt. Bei Messungen am Ort der Störung ergab sich, daß es sich bei der Lichtimmission nicht um ein Blendungsproblem handelt, sondern daß sich die Beschwerden fast immer auf eine zu starke Raumaufhellung beziehen, d.h. auf zu große Beleuchtungsstärken in der Fensterebene des betroffenen Raumes. Aus Korrelationen zwischen dieser Beleuchtungsstärke und den Angaben der Betroffenen über das Ausmaß der Störung, der Raumaufhellung und ihrer subjektiven gesundheitlichen Beeinträchtigung wurde ein Grenzwert der am Fenster vorhandenen vertikalen Beleuchtungsstärke von 3 lx ermittelt. Für den relativ selten auftretenden Fall der Störung durch zu hohe Leuchtdichten bei sehr kleinen Blendquellen (psychologische Blendung) konnten Maximalwerte der tolerablen Leuchtdichten in Abhängigkeit von der Größe der Lichtquelle und den Umgebungsbedingungen ermittelt werden.

In einem weiteren Kapitel wurden die Auswirkungen dieser Grenzwerte auf existierende Beleuchtungsbedingungen (Straßenbeleuchtung, Lichtreklame, Sportplatzbeleuchtung) untersucht und die Möglichkeiten zur Berechnung der zu erwartenden Lichtimmission im Planungsstadium einer Beleuchtungsanlage diskutiert.

## S u m m a r y

In view of the growing environmental concern the Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Bavarian State Ministry for Regional Planning and Environmental Protection) placed a research contract with the Institute of Medical Optics in September 1980. Following questions were to be investigated:

1. To what extent do light sources cause annoyance or adverse effects among the population?
2. Which light sources are involved?
3. What are the causes of complaints?
4. Is it feasible to derive limits for the maximum allowable unwanted illumination?
5. What are the possibilities for calculating the expected ambient light conditions in the planning stage of a lighting system?

With the help of an opinion polling institute the percentage of the population affected by unwanted illumination was determined through a national survey to amount to about 2.5 % with minor seasonal fluctuations. By far the greatest number of complaints involved street-lighting. Neons and the lights of sports arenas were mentioned to a lesser extent. On-site measurements did not implicate glare as the cause of the complaints. In most cases the complaints were due to too strong unwanted illumination in the window level of the room. From correlations between the intensity of this illumination and the degree of annoyance perceived by the affected persons as well as between the occurring illumination and the subjective health impairments respectively, a limit for the maximum allowable vertical illumination of 3 lx was derived. For the relatively rare case of annoyance by too high luminance of very small sources (discomfort glare) maximum tolerance thresholds for the luminance in dependence of the size of the light source and the environmental conditions were derived.

In a further chapter the impact of these limits on existing lighting conditions (street lighting, neons, sports arena lighting) was examined and the possibilities for calculating the expected ambient lighting conditions in the planning stage of a lighting system were put forth.

## 1. Einleitung

Im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [1] vom 15. März 1974 wird auch Licht als mögliche schädliche Umwelteinwirkung genannt. Während für die Beurteilung von Luftverunreinigungen oder Geräuscheinwirkungen über Jahre erprobte Technische Anleitungen [2, 3] mit umfangreichen Regelwerken des Deutschen Normenausschusses und der VDI-Kommissionen vorliegen, gibt es für Lichtimmissionen nichts Vergleichbares. Lichtimmissionen wurden in der Planung bisher i.a. nur insoweit berücksichtigt, als durch eine Beleuchtungssituation keine Blendung, d.h. im wesentlichen keine Verkehrsgefährdung verursacht werden darf. Licht als einer möglichen Quelle von Umweltbeeinträchtigungen wurde bisher wenig Beachtung geschenkt.

Vor diesem Hintergrund hat das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, vertreten durch das Bayerische Landesamt für Umweltschutz, im September 1980 einen Forschungsauftrag mit dem Thema "Messung und Beurteilung der Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen" an das Institut für Medizinische Optik der Universität München, Forschungsleiter: Prof. Dr. E. HARTMANN, vergeben.

Durch Messungen am Ort der Störung und durch Experimente im Labor sollten praktikable Meßmethoden und Beurteilungsverfahren erarbeitet werden, die es ermöglichen, Beschwerden über Lichtimmissionen zu objektivieren.

Elektromagnetische Strahlung aus dem sichtbaren Bereich kann theoretisch zu drei unterschiedlichen Arten von Störungen und Gefährdungen führen:

1. Gefährdung der Augen und der Haut durch zu hohe Strahlungsintensitäten
2. psychologische und physiologische Blendung
3. übermäßige Aufhellung von Schlafräumen und damit Verursachung von Schlafstörungen.

Physiologische Schäden der Augen oder der Haut scheiden bei den im Bereich des Immissionsschutzes auftretenden Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten i.a. aus.

## 2. Literaturrecherche

Die aus der Literatur bekannten Fakten zur physiologischen und psychologischen Blendung wurden zusammengestellt und bezüglich einer möglichen Anwendbarkeit auf die Problematik der Bewertung von Lichtimmissionen überprüft.

Die bisher bekannten Formalismen zur Blendungsbewertung können aus den folgenden Gründen zur Beurteilung von Lichtimmissionen kaum verwendet werden:

Die Bewertung einer Beleuchtungsanlage mit den Kriterien der physiologischen Blendung setzt eine konkrete Sehaufgabe voraus, deren Lösung durch die Blendung erschwert wird. Eine Normsehaufgabe kann für die Lichtimmissionen kaum

definiert werden, da die Bedingungen, die in der Praxis vorgefunden werden, zu verschiedenartig sind.

Die vorliegenden Ergebnisse zur psychologischen Blendung lassen sich für die Lichtimmission nicht verwerten, da die bekannten Formeln fast ausschließlich zur Beschreibung der Blendung durch Innenraumbelichtung aufgestellt wurden, so daß der für die Lichtimmission interessante Umfeldleuchtdichtebereich (skotopisch bzw. mesopisch) außerhalb des Wertebereiches liegt, für den die verschiedenen Formeln gültig sind.

Die Voraussagen aufgrund der Blendformel, die im Bericht des TÜV Rheinland [4, 5] vorgeschlagen wurde und nicht durch Versuche abgesichert ist, stimmen mit Ergebnissen, die in Experimenten gewonnen werden, nicht überein.

Da in der Literatur keine Untersuchungen beschrieben sind, die für die Bewertung von Lichtimmissionen durch kleine Blendquellen mit hoher Leuchtdichte (Sportplatzbeleuchtung etc.) angewendet werden könnten, wurde ein Formalismus entwickelt und experimentell überprüft, der diese Lücke schließt.

### 3. L i c h t i m m i s s i o n s u m f r a g e

In einer bundesweiten Repräsentativumfrage eines Meinungsforschungsinstitutes wurden statistische Daten über die Verbreitung des Problems Lichtimmission, über die lichttechnischen Parameter der Störsituation, das subjektive Ausmaß der Störung sowie die psychologische und soziale Situation der Betroffenen erhoben.

2,4 % der Bevölkerung fühlen sich durch Lichtquellen gestört oder belästigt. Dieser Prozentsatz schwankt zwischen knapp 2 % im Sommer und gut 3 % im Winter. Vergleicht man diese Zahlen mit der prozentualen Häufigkeit von Beschwerden über Lärm in dieser Umfrage, so ergibt sich, daß Klagen über Lärmimmission 10-fach häufiger sind als Beschwerden über Licht.

Mehr als 70 % der Beschwerden entfallen auf Straßenbeleuchtung, mit weitem Abstand folgen Klagen über Lichtreklame und Industriebeleuchtung mit je etwa 15 %, der Anteil der Sportplatzbeleuchtung liegt unter 5 %, Beschwerden über Verkehrsampeln treten praktisch nicht auf.

80 % der Betroffenen geben das Schlafzimmer als den Raum an, in dem die Lichtimmission die Wohnqualität beeinträchtigt. Jedoch auch im Wohnzimmer oder sogar außerhalb der Wohnung können Lichtquellen als störend empfunden werden.

Ca. 85 % der Lichtimmissionsgeschädigten klagen über Schlafstörungen, d.h., die Betroffenen haben Schwierigkeiten unter der Einwirkung von Lichtimmission einzuschlafen. Etwa ein Drittel der Betroffenen nennt andere Störsituationen als das Schlafen, wie etwa Lesen, Fernsehen oder Unterhalten.

50 % der Betroffenen geben an, die Lichtimmission sei störend, 20 % sagen aus, sie sei gerade noch erträglich und ca. 30 % fühlen sich unzumutbar belästigt. Die Einschätzung der Störung verschärft sich mit zunehmendem Alter der Betroffenen.

60 % der durch Lichtimmission gestörten Personen klagen über gesundheitliche Beeinträchtigungen durch die Lichtimmission. Dabei ist festzuhalten, daß ein schlechter gesundheitlicher Allgemeinzustand diese Einschätzung verstärkt.

Personen die über Lichtimmission klagen, beschweren sich doppelt so häufig über Lärmbelästigung wie der Durchschnitt der Bevölkerung. Dabei ist nicht geklärt, ob die Lärmbelästigung zu einer erhöhten Lichtempfindlichkeit führt, ob ein erhöhter Lärmpegel tatsächlich häufig mit einem erhöhten Beleuchtungsniveau gekoppelt ist oder ob diese Tatsache nur von einer gesteigerten Sensibilität dieser Personen zeugt.

74 % der Beschwerdeführer geben an, die durch die Lichtimmission entstehende Raumaufhellung durch Jalousien, Rolläden, Vorhänge oder Fensterläden verhindern zu können, was sie aber, aus welchen Gründen auch immer, nicht tun.

Bezüglich der Neurotizismus- und der Extraversionsskala unterscheiden sich die Lichtimmissionsgeschädigten nicht wesentlich von der Vergleichsstichprobe.

Zur Objektivierung der die Klagen auslösenden Umstände wurden bei Personen, die sich auf die vom Institut für Medizinische Optik initiierten Presseberichte gemeldet hatten, am Einwirkungsort des einzelnen Betroffenen, z.B. in dessen Wohnzimmer oder Schlafräum, lichttechnische Messungen durchgeführt.

Die spontanen Beschwerden über Lichtimmissionen erstrecken sich über einen Bereich von drei Dekaden der Vertikalbeleuchtungsstärke in der Fensterebene und zwar von 0,06 lx bis 59 lx (vgl. Abb. 1 im Anhang).

Teilt man die Beschwerden nach Art der Lichtquellen auf, so ergibt sich, daß 87 % der Beschwerden auf Leuchtstofflampen entfallen, 13 % auf Hochdruck-Gasentladungslampen und keine Beschwerden über Glühlampenlicht vorliegen.

Diese Verteilung ist zurückzuführen auf die Art der heute in der Außenbeleuchtung verwendeten Lichtquellen, d.h., im weitaus überwiegenden Teil der öffentlichen Beleuchtung werden Leuchtstofflampen verwendet, zu einem geringeren Anteil werden Hochdruck-Gasentladungslampen benutzt, Glühlampenbeleuchtung tritt in der Praxis nahezu nicht mehr auf.

Stellt man die Ergebnisse der lichttechnischen Messungen vor Ort den in der Fragebogenaktion ermittelten subjektiven Einschätzungen der Störsituation gegenüber, so zeigen sich die in den Abb. 2, 3 und 4 (siehe Anhang) dargestellten Zusammenhänge.

Ab einer vertikalen Beleuchtungsstärke von 3 lx in der Fensterebene überwiegen Beschwerden über eine starke Raumaufhellung (Abb. 2).

Der Grad der Belästigung durch die störende Lichtquelle ist unabhängig von der Beleuchtungsstärke. Dieser Umstand bedeutet nicht, wie man vermuten sollte, daß die Beleuchtungsstärke die Belästigung nicht beeinflußt, sondern er zeigt, daß die Bewertungsskala für das Ausmaß einer Belästigung bei den Betroffenen sehr unterschiedlich ist.

Ab 5 lx steigt der relative Anteil der Lichtgestörten, die sich einer starken gesundheitlichen Beeinträchtigung ausgesetzt fühlen, stark an (Abb. 3), und zwischen 4 lx und 6 lx sinkt das Niveau ihres subjektiven Gesundheitszustandes (Abb. 4).

Da die "Spontanen" ein sensibilisiertes Kollektiv darstellen, ist davon auszugehen, daß bei Einhaltung der aus diesen Ergebnissen resultierenden Grenzwerte auch bei nicht sensibilisierten Personen keine Belästigungen auftreten.

#### 4. Laborversuche

Es wurden Laborversuche durchgeführt, um Zusammenhänge zwischen den verschiedenen lichttechnischen Parametern und der subjektiven Bewertung von Lichtimmissionen zu erhalten.

Untersucht wurde der Einfluß von Lichtfarbe, Leuchtdichtestruktur und zeitlichem Modulationsgrad von Lichtquellen, die Störungen hervorrufen können, auf den Grad der Belästigung.

##### a) Einfluß der Lichtfarbe

Es zeigen sich signifikante Unterschiede in der Bewertung von störenden Raumaufhellungen (Messungen vor Ort ergaben, daß in der Mehrzahl der untersuchten Fälle die Raumaufhellung von Wohn- und Schlafräumen als Belästigung empfunden wird) je nach deren Farbe. Am wenigsten stören die Lichtfarben Gelb und Weiss, am stärksten Grün, Rot und Blau.

##### b) Einfluß der Leuchtdichtestruktur

Um die Frage zu entscheiden, ob z.B. die Straßenbeleuchtung vor dem Haus störender sein kann als ein beleuchtetes Großraumbüro auf der anderen Straßenseite, wenn beide Immissionsquellen dieselbe Beleuchtungsstärke in der Fensterebene erzeugen, wurde in Gruppenversuchen der Einfluß der Winkelgröße der Lichtquellen auf die subjektive Bewertung untersucht.

Es zeigt sich, daß ab einer bestimmten Winkelausdehnung der Lichtquelle nur die Beleuchtungsstärke in der Fensterebene und damit die Raumaufhellung das Kriterium für den Grad der Störung darstellt; für extrem kleine Lichtquellen spielt bei der Beurteilung deren Leuchtdichte eine Rolle.

## c) Einfluß des Modulationsgrades

Im Paarvergleich wurden statische Beleuchtungssituationen mit zeitlich modulierten verglichen und von einem Versuchspersonenkollektiv beurteilt. Die modulierte Beleuchtungssituation wird grundsätzlich schlechter bewertet als die statische. Ebenso spielen die Parameter Anstiegssteilheit der Leuchtdichte, zeitliches hell-dunkel Verhältnis, maximales Leuchtdichteniveau und Frequenz der Lichtmodulation eine Rolle für die Bewertung.

Obwohl die Versuchsergebnisse i.a. signifikante Aussagen liefern, können sie für die Beurteilung von Lichtimmissionen in der Praxis nur bedingt Verwendung finden. Das liegt daran, daß man im Labor nur sehr schwer die Gesamtsituation simulieren kann, die in der Praxis vorgefunden wird. Menschen, die sich über konkrete Lichtimmissionen beschwerten, beklagen sich über Leuchtdichten und Beleuchtungsstärken, die im Labor von kaum einer Versuchsperson als störend empfunden werden. Ein Grund dafür ist sicherlich die unterschiedliche momentane psychische Konstitution der Beschwerdeführer und der Probanden im Labor. Die Menschen, die sich über Lichtimmission beklagen, sind der Situation oft bereits seit längerer Zeit ausgesetzt, sind i.a. am Abend durch die tägliche Arbeit entspannungsbedürftig und damit reizbarer gegenüber äußeren Störungen als Personen, die für eine kurze Zeit eine Beleuchtungsanlage im Experiment bewerten sollen.

## 5. K l e i n e L i c h t q u e l l e n h o h e r L e u c h t d i c h t e

Aus experimentellen Untersuchungen, unter anderem zur Lichtimmission, ist bekannt, daß Lichtquellen geringer Ausdehnung aber hoher Leuchtdichte zu massiven Beschwerden Anlaß geben können, obwohl die von ihnen am Störungsort verursachte Beleuchtungsstärke vernachlässigbar klein ist.

Aus der physiologischen Optik sind in diesem Zusammenhang die beiden folgenden Fakten von Bedeutung:

1. Messungen von GETZBERGER [6] haben gezeigt, daß die Auffälligkeit eines Objektes proportional zur Überschwelligkeit des Sehreizes ist, d.h., ein Objekt ist um so auffälliger, je größer das Verhältnis von tatsächlicher Leuchtdichte zur Schwellenleuchtdichte ist. Die Schwellenleuchtdichte ist die aufgrund der Größe des Objektes und der Leuchtdichte des Umfeldes zum Erkennen des Objektes notwendige Leuchtdichte. Sie läßt sich aus den sogenannten BEREKschen Kurven entnehmen. Dabei ist festzuhalten, daß die Auffälligkeit logarithmisch mit dem Ausmaß der Überschwelligkeit wächst. Etwa bei der 1000-fachen Schwellenleuchtdichte ist eine Lichtquelle optimal auffällig, erhöht man diesen Wert weiter, so tritt zunehmend Blendung auf. Etwa bei dem  $10^5$ -fachen Wert der Schwellenleuchtdichte dominiert die Blendung.

Daraus leitet sich ab, daß man aus der scheinbaren Größe eines Objektes und der Umfeldleuchtdichte anhand der BEREKschen Kurven [7] eine Aussage über die mögliche Beeinträchtigung durch eine Lichtquelle treffen kann.

2. Die Kontrastübertragungsbreite des visuellen Systems ist begrenzt. Befinden sich im Gesichtsfeld kleine Lichtquellen (2' bis 60') mit hoher Leuchtdichte, so wird deren Störwirkung durch die Umfeldleuchtdichte praktisch nicht beeinflusst, solange die Umfeldleuchtdichte einen gewissen Wert nicht überschreitet. Im Falle der hier bedeutsamen skotopischen und mesopischen Umfeldleuchtdichten liegt dieser kritische Wert beim  $10^{-4}$  fachen der Lichtquellenleuchtdichte. Diese Relation gilt bis zu einem Maximalwert der Umfeldleuchtdichte von etwa  $0,1 \text{ cd/m}^2$ .

Das bedeutet auf einen konkreten Fall übertragen, daß eine Blendwirkung, die durch eine kleine Blendquelle (kleiner 60') mit einer Leuchtdichte von z.B.  $500 \text{ cd/m}^2$  hervorgerufen wird, durch eine Absenkung der Umfeldleuchtdichte unter den  $10^{-4}$  fachen Wert der Lichtquellenleuchtdichte, in diesem Fall also  $0,05 \text{ cd/m}^2$ , nicht mehr vergrößert werden kann. Bis zu einer Umfeldleuchtdichte von  $0,1 \text{ cd/m}^2$  ergibt sich also aus der Leuchtdichte der Lichtquelle eine minimale wirksame Umfeldleuchtdichte.

Aus diesen beiden Punkten resultiert das im folgenden Kapitel angegebene Beurteilungsverfahren.

## 6. Richtlinienvorschlag zur Beurteilung von schädlichen Umwelteinwirkungen durch Licht.

- Immissionsgrenzwerte -

Im Folgenden werden aufgrund der erzielten Ergebnisse Vorschläge für Richtlinien zur Beurteilung von schädlichen Umwelteinwirkungen durch Licht unter Berücksichtigung des Standes der Lichttechnik gemacht. Die Beurteilung von Lichteinwirkungen kann im Planungsfall aufgrund von Berechnungen, im Beschwerdefall aufgrund von Messungen durchgeführt werden. Werden die genannten Immissionsgrenzwerte überschritten, so ist die Lichteinwirkung als erheblich belästigend anzusehen.

### 6.1. Zulässige Immissionswerte für die vertikale Beleuchtungsstärke in der Fensterebene

Die Vertikalbeleuchtungsstärke in der Fensterebene des betroffenen Wohnraumes, hervorgerufen durch Primärlichtquellen, d.h. ohne Hintergrundbeleuchtung, darf einen Wert von 3 lx nicht überschreiten.

### 6.2. Zulässige Emissionswerte für die Leuchtdichten kleiner Lichtquellen

Es wird das Verhältnis  $V$  aus der Leuchtdichte der Lichtquelle  $L_o$ , vom Ort der Störung aus gesehen, und der Leuchtdichte des Umfeldes  $L_u$  bestimmt.

a) Ist  $V$  größer als 10.000, dann wird als wirksame Umfeldleuchtdichte ein Zehntausendstel der Leuchtdichte der Lichtquelle angenommen, bis zu einem Maxi-

malwert von  $0,1 \text{ cd/m}^2$ . Übersteigt die Leuchtdichte der Lichtquelle den Wert von  $1000 \text{ cd/m}^2$ , so wird entweder, falls der Wert der Umfeldleuchtdichte kleiner als  $0,1 \text{ cd/m}^2$  ist, als wirksame Umfeldleuchtdichte der Wert von  $0,1 \text{ cd/m}^2$ , oder falls die Umfeldleuchtdichte größer als  $0,1 \text{ cd/m}^2$  ist, der tatsächliche Wert der Umfeldleuchtdichte als wirksame Leuchtdichte verwendet.

b) Ist  $V$  kleiner als  $10.000$ , dann ist als wirksame Umfeldleuchtdichte der tatsächliche Wert der Umfeldleuchtdichte zu verwenden.

Aus der scheinbaren Größe der Lichtquelle und der Leuchtdichte des Umfeldes ergibt sich anhand der Abbildung 5 (siehe Anhang), die aus den BEREKschen Kurven errechnet ist, die maximal zulässige Leuchtdichte der betrachteten Lichtquelle.

Im Folgenden sollen nun kurz einige Besonderheiten spezieller Beleuchtungssituationen aufgezeigt werden.

#### 6.2.1. Straßenbeleuchtung

Hier sind Ausnahmen bezüglich der Maximalbeleuchtungsstärken und der maximalen Leuchtdichten dann möglich, wenn sie aus Gründen der Verkehrssicherheit notwendig sein sollten.

#### 6.2.2. Lichtreklame

Im Fall der Lichtreklame ist aufgrund der relativ geringen Leuchtdichten (i.a. deutlich kleiner als  $1000 \text{ cd/m}^2$ ) eine Beurteilung nur über die maximal zulässige Beleuchtungsstärke sinnvoll. Bei besonders intensiven Farben aus dem extrem kurzwelligen oder langwelligen Teil des sichtbaren Spektrums sollte der Immissionsgrenzwert angemessen reduziert werden ( $1 \text{ lx}$ ). Außerdem ist in Erwägung zu ziehen, zeitlich modulierte Lichtquellen zu Reklamezwecken an der Außenfassade allgemein zu verbieten.

### 7. M e ß v e r f a h r e n

#### 7.1. Meßgeräte

##### 7.1.1. Luxmeter

Als Luxmeter dürfen nur solche Geräte benutzt werden, die einen ausreichend großen Meßbereich besitzen. Die Mindestgröße des Meßbereichs sollte  $0,05 \text{ lx}$  bis  $500 \text{ lx}$  sein. Es sind Geräte mit sehr geringen Meßfehlern und einer sehr guten spektralen Anpassung an die Empfindlichkeit des menschlichen Auges  $V_\lambda$  erforderlich. Die Geräte müssen der Güteklasse A der DIN-Norm 5032 Teil 7 entsprechen. Teil 6 und 7 dieser Norm liegen bis jetzt allerdings erst im Entwurf vor. Güteklasse A bedeutet einen maximalen Gesamtmeßfehler von  $5 \%$ .

### 7.1.2. Photometer

Der Meßbereich der verwendeten Photometer sollte mindestens von  $0,1 \text{ cd/m}^2$  bis  $1.000.000 \text{ cd/m}^2$  reichen. Auch bei diesen Geräten ist eine hohe Meßgenauigkeit über den gesamten Meßbereich sowie eine sehr gute spektrale Anpassung an  $V_\lambda$  erforderlich. Die Geräte müssen die Anforderungen der Güteklasse A der DIN Norm 5032 Teil 7 erfüllen, das bedeutet einen maximalen Gesamtmeßfehler von  $7,5 \%$ . Die benutzten Photometer sollten verschiedene Meßfelder besitzen, deren kleinstes nicht größer als 5 Winkelminuten sein sollte.

### 7.2. Kalibrierung

Die verwendeten Luxmeter und Photometer sollten entsprechend DIN 5032 Teil 6 alle zwei Jahre kalibriert werden.

### 7.3. Meßgrößen

Vom Ort der Störung aus sind folgende Größen zu bestimmen:

1. Die Vertikalbeleuchtungsstärke in der Fensterebene des betroffenen Raumes.
2. Falls die Lichtquelle vom Ort der Störung zu sehen ist:
  - a) die Leuchtdichte der störenden Lichtquelle(n)
  - b) die Sehwinkelgröße der Lichtquelle
  - c) die Leuchtdichte des Umfeldes ohne Lichtquelle, bei ungleichmäßiger Leuchtdichteverteilung ist der arithmetische Mittelwert zu bilden.

Sollte die Leuchtdichte der Lichtquelle  $L_o$  wegen der geringen Lichtquellengröße vom Ort der Störung aus nicht direkt zu messen sein, so läßt sich mit der folgenden Methode ein Näherungswert errechnen:

Man bestimmt mit der kleinsten Meßfeldblende die mittlere Leuchtdichte des Meßfeldes, wobei sich die betrachtete Lichtquelle im Zentrum des Meßfeldes befinden sollte. Aus der mittleren Leuchtdichte  $\bar{L}$ , der Leuchtdichte des Umfeldes  $L_u$ , dem Winkeldurchmesser der Lichtquelle  $\alpha_o$  und des Meßfeldes  $\alpha_{\text{ges}}$  ergibt sich  $L_o$ :

$$L_o = \frac{\alpha_{\text{ges}}^2 (\bar{L} - L_u) + \alpha_o^2 L_u}{\alpha_o^2} \quad (1)$$

### 7.4. Ort und Zeit der Messung

#### a) Ort der Messung

Grundsätzlich soll am Ort der Störung gemessen werden. Die Vertikalbeleuchtungsstärke wird daher in der Fensterebene des betroffenen Raumes gemessen,

wobei unter Umständen bei ungleichmäßiger Beleuchtung an mehreren Stellen des Fensters zu messen ist. Als Meßwert gilt in diesem Fall der arithmetische Mittelwert der Meßpunkte. Die Messungen werden bei geöffnetem Fenster durchgeführt, wenn dies nicht möglich sein sollte, sind Korrekturen für die Transmissionsverluste in den Fensterscheiben zu berücksichtigen.

Einfachglas, nicht getönt	-10 % $\hat{=}$	2,7 lx
Doppelverglasung, nicht getönt	-20 % $\hat{=}$	2,4 lx
Wärmeisolierverglasung	-40 % $\hat{=}$	1,8 lx

Die Leuchtdichte der betreffenden Lichtquelle wird vom Störungsort aus gemessen. Wenn die Lichtquelle kleiner ist als die kleinste Meßfeldblende, so ist dies im Protokoll festzuhalten. Aus der tatsächlichen Größe der Lichtquelle und der Größe der Meßfeldblende läßt sich ein Näherungswert berechnen (siehe (1)).

#### b) Zeit der Messungen

Die Meßzeit ist so zu wählen, daß die angezeigten Meßwerte für die Lichtmission kennzeichnend sind. Das wird in der Regel erst nach Ende der Abenddämmerung der Fall sein. Auf spezielle Eigenarten der Lichtquelle (z.B. Reduzierung der Intensität der Straßenbeleuchtung ab einer bestimmten Uhrzeit) ist zu achten, und diese sind gegebenenfalls im Meßprotokoll zu vermerken. Bei außergewöhnlichen Verhältnissen (Schneedecke, Nebel, starke Sichtbehinderung durch Regen etc.) sollten keine Lichtmessungen vorgenommen werden.

### 8. L i c h t m i s s i o n d u r c h m e h r e r e L i c h t - q u e l l e n

Bei Störung durch mehrere unterschiedliche Arten von Lichtquellen (Straßenbeleuchtung, Lichtreklame, Vollmond etc.) ist durch geeignete Meßverfahren (Abschattung gegen die betreffende Lichtquelle) der Anteil der einzelnen Beleuchtungsarten zu ermitteln und im Meßprotokoll festzuhalten. Liegt der Anteil einer Beleuchtungsart unter 10 % des Gesamtmeßwertes, so muß diese im Protokoll nicht separat aufgeführt werden.

### 9. M e ß p r o t o k o l l

Die Meßwerte sind in einem Protokoll festzuhalten. Das Protokoll muß neben den Meßwerten eine eindeutige Bezeichnung der Meßorte und die erforderlichen Angaben über die Uhrzeit, Datum, Wetterlage und Meßgeräte enthalten.

Beispiel für die Anlage eines Meßprotokolls:

Ort, Datum und Zeit der Messung

Name des Messenden

Lageplan: horizontale und vertikale Entfernungen zwischen Lichtquelle(n) und Störungsort  
 Art, Form und Anbringung der Lichtquelle(n)  
 Größe der Lichtquelle(n)  
 Farbe der Lichtquelle(n)  
 verwendete Meßgeräte (Typ, Meßbereich, ...)  
 Meßwerte, Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten  
 eventuell für einzelne Meßpunkte und Lichtquellen getrennt  
 Wetterbedingungen  
 Besonderheiten: Art der Straße, Charakter des Stadtviertels etc.

Liegen keine LVKn vor (z.B. Lichtreklame), so bleibt zur Ermittlung der in der Umgebung resultierenden Beleuchtungsstärken nur die direkte Messung am Objekt.

Bei großflächigen Objekten, die vom Immissionsort aus gesehen eine homogene Leuchtdichtevertelung haben, ergibt sich eine Abschätzung der maximal resultierenden Beleuchtungsstärke E aus der Leuchtdichte und der scheinbaren Fläche A des leuchtenden Objektes sowie dem Quadrat der Entfernung d:

$$E = L \cdot A / d^2 \quad (2)$$

#### 10. L e u c h t d i c h t e d e r L i c h t q u e l l e

Die Leuchtdichte L einer Lichtquelle ergibt sich aus dem Quotienten der Lichtstärke I in Beobachtungsrichtung und der scheinbaren Größe A der leuchtenden Fläche.

$$L = I / A \quad (3)$$

Das heißt, aus den LVKn der Leuchtenhersteller läßt sich unter der Annahme einer gleichmäßigen Leuchtdichtevertelung die Leuchtdichte berechnen.

## A n h a n g

D e f i n i t i o n d e r a u f t r e t e n d e n l i c h t t e c h -  
n i s c h e n G r ö ß e n

Bei den hier diskutierten Zusammenhängen der Lichttechnik werden in aller Regel zwei unterschiedliche Maßsysteme nebeneinander verwendet. Zum einen sind dies strahlungsphysikalisch oder energetisch bewertete Größen, zum anderen die entsprechenden lichttechnischen Größen.

Man erhält eine lichttechnisch bewertete Größe  $X_v$  (Index v für visuell bewertet) aus der entsprechenden energetisch bewerteten Größe  $X_e$  (Index e für energetisch bewertet), indem man die spektrale Verteilung von  $X_e$  wichtet mit der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges  $V_\lambda$  und über den sichtbaren Spektralbereich integriert.

$$X_v = K_m \int_{380 \text{ nm}}^{800 \text{ nm}} X_{e\lambda} V_\lambda d\lambda \quad (4)$$

Der Index  $\lambda$  bedeutet jeweils die spektrale Angabe der betreffenden Größe.

Die Konstante  $K_m$  ist das photometrische Strahlungsäquivalent. Sie ist das eigentliche Bindeglied zwischen den physikalischen und den lichttechnischen Größen. Ihr Wert für den photopischen Leuchtdichtebereich beträgt 683 lm/W. Im skotopischen Bereich sind  $K_m$  und  $v_\lambda$  durch  $K'_m$  und  $V'_\lambda$  zu ersetzen.  $K'_m$  hat einen Wert von 1760 lm/W. Den spektralen Verlauf von  $v_\lambda$  bzw.  $V'_\lambda$  zeigt Abb. 6.

In Tabelle 1 sei eine Zusammenstellung der wichtigsten energetischen und der zugehörigen photometrischen Größen mit ihren Definitionen und englischen Bezeichnungen gegeben.

Da insbesondere für die Beleuchtungsstärke und die Leuchtdichte mehrere unterschiedliche Einheiten gebräuchlich sind, seien diese hier in den Tabellen 2 und 3 zusammengestellt.

Dabei ist anzumerken, daß für die Beleuchtungsstärke nur lx oder mlx und für die Leuchtdichte nur noch cd/m<sup>2</sup> und sb normgerecht sind.

Tabelle 1: Strahlungsphysikalische und zugehörige photometrische Größen mit ihren Definitionen

strahlungsphysikalische Größe				photometrische Größe			
Bezeichnung	Symbol	Definition	Dimension	Bezeichnung	Symbol	Definition	Dimension
Strahlungsenergie	$Q_e$		Joule	Lichtmenge	$Q_v$	$Q_v = \int \phi_v dt$	lms
Radiant energy				Quantity of light			
Strahlungsfluß	$\Phi_e$	$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}$	Watt	Lichtstrom	$\phi_v$		lm
Radiant flux				Luminous flux			
Bestrahlungsstärke	$E_e$	$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA_E}$	$Wm^{-2}$	Beleuchtungsstärke	$E_v$	$E_v = \frac{d\phi_v}{dA_E}$	$lm m^{-2} = lx$
Irradiance				Illuminance			
Strahlstärke	$I_e$	$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$	$Wsr^{-1}$	Lichtstärke	$I_v$	$I_v = \frac{d\phi_v}{d\Omega}$	$lm sr^{-1} = cd$
Radiant intensity				Luminous intensity			
Strahldichte	$L_e$	$L_e = \frac{d^2\Phi_e}{d\Omega dA_s \cos\theta_1}$	$Wsr^{-1}m^{-2}$	Leuchtdichte	$L_v$	$L_v = \frac{d^2\phi_v}{d\Omega dA_s \cos\theta_1}$	$cd m^{-2}$
Radiance				Luminance			
				Pupillenlichtstärke			
				Retinal illuminance	$E_t$	$E_t = L_v \cdot A_p$	td= Leuchtdichte von $1 cd m^{-2}$ x Pupillen- fläche in $mm^2$
				in trolands			

Hierin bedeutet:

- t : Zeit
- $A_s$  : Strahlerfläche
- $A_E$  : Empfängerfläche
- $A_p$  : Pupillenfläche
- $\theta_1$  : Winkel zwischen Strahlrichtung und Strahlernormale
- $\Omega$  : Raumwinkel

Tabelle 2: Gebräuchliche Einheiten der Beleuchtungsstärke und ihre Zusammenhänge

	Lx	mlx	ph	fc
Lux = Lx	1	$10^3$	$10^{-4}$	$929 \times 10^{-2}$
Millilux = mlx	$10^{-3}$	1	$10^{-7}$	$929 \times 10^{-5}$
Phot = ph	$10^4$	$10^7$	1	929
Footcandle = fc	10,76	10760	$1,076 \times 10^{-3}$	1

Tabelle 3.: Gebräuchliche Einheiten der Leuchtdichte und ihre Zusammenhänge

	sb	cd/m <sup>2</sup>	cd/ft <sup>2</sup>	cd/in <sup>2</sup>	asb	L	mL	ftL
Stilb = cd/cm <sup>2</sup> = sb	1	$10^4$	929	6,45	31400	3,14	3140	2920
cd/m <sup>2</sup> = Nit = nt	$10^{-4}$	1	$9,29 \times 10^{-2}$	$6,45 \times 10^{-4}$	3,14	$3,14 \times 10^{-4}$	0,314	0,292
cd/ft <sup>2</sup>	$1,076 \times 10^{-3}$	10,76	1	$6,94 \times 10^{-3}$	33,8	$3,38 \times 10^{-3}$	3,38	3,14
cd/in <sup>2</sup>	0,155	1550	144	1	4870	0,487	487	452
Apostilb = asb	$3,18 \times 10^{-5}$	0,318	$2,69 \times 10^{-2}$	$2,05 \times 10^{-4}$	1	$10^{-4}$	0,1	$9,29 \times 10^{-2}$
Lambert = L oder la	0,318	3183	296	2,05	$10^4$	1	$10^3$	929
mL oder mla	$3,18 \times 10^{-4}$	3,18	0,296	$2,05 \times 10^{-3}$	10	$10^{-3}$	1	0,929
footlambert = equivalent footcandle = apparent footcandle = ftL oder ftla	$3,43 \times 10^{-4}$	3,43	0,318	$2,21 \times 10^{-3}$	10,76	$1,076 \times 10^{-3}$	1,076	1

## S c h r i f t t u m

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigung, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge;  
(Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) vom 15. März 1974.  
Bundesgesetzblatt, Teil 1 (1974), Nr. 27, S. 721-743.
- [2] Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) vom 23. Februar 1983.  
Beilage zum Bundesanzeiger Nr. 63 vom 31. März 1983.
- [3] Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) vom 16. Juli 1968.  
Beilage zum Bundesanzeiger Nr. 137 vom 26. Juli 1968.
- [4] Technischer Überwachungsverein Rheinland e.V.:  
Studie über Belästigungen durch Lichtimmissionen.  
Bericht Nr.: 32 70 14, 15. Juni 1978.
- [5] Technischer Überwachungsverein Rheinland e.V.:  
Arbeitsanleitung zur Ermittlung und Beurteilung von Immissionen durch Licht.  
Bericht Nr.: 320001, 04. September 1980.
- [6] GETZBERGER, J.:  
Auffälligkeit.  
Dissertation, München 1976.
- [7] ADRIAN, W.:  
Die Unterschiedsempfindlichkeit des Auges und die Möglichkeit ihrer Berechnung.  
Lichttechnik, 1 (1969), S. 2 A.

B i l d a n h a n g

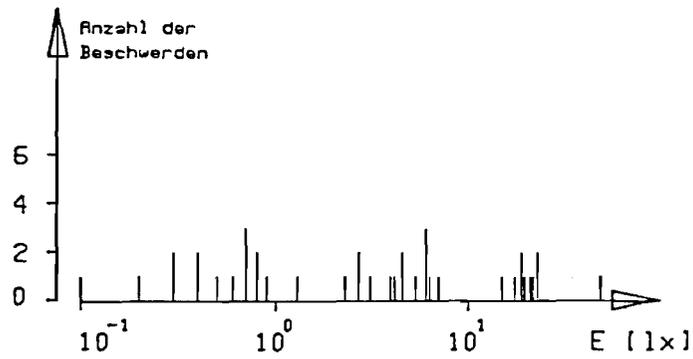


Abb. 1:  
Häufigkeitsfunktion der Lichtgestörten  
(die stochastische Variable "Beleuchtungsstärke" ist hier logarithmisch eingeteilt,  $n = 41$ )

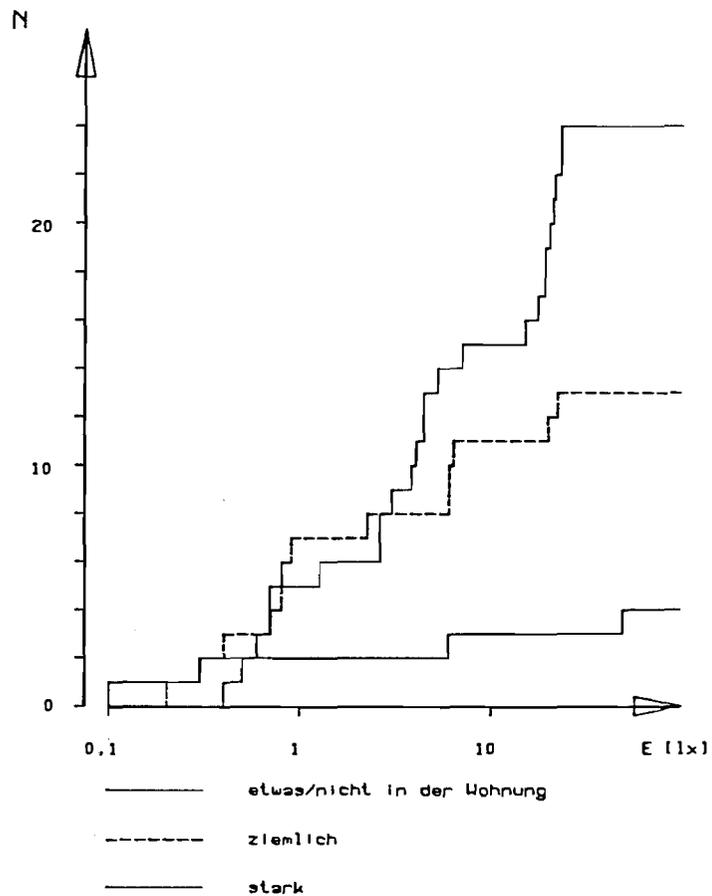


Abb. 2:  
Summenhäufigkeit der genannten Erhellungsgrade als Funktion der vertikalen Beleuchtungsstärke in der Fensterebene.

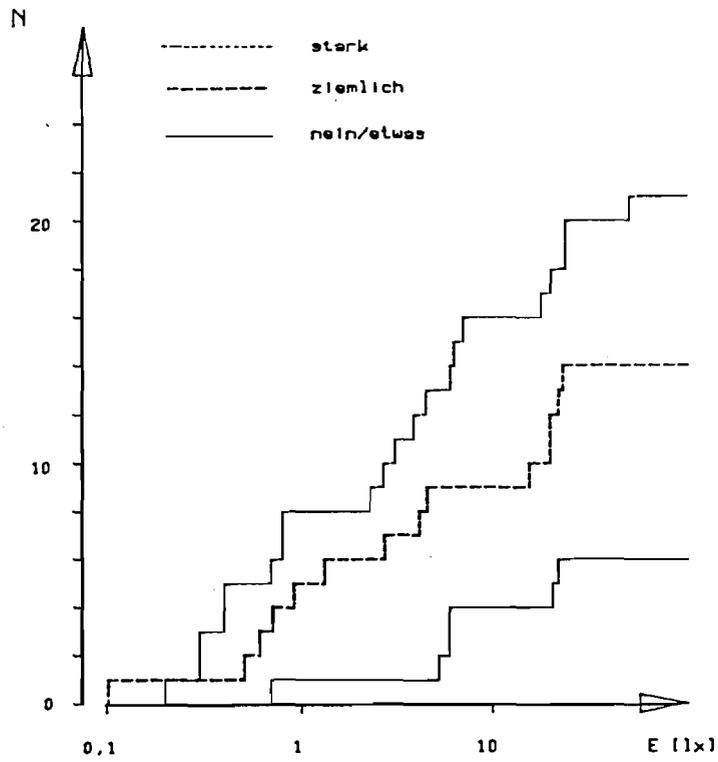


Abb. 3:

Summenhäufigkeit der angegebenen gesundheitlichen Beeinträchtigungsgrade als Funktion der Beleuchtungsstärke

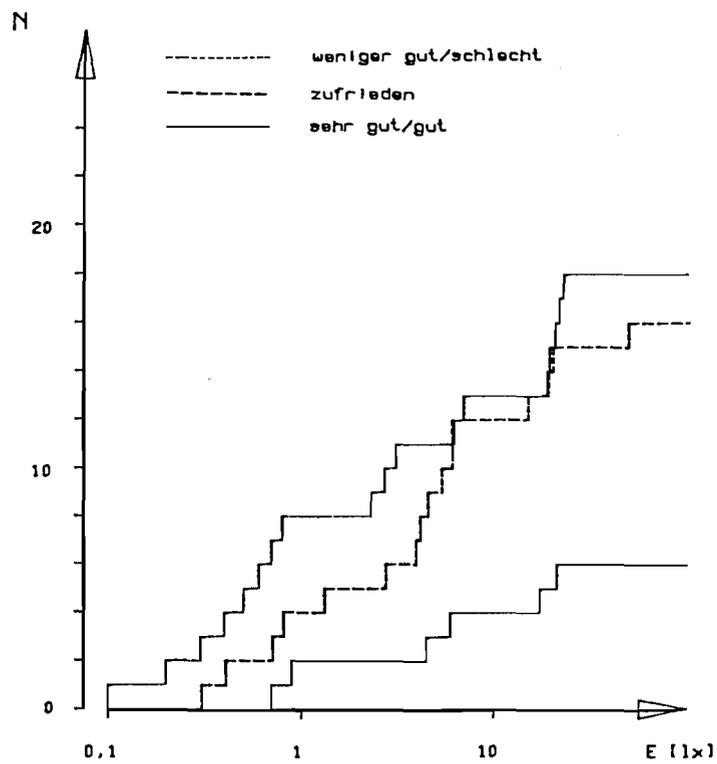


Abb. 4:

Summenhäufigkeit der angegebenen Grade der gesundheitlichen Selbsteinschätzung als Funktion der Beleuchtungsstärke

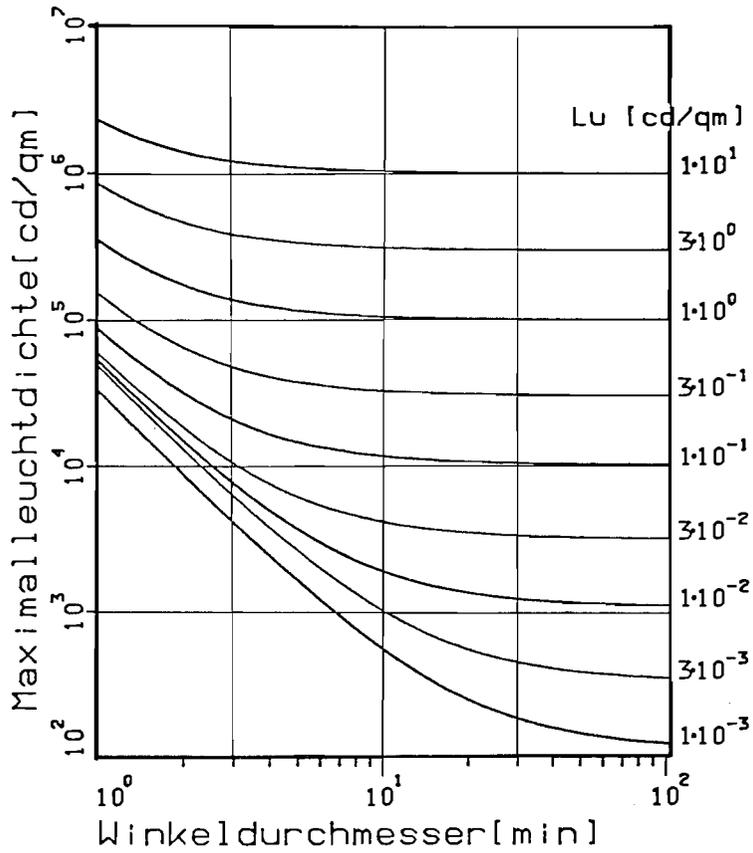


Abb. 5:

Die maximal tolerablen Leuchtdichten von Lichtquellen als Funktion der scheinbaren Lichtquellengröße, Parameter ist die wirksame Umfeldleuchtdichte

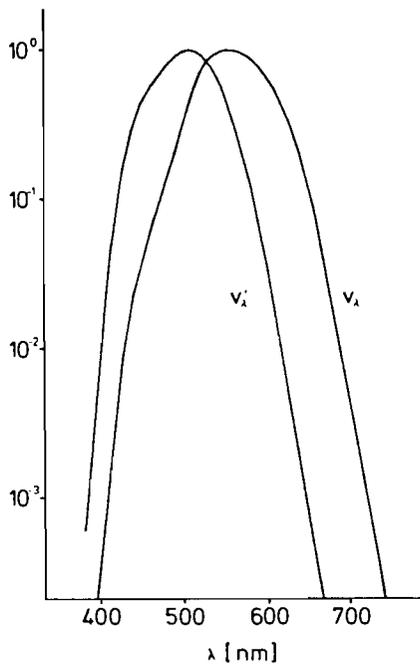


Abb. 6:

Spektrale Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges für den photopischen (Tagessehen) und den skotopischen (Nachtsehen) Leuchtdichte-Bereich

## MÖGLICHKEITEN ZUR BEURTEILUNG UND VERMINDERUNG VON LICHTIMMISSIONEN

Dr. B. Steck

## Z u s a m m e n f a s s u n g

Künstliches Licht ist für ein Leben in zivilisierten Verhältnissen unbedingt notwendig. Die Beleuchtungspflicht für öffentliche Verkehrswege und öffentliche Einrichtungen ergibt sich aus der Verpflichtung zur Sicherung der öffentlichen Ordnung und der Verkehrssicherungspflicht.

Belästigungen in Wohnräumen treten hauptsächlich durch Licht auf, das durch Wohnungsfenster eindringt. Für den Anteil des eindringenden Lichtstroms ist die auf den Fenstern herrschende Vertikal-Beleuchtungsstärke ausschlaggebend. Belästigungen im Freien können mit den für die Blendungsbewertung üblichen Methoden beurteilt und entsprechend gemindert werden.

Ausschlaggebend für das Ausmaß der Belästigung in beiden Fällen ist die Lichtstärkeverteilung der Leuchten. Sie muß durch entsprechende optische Mittel (Spiegelreflektoren) so gestaltet werden, daß das Licht zur Nutzfläche (Fahrbahn) hin gelenkt wird. Durch weitere Mittel, wie zusätzliche Abschirmbleche usw. kann stets erreicht werden, daß Belästigungen ausgeschlossen werden.

## S u m m a r y

Artificial light is absolutely necessary for life in civilization. The responsibility for illumination of public traffic ways and public institutions results from the responsibility for public security and for traffic safety.

Annoyances in living rooms mostly occur by light from street lighting fittings shining through the windows. The amount of the penetrating light flux depends on the vertical illuminance on a window.

Annoyance by light in the open air may be assessed by methods usual in assessing discomfort glare or in calculating disability glare. Immissions by light can be diminished or avoided by making use of these methods.

Most important for the amount of the annoyances in both cases is the luminous intensity distribution of the luminaires. It should be formed by adequate optical means like mirror reflectors in such a shape that the light flux is directed to the plane of utilance (the road surface). By additional means like interior screens in the luminaires in all cases it can be achieved, that light immissions can be avoided.

## 1. Notwendigkeit von künstlichem Licht

Die elektromagnetische Strahlung im optischen Bereich (UV-Strahlung, Licht, IR-Strahlung) ist nicht nur für den Sehvorgang von ausschlaggebender Bedeutung, sondern sie ist für lebensnotwendige biologische Vorgänge im menschlichen, tierischen und pflanzlichen Organismus verantwortlich. Die optische Strahlung, die die Erdoberfläche erreicht, ist schlichtweg Voraussetzung für das Leben auf der Erde, da sie den Energiebedarf der organischen Substanz für die Kohlen-säureassimilation in den Blättern der Pflanzen deckt und somit die Grundlage für unsere Ernährung darstellt.

Ohne Licht ist kein Leben möglich!

Für den Sehvorgang benötigen wir Licht bestimmter Qualität und Quantität, d.h. nicht irgendeine Beleuchtung, sondern eine Beleuchtung, die an die jeweiligen Tätigkeiten, ob Arbeit oder Erholung, unter Beachtung der lichttechnischen Güteermerekmale angepaßt ist.

Es ist keine Frage, daß wir mit dem uns zur Verfügung stehenden natürlichen Licht (Sonnenlicht, Tageslicht) allein nicht auskommen; auf die Erzeugung von künstlichem Licht können wir nicht verzichten.

Ein Leben in der Zivilisation ist ohne künstliches Licht undenkbar. Wir benötigen für Arbeit, für Transporte von Menschen und Gütern, für Sport, musische Tätigkeiten und Erholung Beleuchtung mit künstlichem Licht.

Die Notwendigkeit der Beleuchtung von Straßen und der übrigen Verkehrswege ergibt sich nicht nur aus den Anforderungen, die uns die Physiologie des Sehens aufzeigt, auch der Gesetzgeber verpflichtet z.B. die Gemeinden zur Sicherung der öffentlichen Ordnung und zur Sicherung des Straßenverkehrs und damit zur Beleuchtung von Straßen in bebauten Gebieten.

Aus diesen Pflichten der Gemeinden und Verkehrsträger leitet sich die Beleuchtungspflicht ab [1]. Hierbei ist darauf hinzuweisen, daß die Verantwortung für die Errichtung und den Unterhalt einer Straßenbeleuchtung stets bei der Gemeinde liegt, auch wenn die Gemeinde einen sog. Straßenbeleuchtungsvertrag mit einem Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) abgeschlossen hat.

Auch die Notwendigkeit zur Errichtung und zum Betrieb von Lichtsignalanlagen zur Regelung des Verkehrs ergibt sich aus der Verkehrssicherungspflicht.

Die Beleuchtung von Anlagen, die sozialen und kulturellen Betätigungen dienen, wie z.B. Sportanlagen, ist ebenfalls nicht nur nützlich und notwendig, sondern auch hier ein Gebot der allgemeinen Vorsorgepflicht, denn Breiten- und Leistungssport sind heute ein Teil der modernen Lebensqualität, sie dienen u.a. der Erhaltung von Gesundheit, Leistungskraft und Wohlbefinden, so daß auf die Beleuchtung von Sportstätten mit künstlichem Licht nicht verzichtet werden kann.

Bau und Betrieb von Lichtwerbeanlagen sind sicher bei der Frage nach ihrer

Notwendigkeit am umstrittensten. Aber auch derartige Anlagen haben eine Existenzberechtigung, auch sie werden im allgemeinen Interesse erstellt und betrieben. Selbstverständlich gilt hier, die Abwägung von berechtigten, z.T. sehr widerstrebenden Interessen besonders zu beachten.

So wenig das Recht auf Außenwerbung streitig gemacht werden darf, so wenig dürfen Vorschriften von Baubehörden, Ortssatzungen, Interessen des Landschafts-, Natur- und Denkmalschutzes verletzt werden. Ferner ist bei Lichtreklameanlagen darauf zu achten, daß die Eindeutigkeit von Lichtsignalanlagen nicht beeinträchtigt wird, d.h., Lichtreklameanlagen dürfen nicht mit Lichtsignalanlagen verwechselt werden können.

## 2. Was wird unter Lichtimmissionen verstanden?

Unter Immissionen allgemein werden schädliche Umwelteinflüsse verstanden, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit herbeizuführen [2].

Immissionen im Sinne des BImSchG sind u.a. Licht und Strahlen, die auf Menschen sowie Tiere, Pflanzen oder Sachen einwirken.

Unter Gefahr wird die Möglichkeit eines Schadenseintritts für die menschliche Gesundheit verstanden. Belästigungen sind Beeinträchtigungen des körperlichen und seelischen Wohlbefindens des Menschen.

Es sind bereits Gerichtsurteile ergangen, in denen Lichtimmissionen Gegenstand der Verhandlung waren.

In allen diesen Prozessen ging es nicht darum, ob vom Licht eine Gefahr für die menschliche Gesundheit ausgeht, sondern inwieweit Belästigungen - also Beeinträchtigungen des körperlichen oder seelischen Wohlbefindens vom Menschen - durch künstliches Licht ausgelöst werden.

Es hat den Anschein, als ob die stets subjektiv empfundene Störwirkung bzw. Beeinträchtigung des Wohlbefindens weitgehend von der persönlichen Einstellung der gestörten Personen zu den sie störenden Lichtquellen abhängt.

Belästigungen durch natürliche Lichtquellen, wie etwa durch die tiefstehende Sonne, werden allgemein als lange nicht so störend empfunden wie durch künstliche Lichtquellen. Doch auch bei künstlichen Lichtquellen scheint es Unterschiede in deren Beurteilung zu geben. Glühlampen werden nicht so kritisch beurteilt wie neuzeitliche Entladungslampen.

### 3. Welche lichttechnischen Größen können zur Beurteilung von Lichtimmissionen herangezogen werden?

Bei der Suche nach der Ursache der Störung und nach allgemein gültigen Maßstäben zur Beurteilung von Lichtimmissionen bietet sich zunächst das Phänomen der Blendung durch Lichtquellen bzw. Leuchten an.

Nach HARTMANN [3] ist für die Bewohner eines Hauses jedoch weniger die Blendung, sei es die physiologische oder die psychologische Blendung, relevant, sondern die allgemeine Aufhellung der Räume, die wiederum von der Vertikalbeleuchtungsstärke auf den Fenstern abhängt. Dies gilt zumindest für die Fälle, die HARTMANN im Rahmen seiner Forschungsarbeit untersucht hat.

Fühlen sich die Anwohner durch eine Straßenbeleuchtungsanlage gestört, so ist es das durch die Fenster eindringende Licht, das zu einer allgemeinen Aufhellung des Raumes beiträgt und als störend insbesondere in Schlafzimmern empfunden wird.

In anderen Fällen dagegen, wie z.B. einer evtl. Störung eines Verkehrsteilnehmers durch eine Flutlichtanlage eines Sportplatzes oder eines auf seiner Terrasse sitzenden Hausbewohners, der sich durch eine Straßenbeleuchtungsanlage gestört fühlt, kann ohne weiteres das Phänomen der Blendung als Beurteilungsmaßstab herangezogen werden. Zur Bewertung der Blendung muß hier auf die entsprechende lichttechnische Literatur verwiesen werden, insbesondere auf die beiden offiziellen Empfehlungen der Lichttechnischen Gesellschaft e.V. (LiTG), deren Inhalt auch in den entsprechenden Normen des DIN ihren Niederschlag gefunden hat [4 bis 8].

### 4. Lichttechnische Daten verschiedener Lichtquellen

#### 4.1. Natürliche Lichtquellen

Zur Beurteilung der Blendung ist die Leuchtdichte bzw. die Lichtstärke der Lichtquellen eine wichtige lichttechnische Größe, die wesentlichen Einfluß auf das Ausmaß der Blendung hat. Andererseits errechnet sich die Vertikalbeleuchtungsstärke auf einem Fenster aus der Lichtstärkeverteilung der störenden Leuchte. Es seien daher im folgenden einige interessierende lichttechnische Werte natürlicher und künstlicher Lichtquellen gegeben.

#### 4.2. Künstliche Lichtquellen - Lampen

Die Leuchtdichte künstlicher Lichtquellen, die für Beleuchtungs- und Signalzwecke verwendet werden, kommen bei weitem nicht an die Leuchtdichte der Sonne heran.

Die Leuchtdichte von Leuchtstofflampen erreicht lediglich die des blauen Himmels bzw. der weißen, sonnenbeschienenen Wolken.

Glühlampen und Hochdruck-Entladungslampen liegen wegen ihrer konzentrierten Leuchtsysteme in ihrer Leuchtdichte beträchtlich höher als Leuchtstofflampen.

Deshalb sollten solche Lampen unter keinen Umständen freibrennend bzw. nicht abgeschirmt betrieben werden.

Die Abbildungen 1 bis 4 zeigen Lichtstärkeverteilungskurven einiger typischer Leuchten für Zwecke der Straßenbeleuchtung und für die Beleuchtung von Fußgängerzonen, wie sie häufig anzutreffen sind.

Abbildung 5 zeigt die Lichtstärkeverteilung eines typischen Scheinwerfers für Flutlichtzwecke, wie er zur Beleuchtung von Sportplätzen, Tennisplätzen, Eislaufplätzen usw. eingesetzt wird.

Bei diesem Beispiel treten maximale Lichtstärken bis nahezu 180 000 cd auf. Durch die besondere Formgebung des Spiegelreflektors wird erreicht, daß das Streulicht in Ausstrahlungswinkeln oberhalb der optischen Achse beträchtlich geringer ist als unterhalb dieser Achse, was auch in den sog. Halbwerts- und Zehntelwertsbreiten zum Ausdruck kommt.

## 5. Z w e i p r a k t i s c h e F ä l l e

Ein Anwohner eines Reihenhauses beklagte sich über unzulässige Belästigung durch die Beleuchtungsanlage einer hinter dem Grundstück vorbeiführenden Kreisstraße, die sich mit einer Sammelstraße kreuzte.

Von der Terrasse des Reihenhauses konnten vier Lichtpunkte der Beleuchtung eingesehen werden. Die vier Maste bzw. die Leuchten waren zwischen 58 m und 87 m vom angenommenen Beobachter entfernt.

Drei Maste waren mit je zwei Leuchten, ein Mast mit drei Leuchten bestückt. Es konnten also insgesamt neun Leuchten eingesehen werden.

Aus der LVK der verwendeten Straßenleuchte geht hervor, daß es sich um eine abgeschirmte Leuchte der Blendungsklasse KB 1 nach DIN 5044 bzw. nach den Empfehlungen der CIE (Internationale Beleuchtungskommission) handelte [9].

Blendungsklasse 1 bedeutet, daß die Lichtstärken in Ausstrahlungswinkeln  $\gamma = 80^\circ$  und  $\gamma = 90^\circ$  auf 30 cd/klm bzw. auf 10 cd/klm reduziert sind.

Aus der Lichtstärkeverteilung und den geometrischen Daten der Anlage wurde nun die Vertikal-Beleuchtungsstärke auf dem Auge eines Beobachters ermittelt, der waagrecht in Richtung des nächstliegenden Mastes mit der größten Leuchtenbestückung (Dreifachanordnung) blickt.

Sämtliche neun Leuchten zusammen ergaben eine Beleuchtungsstärke auf dem Auge von insgesamt 0,133 lx.

Verglichen mit einer Beleuchtungsstärke von 0,25 lx bei Vollmond ist dieser Wert relativ gering.

Der Gutachter kam daher zu dem Schluß, daß die Beleuchtungsanlage keine unzumutbare Belästigung für die Anwohner darstellt und nicht zu beanstanden ist. Von einer erheblichen Belästigung durch Lichtimmission konnte keine Rede sein, wie zunächst vom Rechtsanwalt eines betroffenen Anwohners behauptet wurde.

In einem zweiten Fall beschwerte sich ein Hausbewohner ebenfalls über Belästigungen durch das Licht einer Straßenleuchte, die sich auf der gegenüberliegenden Straßenseite befindet. Die Leuchte war nur etwa 7 m von der Hauswand des Anwesens entfernt bei einer Lichtpunkthöhe von 6 m. Messungen der Vertikal-Beleuchtungsstärke auf der Hauswand, insbesondere auf dem unteren Fenster, durch das angesprochene EVU ergaben einen Wert von ca. 6 lx. Da dieser Wert relativ hoch war und über den von HARTMANN empfohlenen Wert von etwa 3 lx hinausgeht, wurde die Lichtstrahlung der Leuchte in Richtung zur gegenüberliegenden Hauswand durch eine zusätzliche, stirnseitige senkrechte Blende so verringert, daß die Vertikal-Beleuchtungsstärke auf dem Fenster praktisch auf einen Wert von unter 1 lx zurückging. Der Anwohner war mit dieser Abhilfsmaßnahme sehr zufrieden und sah davon ab, den Rechtsweg zu beschreiten.

#### 6. P r a k t i s c h e M ö g l i c h k e i t e n z u r V e r r i n - g e r u n g v o n B e l ä s t i g u n g e n d u r c h L i c h t - i m m i s s i o n e n

Wie die vorstehenden Ausführungen bereits gezeigt haben, ist die erste wichtige Maßnahme, allzu starke Lichtimmissionen durch Straßenbeleuchtungsanlagen zu vermeiden, die Verwendung von abgeschirmten Leuchten der Klasse I der Blendungsbegrenzung nach DIN 5044, d.h. Leuchten, deren Lichtstärke bei einem Ausstrahlungswinkel  $\gamma = 80^\circ$  gemessen vom Leuchtenfußpunkt aus nicht mehr als 30 cd/klm und bei einem Ausstrahlungswinkel von  $\gamma = 90^\circ$  nicht mehr als 10 cd/klm beträgt.

Steht eine Leuchte ziemlich nahe an einer Hauswand vor einem Fenster oder ist die Straße so eng, daß auch die gegenüberliegenden Fenster relativ stark beleuchtet werden, so kann es im Falle einer Beanstandung ratsam sein, durch zusätzlich anzubringende vertikale Blenden innerhalb der Leuchte oder durch entsprechende Maßnahmen wie etwa Abkleben des Leuchtenglases in den beanstandeten Ausstrahlungsrichtungen mit selbstklebender Alufolie eine weitere Abschirmung zu erreichen. Es ist bisher kein Fall bekannt geworden, wo Anwohner durch zusätzliche Abschirmungen nicht zufriedengestellt werden konnten.

Die Abbildungen 6 bis 10 zeigen, wie die Lichtverteilungskurven handelsüblicher Leuchten für Straßenbeleuchtungszwecke mit Hilfe von zusätzlichen Blenden, Abschirmblechen oder noch besser durch den Einbau von Spiegeloptiken so geändert werden können, daß das störende Licht entsprechend abgeschirmt bzw. umgelenkt wird.

## S c h r i f t t u m

- [1] SCHMIDT-SCHMIEDEBACH, H.:  
Rechtsfragen zur Straßenbeleuchtung.  
Lichttechnik, 29 (1977), S. 425 - 427,  
S. 462 - 465, S. 502 - 504.  
30 (1977), S. 32 - 33.
- [2] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen  
durch Luftverunreinigungen, Geräusche und Erschütte-  
rungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutz-  
gesetz - BImSchG) vom 15. März 1974.  
Bundesgesetzblatt, Teil I (1974), S. 721 - 743.
- [3] HARTMANN, E.:  
Untersuchungen zur belästigenden Wirkung von Licht-  
immissionen.  
Referat anlässlich des Kolloquiums "Messen und Beurteilen  
von Lichtimmissionen",  
bei der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes  
NRW am 27.03.1984 in Essen.
- [4] ADRIAN, W.:  
Grundlagen der physiologischen und psychologischen  
Blendung und ihre Darstellung.  
Lichttechnik, 27 (1975), S. 312.
- [5] Methoden zur Ermittlung und Bewertung der Blendung  
durch ortsfeste Straßenbeleuchtung.  
Empfehlungen der Lichttechnischen Gesellschaft e.V.,  
Berlin 1981.
- [6] Begrenzung der Direktblendung nach DIN 5035.  
Empfehlungen der Lichttechnischen Gesellschaft e.V.,  
Berlin 1976.
- [7] DIN 5035: Innenraumbelichtung mit künstlichem Licht
- [8] DIN 5044: Ortsfeste Verkehrsbeleuchtung
- [9] Glare and Uniformity in Road Lighting Installations.  
CIE-Publication, (1976), Nr. 31.

T a b e l l e n - u n d B i l d a n h a n g

Tabelle 1: Leuchtdichte in  $\text{cd}/\text{cm}^2$  einiger natürlicher Lichtquellen

	<u><math>\text{cd}/\text{cm}^2</math></u>
Mittagssonne (im Zenith)	170.000
blauer Himmel (wolkenlos)	0,3 ... 0,5
weiße, sonnenbeschienene Wolke	1,0
bedeckter Himmel	7.800
im Zenith, Hochsommer um die Mittagszeit (keine Sonne)	
Vollmond	0,4 ... 0,5
klares Wetter	

Tabelle 2: Lichtstärke in cd einiger natürlicher Lichtquellen

	<u>cd</u>
Mittagssonne	$2,6 \cdot 10^{27}$
Vollmond	$3,8 \cdot 10^{16}$

Tabelle 3: Beleuchtungsstärke in lx erzeugt durch natürliche Lichtquellen

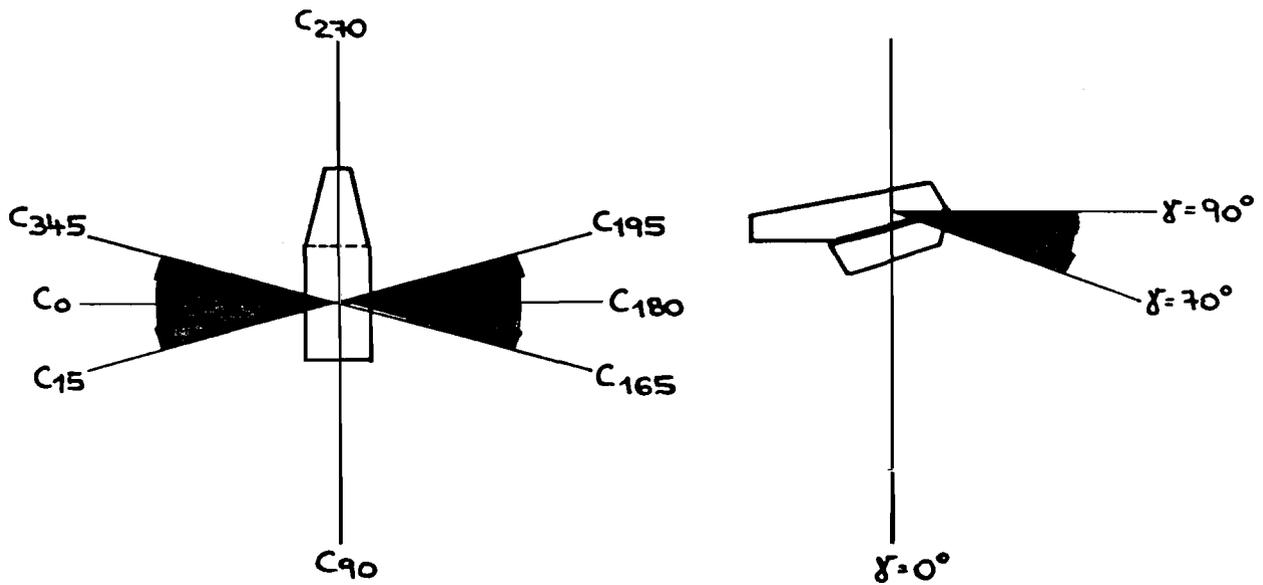
	<u>lx</u>
im Freien, im Hochsommer um die Mittagszeit	max. 120.000
bei bedecktem Himmel (keine Sonne)	7.000 ... 19.000
bei Vollmond	0,25

Tabelle 4: Leuchtdichte in  $\text{cd}/\text{cm}^2$  einiger für Beleuchtungszwecke verwendeter Lampen

	<u><math>\text{cd}/\text{cm}^2</math></u>
Allgebrauchs-Glühlampen, i-matt	5 ... 40
Allgebrauchs-Glühlampen, klar	300 ... 2.500
Leuchtstofflampen	0,4 ... 1,5
Quecksilberdampf-Hochdrucklampen mit Leuchtstoff	4 ... 25
Natriumdampf-Hochdrucklampen mit Beschlämmung	4 ... 10
Natriumdampf-Hochdrucklampen mit klarem Kolben	150 ... 300

Tabelle 5: Blendungsbegrenzung

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



C-Ebenen- und  $\gamma$ -Ausstrahlungswinkel-Bereich, in dem die Lichtstärken zur Blendung beitragen.

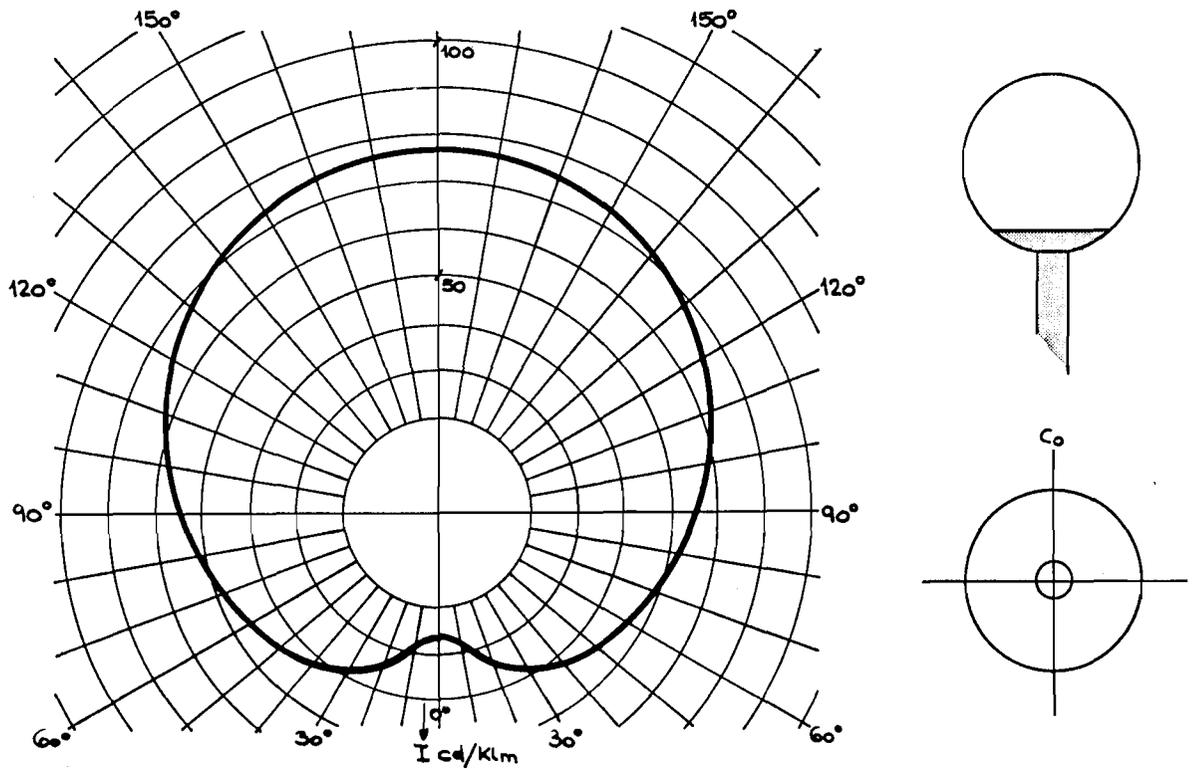


Abb. 1: Lichtstärkeverteilung einer Mastaufsatzleuchte in Kugelform mit Opalglas.

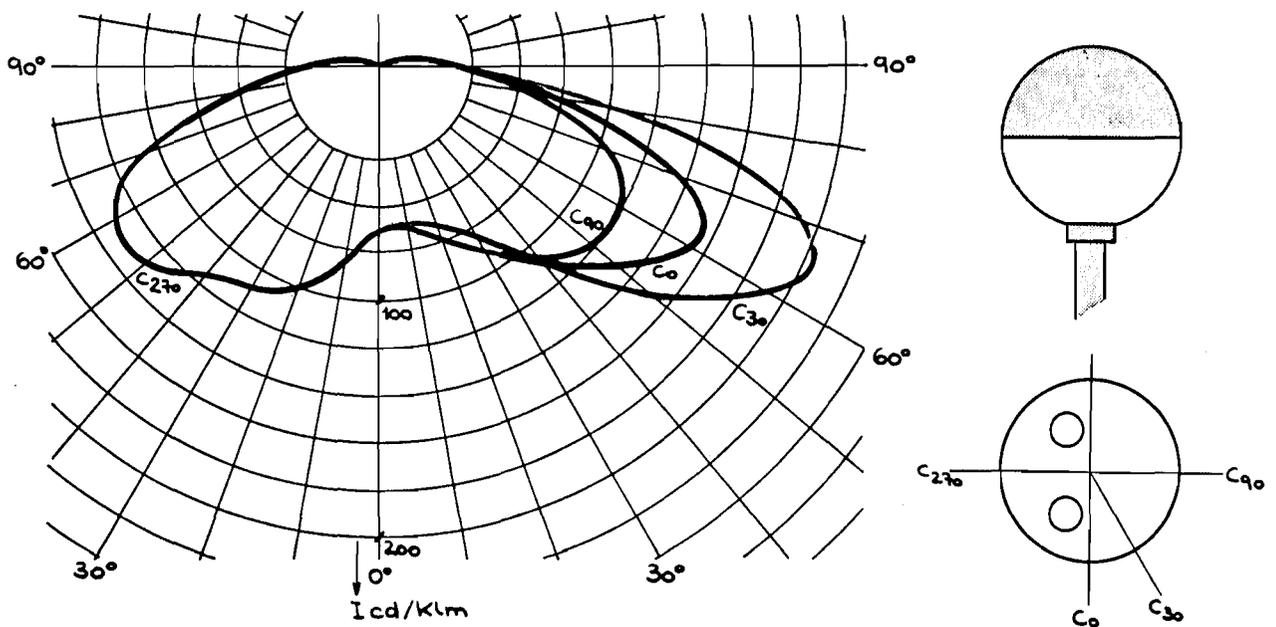


Abb. 2: Lichtstärkeverteilung einer Mastaufsatzleuchte in Kugelform. Die obere Halbkugel besteht aus einem innen hochglanz-eloxierten Spiegel; dadurch wird die LVK abgeschirmt und das Licht nach unten gelenkt.

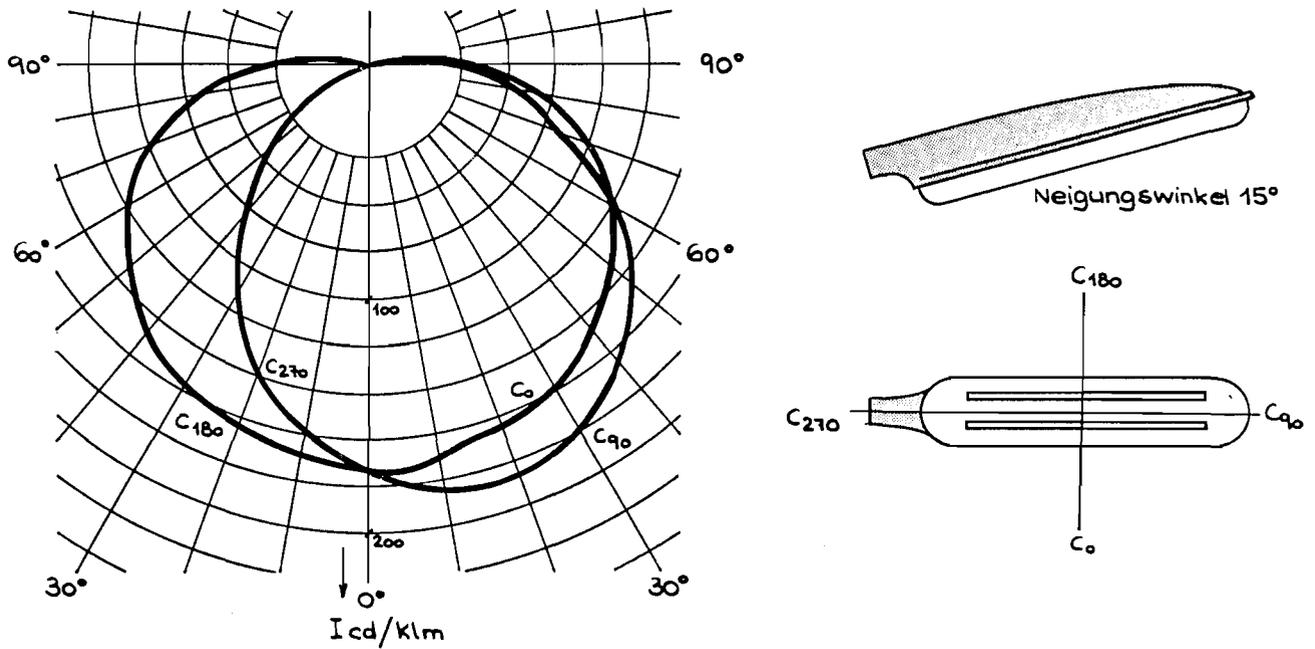


Abb. 3: Lichtstärkeverteilung einer Mastaufsatzleuchte für zwei Leuchtstofflampen 40 W.

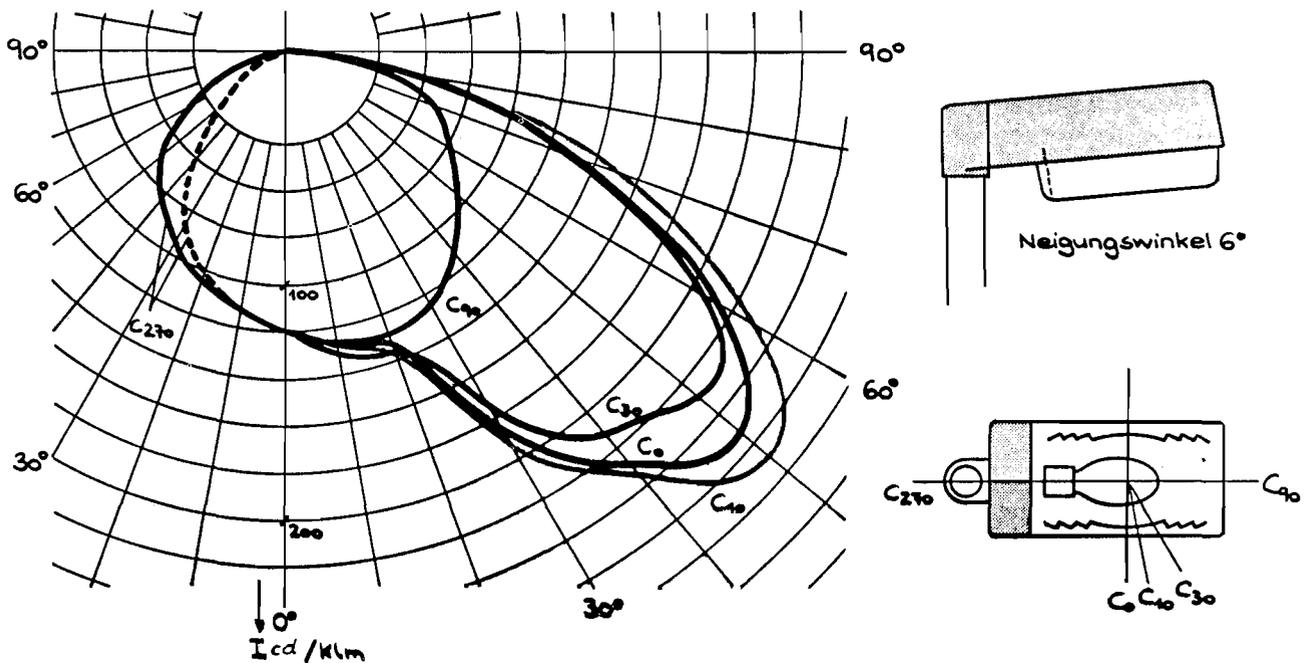


Abb. 4: Lichtstärkeverteilung einer Mastaufsatzleuchte für eine Quecksilberdampf-Hochdrucklampe 125 W. Die gestrichelt eingetragene LVK in der C<sub>270</sub>-Ebene ergibt sich durch Einfügen einer zusätzlichen mastseitigen Blende (gestrichelt eingezeichnet).

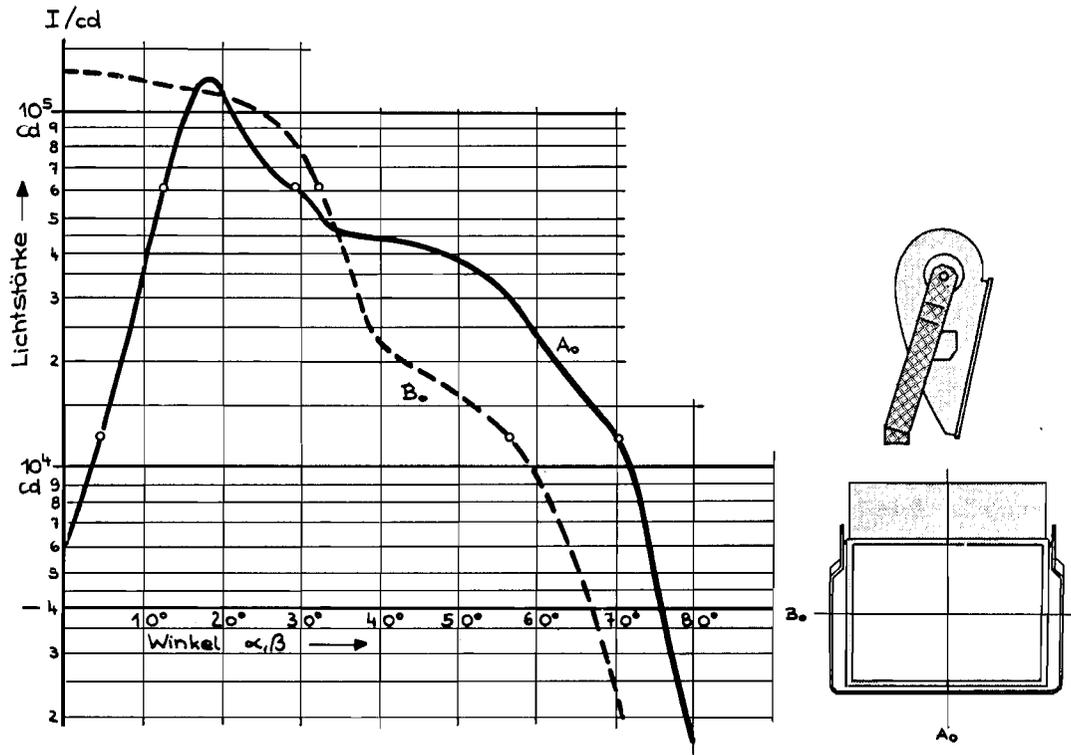


Abb. 5: Lichtstärkeverteilung eines Scheinwerfers für Flutlichtzwecke bestückt mit einer röhrenförmigen Halogen-Metall dampflampe 2000 W mit Klarglaskolben.

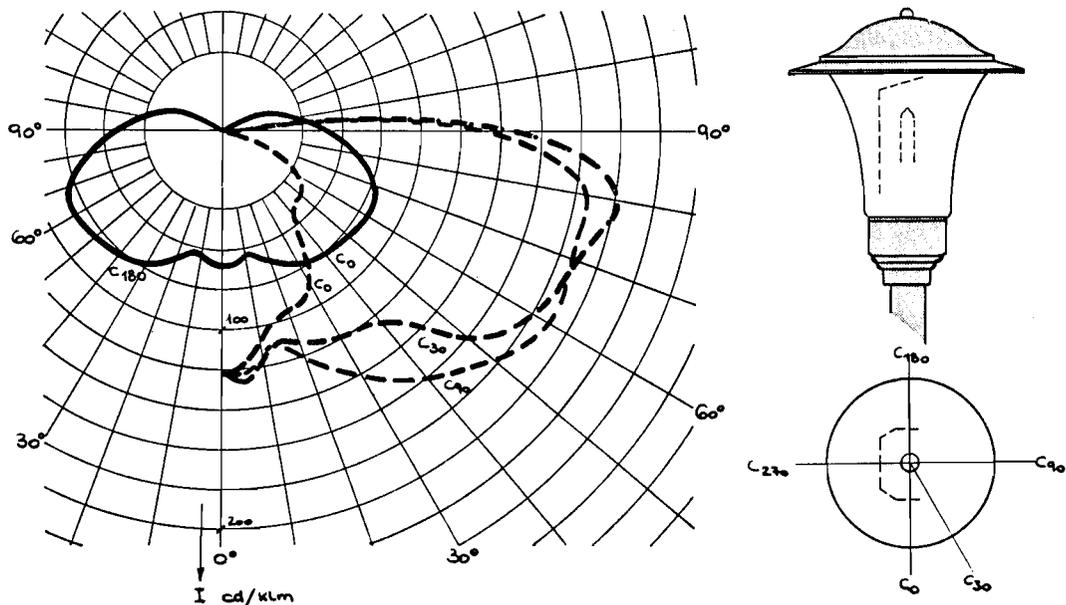


Abb. 6: Lichtstärkeverteilung einer pilzförmigen Mastaufsatzleuchte

ausgezogene Kurve: Leuchte freistrahlend  
 Glas: weiß-opal  
 gestrichelte Kurve: Leuchte mit einem zusätzlichen Rinnenspiegel-Reflektor versehen, der das Licht zur Hausseite hin nahezu vollständig zur Straße umlenkt. Anstelle des opal-weißen Glases wird hier ein strukturiertes, klares Glas verwendet.

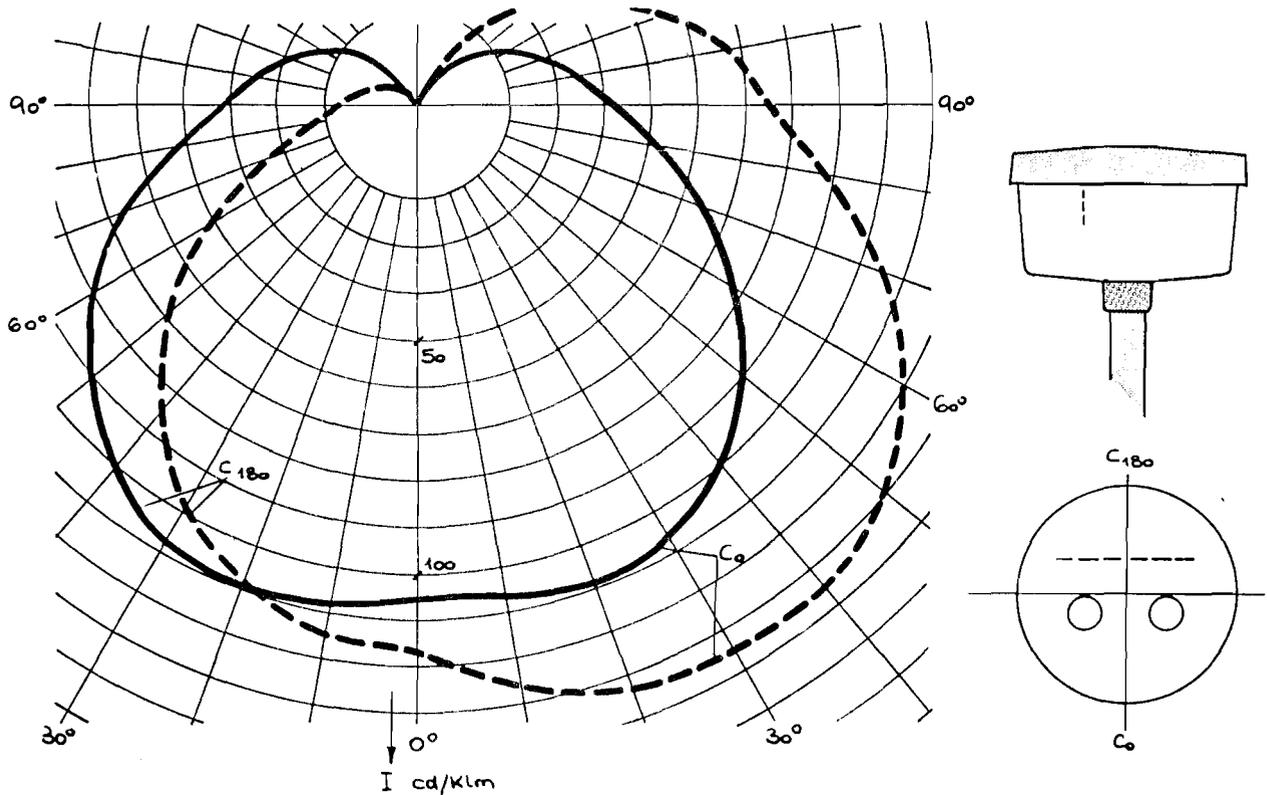


Abb. 7: Lichtstärkeverteilung einer Mastaufsatzleuchte in Zylinderform mit weiß-opalem Glas (ausgezogene Kurve). Durch zusätzlichen Einbau eines weißen Abschirmbleches wird die Lichtstärkeverteilung asymmetrisch (gestrichelte Kurve).

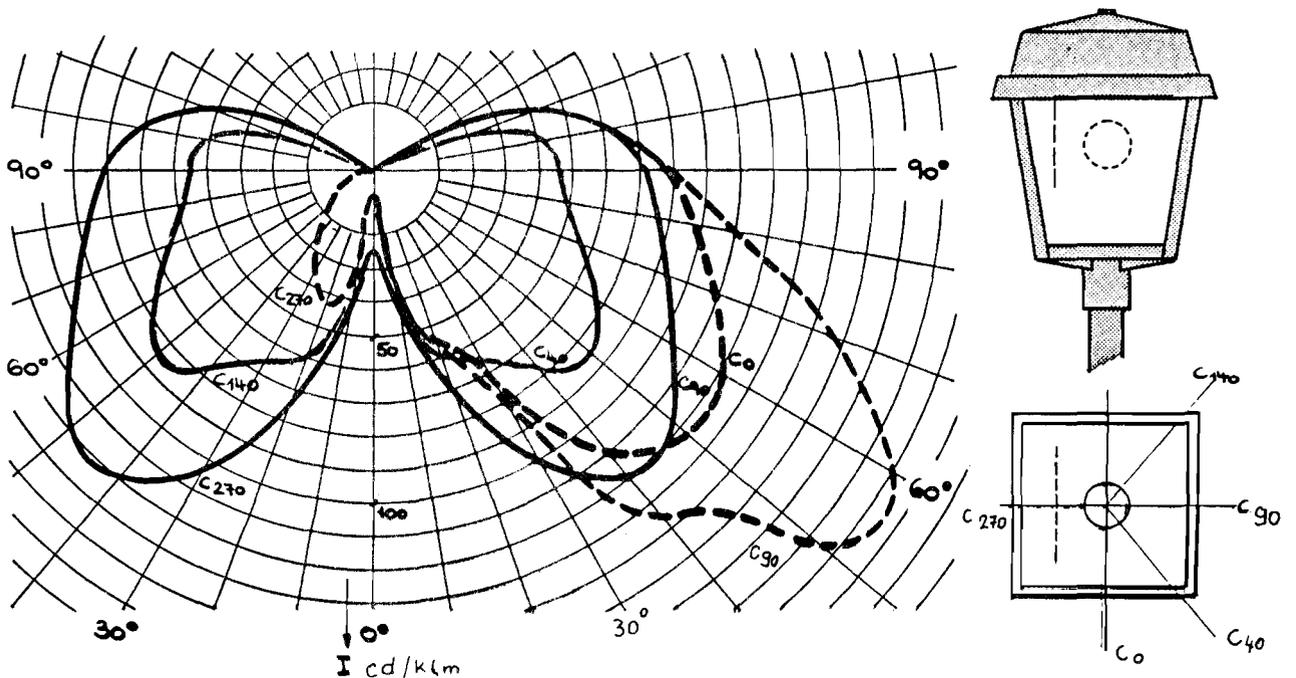


Abb. 8: Lichtstärkeverteilung einer Leuchte in Laternenform. Die Leuchte besitzt in ihrer Normalausführung einen Planspiegel oberhalb der Lampe (ausgezogene Kurven). Wird der Planspiegel nach einer Seite hin abgeknickt, wird das Licht mehr zur gegenüberliegenden Seite geworfen (gestrichelte Kurven).

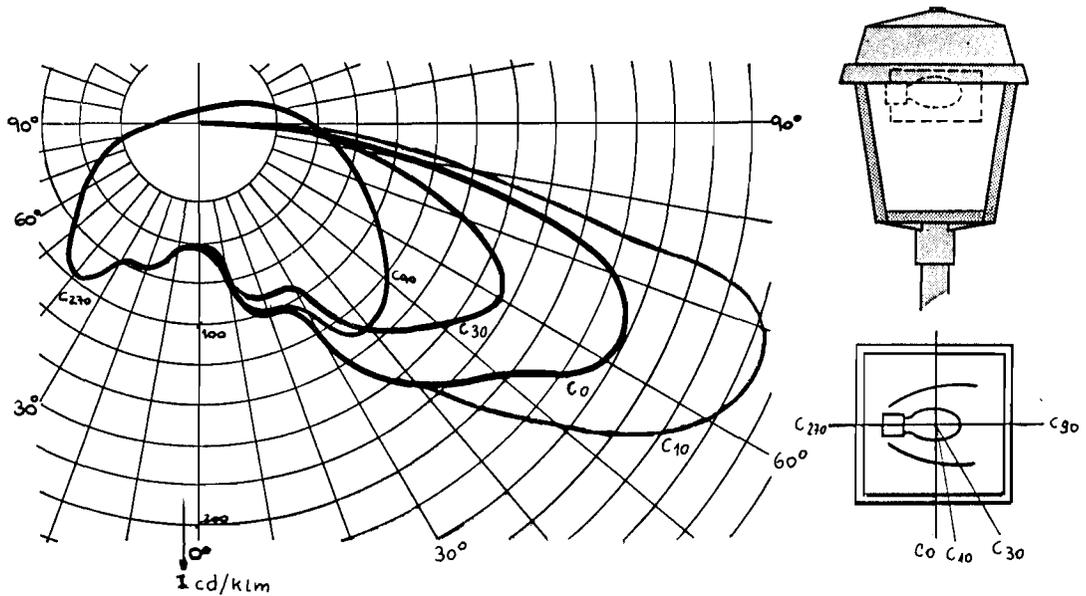


Abb. 9: Die gleiche Leuchte wie in Abb. 8 jedoch mit einer schalenförmigen Spiegeloptik ausgerüstet sowie waagrecht angeordneter Lampe. Das Licht wird hierbei hauptsächlich auf die Fahrbahn gelenkt.

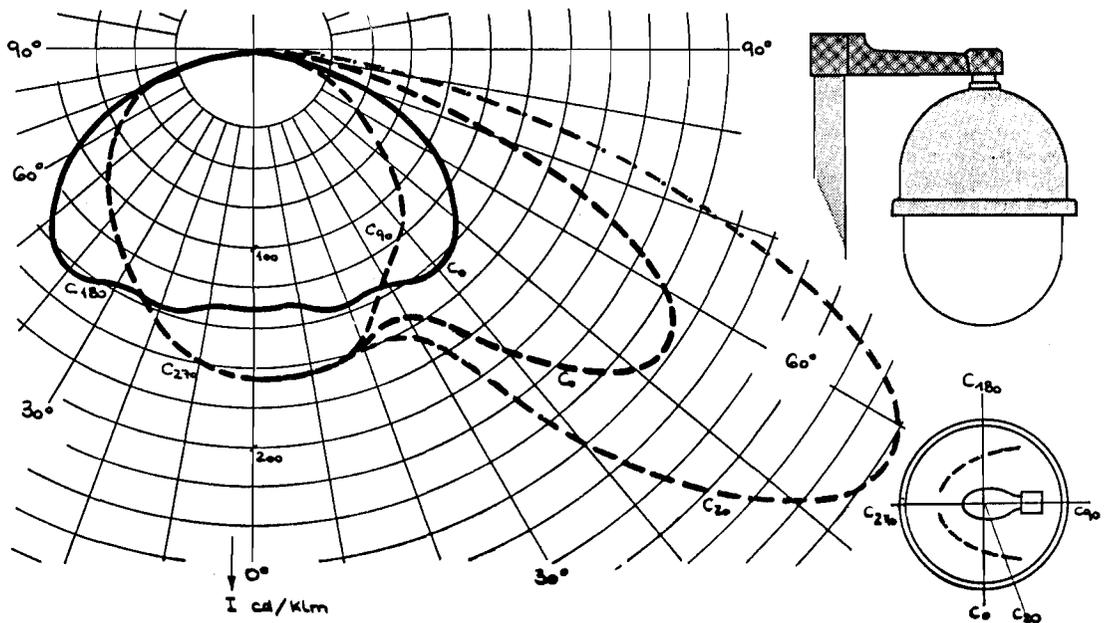


Abb. 10: Lichtstärkeverteilung einer Hängeleuchte. Die ausgezogene Kurve gilt für eine Leuchte, deren Körper innen weiß beschichtet ist, Anordnung der Lampe hängend. Die gestrichelten Kurven für die gleiche Leuchte jedoch mit schalenförmiger Spiegeloptik und waagrecht angeordneter Lampe.

VORSTELLUNG EINER ARBEITSANLEITUNG ZUR ERMITTLUNG UND BEURTEILUNG VON  
IMMISSIONEN DURCH LICHT - VON EINER STUDIE ZUM MESSVERFAHREN -

Dr. E. Brewig

Z u s a m m e n f a s s u n g

Lichtimmissionen lassen sich durch die folgenden beiden Meßgrößen erfassen:  
Horizontalbeleuchtungsstärke in Fenster-Ebene und mittlere Leuchtdichte mit  
einem festen Meßfeld von rund 5° Winkeldurchmesser.

Die Richtwerte hierfür lauten nach neueren Erkenntnissen z.T. umgerechnet:

3 lx für die Horizontalbeleuchtungsstärke,  
4.2 cd/m<sup>2</sup> für die mittlere Leuchtdichte bei dunkler Umgebung.  
Für aufgehellte Umgebung gelten entsprechend höhere Werte  
bis zu einem Maximum von 480 cd/m<sup>2</sup>.

S u m m a r y

Ambient light can be characterized by the following quantities: the horizontal  
illumination in the window plane and the average luminance with a fixed field  
of measurement of 5 degree diameter.

The guide values for these quantities based on recent findings are:

3 lx for the horizontal illumination,  
4.2 cd/m<sup>2</sup> for the average luminance in a dark environment.  
For bright environments the values rise in accordance with the  
brightness up to a maximum value of 480 cd/m<sup>2</sup>.

## 1. Einleitung

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 15.03.1974 erkennt ausdrücklich mögliche, schädliche Lichteinwirkungen an. Gelegentliche Beschwerden über Lichteinwirkungen, blendungsbedingte Unfälle und Unfälle durch die Lichtstrahlung selbst (Schweißen, Laser) veranlaßten den Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW vor knapp 8 Jahren, nach Inkrafttreten des BImSchG den TÜV-Rheinland mit einer Literaturstudie zum Thema Lichteinwirkungen zu beauftragen. Neben der umfassenden Literatur-Übersicht war es eines der Ziele des Vorhabens, eine geeignete Beschreibung von Lichtimmissionen zu finden. Im Mai 1977 wurde diese Studie dem Minister vorgelegt.

## 2. Die Beschreibung der Lichtimmissionen

Die Beschreibung der Lichteinwirkung beginnt mit der Festlegung des Wellenlängenbereiches. Das sichtbare Licht reicht von etwa 380 nm bis 780 nm. Diese Einschränkung engt zugleich die zu betrachtende Wirkung der Strahlung ein. Denn elektromagnetische Strahlung aus diesem Spektralgebiet entfaltet seine Wirkung nur auf der Oberfläche. Nur beim Auge scheint dies auf den ersten Blick anders zu sein, weil hier die durchsichtigen Teile das Licht in den Körper einlassen. Die Wirkung beschränkt sich aber auch dort auf die Oberfläche der Netzhaut. Es treten jedenfalls keine unmittelbaren Schäden in tieferen Gewebeschichten ein. Dies sind aber nicht die einzigen, denkbaren Schäden. Im Vordergrund der untersuchten Wirkungen des Lichtes steht letztlich die allgemeine Gefahr gesundheitlicher Schäden, sei es direkt durch die Strahlung oder indirekt durch Blendung oder durch Minderung der Erholung. Man muß also unter anderem unterscheiden, ob die Gefahr einer Schädigung durch die Strahlung selbst eintreten kann, oder ob eine Einwirkung unterhalb der dazu nötigen Schwellen vorliegt.

Es hat sich während der Bearbeitung herausgestellt, daß die Schädigungsschwellen und die dazugehörenden Meßverfahren anwendungsgerecht bekannt waren. Hierüber hat es auch nie divergierende Diskussionen gegeben. Auf diese Schwellen und auf die dazugehörenden Nachweismethoden soll im Rahmen dieses Vortrages nicht eingegangen werden (s. z.B. VDE 0837E - Laser -). Hingegen hat sich die Beschreibung der Immission durch Licht unterhalb der Schädigungsschwellen als eine Herausforderung erwiesen. Unterschreitet die Strahlungsleistung den Bereich unmittelbarer Schädigung, stößt die Beschreibung in den Bereich der verwickelten Informations-Verarbeitung durch den Menschen vor.

Ich gehe davon aus, daß Ihnen die Fülle der Blendungsbewertungen bewußt ist. Unser Versuch, diese Blendungsbewertungen einigermaßen übersichtlich zusammenzustellen, nimmt etwa ein Drittel des Umfangs unserer Studie in Anspruch, wenn man von den Beispielen einmal absieht. Wofür sind diese Blendungswertungen aber geschaffen? Da geht es einmal um die Leuchtenform und -anordnung in Arbeitsräumen und deren Akzeptanz durch das Personal, zum anderen finden wir Möglichkeiten zur Beurteilung der Ausleuchtung von Arbeitsfeldern, um ein fehlerarmes Arbeiten zu gewährleisten. Hierhin würde ich auch die Beurteilung von Straßen-

beleuchtungsanlagen einordnen. Der zuerst genannte Bereich umfaßt im wesentlichen die sogenannte psychologische, der zweite die physiologische Blendung. Es ist ferner noch auf die Absolutblendung hinzuweisen, bei der das Auge mit Leuchtdichten konfrontiert wird, die die Adaptionsfähigkeit übersteigen. Nach einer solchen Absolutblendung wird die Sehfähigkeit für gewisse Erholungszeiten meßbar herabgesetzt. Die Schwelle hierfür liegt derart hoch (ca. 100 000 cd/m<sup>2</sup>), daß die beiden anderen Blendungsarten und deren Beurteilung bereits vorher greifen. Deshalb möchte ich darauf nicht weiter eingehen.

Ich möchte betonen, daß wir in unserer Studie offen lassen wollten, ob und wenn ja welches der bestehenden Blendungs-Bewertungssysteme für die spezifischen Belange des Immissionsschutzes ausgebaut und eingeführt werden sollte. Ich glaube, daß dieser Weg auch bis zur Stunde nicht verbaut worden ist. Andererseits möchte ich Ihre Aufmerksamkeit auf jene spezifischen Belange des Immissionsschutzes und einige Nachteile der bestehenden Verfahren lenken. Im Immissionsschutz finden wir sendeseitig Lichtquellen-Anordnung und Lichtverteilungsflächen ohne jede Einschränkung. Auf der Empfängerseite finden wir die Gefahr gestörter Sehaufgaben wie auch Störungen des Wohlbefindens - also sowohl physiologische als auch psychologische Blendung. Auf wissenschaftlicher Ebene haben wir keine Schwierigkeiten, zunächst die Art der Blendung, dann die Art der Beleuchtungssituation festzustellen, und danach das adäquate Beurteilungsverfahren auszusuchen. Unser Meßverfahren und unsere Meßgrößen werden wir dann so auswählen, daß die Situation damit beschrieben und beurteilt werden kann. Diese Art des der Situation sehr fein angepaßten Vorgehens erschien uns für den praktischen Immissionsschutz nicht gangbar. In der überwiegenden Zahl der Fälle muß sich die Beurteilung auf einige wenige Meßwerte und sonstige Daten und auf deren lineare Verknüpfung beschränken. Die Beurteilung der Standardfälle muß also schnell und ohne besondere Kosten möglich sein. Natürlich sehe ich auch die Gefahr, daß sich das einmal eingeführte Verfahren über seine Bereichsgrenzen hinaus verselbstständigt. Da diese Gefahr aber auch bei allen Alternativen gilt, sahen wir keine Veranlassung, an dieser Stelle unsere Überlegungen einzustellen.

Versuche mit Personen waren damals nicht Gegenstand der Studie. Diese Art der Grundlagenforschung sollte den Hochschulinstituten vorbehalten bleiben. Entsprechende Studien sind inzwischen durchgeführt, und man kann hoffen, daß sie demnächst veröffentlicht werden [9]. Für die Studie haben wir uns ersatzweise überlegt, welchem Minimal-Modell der Bilderfassungs-Sinn des Menschen entspricht, und zu welchen Abschätzungen man dadurch gelangt. Unser Minimal-Modell geht vom FECHNER-Gesetz und von der sogenannten "Schwarzgrenze" aus. Das FECHNERSche Gesetz besagt, daß das Auge Helligkeitsunterschiede proportional zur bestehenden Helligkeit in einer gewissen Umgebung wahrnimmt. Dies bedeutet, daß gleichartig empfundene Helligkeitsstufen in heller Umgebung erheblich größer sein müssen als in dunkler. Die Schwarzgrenze beschreibt das Leuchtdichte-Verhältnis, das höchstens herrschen darf, wenn Kontraste zwischen dunklen Punkten in der Nähe heller Bildpunkte noch erkennbar sein sollen. Dieser Wert liegt zwischen 35 und 100 je nach Situation und Literaturstelle.

Aus der im allgemeinen stochastischen Verteilung der Kontraststufen innerhalb des Gesichtsfeldes läßt sich abschätzen, wie groß der Bildverlust bei Blendung mindestens sein wird. Offen bleibt hier, ab welchem Bildverlust die Blendung unerträglich wird. Das subjektive Empfinden "unerträglich" wird wohl bei etwa 30 % Bild-Informationsverlust einsetzen. Wir hatten eigentlich gehofft, daß man diese Schwelle, die im wesentlichen nur vom Verhältnis der Blendleuchtdichte zur mittleren Leuchtdichte abhängt, kurzfristig schließen könnte. Soweit mir bekannt ist, wurden Versuche mit dieser Zielrichtung bisher nur im Institut für medizinische Optik der Universität München durchgeführt. Und dies auch erst vor relativ kurzer Zeit. Soweit das "ausführliche Verfahren".

Dieses Verfahren ist für den praktischen Einsatz zu aufwendig. Legt man aber für die Erfassung der Lichtquelle und ihrer unmittelbaren Umgebung eine nicht zu kleine, feste - für das Verfahren einmal festzulegende - Meßfeldblende zugrunde, erhält man vereinfachend und in gewissen Grenzen einen Proportional-Zusammenhang zwischen dem Leuchtdichte-Verhältnis zum Umfeld und dem Bildverlust durch Blendung. Der Quotient liegt bei der relativ großen Meßfeldblende (Winkeldurchmesser ca. 5 Grad) zwischen 40 und 100. Es sei darauf hingewiesen, daß bei Betrachtung der wahren - vom Meßfeld unabhängigen - Blend-Leuchtdichte wesentlich höhere Leuchtdichtverhältnisse tolerierbar sind (ca. 10 000). Ferner zeigt die Praxis, daß bei Umfeld-Leuchtdichten unter  $0,1 \text{ cd/m}^2$  auf diesen Wert zu beziehen ist. Neuere Untersuchungen [9] rechtfertigen dieses Verfahren. Auch nach unserem Minimal-Modell läßt sich hierfür eine plausible Begründung angeben. In dunkler Umgebung, also insbesondere nachts, liefern nur einzelne weit auseinander liegende Lichtpunkte die wesentlichen Beiträge zur Bildinformation. Der Informationsverlust durch Blendung durch einen relativ kleinen Raumwinkel um die Blendlichtquelle ist deshalb sehr stark eingeschränkt. Diese Einschränkung kann durch das Festhalten des Nenners leicht nachgebildet werden, ohne das "ausführliche" oder andere Verfahren zu bemühen.

Arbeitsanleitung:  
-----

#### Anforderung an die Meßgeräte

Luxmeter zur Bestimmung der Beleuchtungsstärke:

- Meßbereich: 0,05 lx bis 500 lx
- mit "sehr guter" spektraler Anpassung an die  $V(\lambda)$ -Kurve nach DIN 5031, Teil 2
- Genauigkeit: Güteklasse A nach DIN 5032, Teil 7 (E), (Gesamtmeßfehler  $\leq 5 \%$ )

Photometer zur Bestimmung der Leuchtdichte:

- Meßbereich:  $0,1 \text{ cd/m}^2$  bis  $10^6 \text{ cd/m}^2$
- mit "sehr guter" spektraler Anpassung an die  $V(\lambda)$ -Kurve nach DIN 5031, Teil 2

- Genauigkeit: Güteklasse A nach DIN 5032, Teil 7 (E), (Gesamtmeßfehler  $\leq 7,5 \%$ )
- Meßfelder: verschiedene Meßfelder ab 5' Winkeldurchmesser (davon eine mit 5°)

Zu den verwendeten Meßgeräten sollten im Labor (oder auch eingebaut) Kalibrier- oder Test-Normale vorhanden sein. Ferner sollten die Meßgeräte für rechtserhebliche Messungen entsprechend DIN 5032, Teil 6 (E), alle zwei Jahre von einer anerkannten Stelle kalibriert werden.

### Meßgrößen

Vom Ort der Störung aus sind folgende Größen zu bestimmen [8, 9]:

- 1) Falls die Lichtquelle vom Immissionsort zu sehen ist:
  - die Leuchtdichte der störenden Lichtquellen (n)
  - die Sehwinkelgröße der Lichtquelle
  - die Leuchtdichte des Umfeldes ohne Lichtquelle (bei ungleichmäßiger Leuchtdichteverteilung ist der arithmetische Mittelwert zu bilden.
- 2) Die horizontale Beleuchtungsstärke in der Fensterebene des betroffenen Raumes.

### Erfassung der Blendung

Zur Erfassung der Blendeinwirkung sollte in der Reihenfolge der nachstehenden Punkte vorgegangen werden:

1. Messung der Adaptionsleuchtdichte im wesentlichen Gesichtsfeld ohne Blendquelle ( $L_m$ ).  
Die Meßanordnung kann aus einem Beleuchtungsstärkemesser bestehen, der mit einem innen geschwärzten, aufgesetzten zylindrischen Rohr so abgeblendet wird, daß er nur noch einen Winkelbereich von  $\pm 60^\circ$  zur Normalen erfaßt (Blendquelle ausgeschlossen).
2. Messung der Leuchtdichte  $L^*$  der Blendquelle.
3. Ermittlung der Raumwinkel
  - a) der Blendquelle  $\Omega = F/a^2$  in sr (Steradian)  
(F= Fläche der Blendquelle in  $m^2$ , a= Abstand zum Meßsystem oder Betrachter in m)
  - b) des Meßsystems (Meßfeldblende)  $\Omega_B$  in sr, möglichst  $\Omega_B = 2 \cdot \pi / 1000$ .

4. Bezug der gemessenen Leuchtdichte  $L^*$  auf einen einheitlichen Raumwinkelbereich

$$L_{0,1} = \frac{L^* \cdot \Omega^* \cdot p}{0,002 \cdot \pi} + L_u \quad (4)$$

mit

$L^*$  = Leuchtdichte der Blendquelle gemessen mit einer Meßflächenblende von  $\Omega_B$  sr. Die Blendquelle selbst nimmt den Raumwinkel  $\Omega^*$  ein.

$$\Omega^* = \Omega^* \quad \text{für } \Omega^* \geq \Omega_B$$

$$\Omega^* = \Omega_B \quad \text{für } \Omega^* < \Omega_B$$

Anmerkung:

-----

Bezogen wird auf das 0,1-Perzentil des wesentlichen Gesichtsfeldes. Würde man mit einer Meßfeldblende von  $0,002 \cdot \pi$  das Maximum der Leuchtdichte der Blendquelle abtasten, so würde der Meßwert in Näherung als Mittelwert über den Raumwinkel noch etwa zur Hälfte überschritten, d.h., das 0,1-Perzentil des wesentlichen Gesichtsfeldes mit Blendquelle wird etwa durch den Meßwert über  $0,002 \cdot \pi$  repräsentiert. Hier wird eine Maximalabschätzung vorgenommen, weil der gesamte Lichtstrom auf den Raumwinkel von  $0,002 \cdot \pi$  "konzentriert" wird.

$L^* \cdot \Omega^*$  ist die Beleuchtungsstärke  $E^*$ , die die Blendquelle am Beobachtungsort erzeugt. Kann  $E^*$  durch einen Beleuchtungsstärkemesser direkt gemessen werden (Ausblenden der sonstigen Umgebung) oder aus der Lichtstärke  $I^*$  der Blendquelle und deren Abstand zum Beobachter mit

$$E^* = \frac{I^*}{a^2} = L^* \cdot \Omega^* \quad (5)$$

berechnet werden, dann gilt unmittelbar (Zahlenwerte ausgerechnet):

$$L_{0,1}^* = 160 \cdot E^* + L_u \quad (6)$$

5. Berücksichtigung der zeitlichen Leuchtdichteänderung der Blendquelle:

Die zeitliche Änderung der Leuchtdichte der Blendquelle (Flimmern) kann als Spezialfall der Blendung aufgefaßt werden, da zu bestimmten Zeiten hohe Leuchtdichten auftreten können. Sie kann daher in der vorliegenden Blendungsbeurteilung durch einen Faktor  $z$  berücksichtigt werden. Für Blendquellen mit zeitlich konstanter Leuchtdichte ist  $z = 1$ . Zur Ermittlung dieses Zusatzgliedes sind folgende Daten erforderlich:

- a) Ermittlung des konstanten Grundlichtanteils  $L_g$  ( $\text{cd/m}^2$ ) der Blendquelle (z.B. durch Abschalten der Wechsellicht-Quellen).
- b) Grundfrequenz  $f$  (Hz) (z.B. Zahl der Lichtwechsel/s).
- c) Grundwellenquotient  $G$  = halber Wert des Verhältnisses aus der Amplitude der Grundwelle zum arithmetischen Mittelwert der Leuchtdichte.
- d) Ermittlung des zeitlichen Mittelwertes  $L_{mt}$  ( $\text{cd/m}^2$ ) des modulierten Anteils der Leuchtdichte von Einzelwerten oder Messung mit einem "trägen" Meßgerät.
6. Ermitteln der Frequenzbewertungsfunktion  $h(f)$  des Auges für zeitlich veränderliche Lichteindrücke:

$$h(f) = \frac{a + \beta}{\beta \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-a} + a \left(\frac{f}{f_0}\right)^{\beta}} \quad (7)$$

mit

$f$  = Grundfrequenz der zeitlichen Leuchtdichteänderung und Vorschlag für folgende Parameter:

$$f_0 = 6,5 \text{ Hz}$$

$$a = 0,5$$

$$\beta = 2,0$$

Daraus und aus den anderen Größen wird eine Hilfsgröße  $x$  berechnet:

$$x = \begin{cases} 2 \cdot G \cdot h, & \text{wenn } < 1 \\ 1 & \text{sonst} \end{cases}$$

Mit Hilfe von  $x$  bestimmt man einen Faktor, mit dem das Verhältnis  $(L_{mt} + L_g) / L_u$  zu multiplizieren ist, bevor ein Vergleich mit dem zulässigen Wert vorgenommen wird:

$$z = \frac{1 + x}{1 - x} < 70 \quad *)$$

Die Grenze auf der rechten Seite gilt für den Fall  $x$  gegen oder gleich 1.

- \*) Man kann aus dem gemessenen Mittelwert der Leuchtdichte ( $L_m$ ) deren Maximum durch  $L_m (1 + 2 \cdot G)$  abschätzen.

Tabelle: Grundwellenquotient für einige Wellenformen

Wellenform	G
sehr kurze Impulse	1,000
Sinus-Halbwellen	0,795
Rechteckform bei gleichen Hell- und Dunkelzeiten	0,637
Sinusform	0,500
Dreieck	0,405
Sägezahn	0,318
Lichtstromverlauf einer Leuchstofflampe (40 W) hinter Drossel	0,147

### Zeit der Messungen

Die Meßzeit ist so zu wählen, daß die angezeigten Meßwerte für die Lichtimmissionen kennzeichnend sind. Das wird in der Regel erst nach Ende der Abenddämmerung gewährleistet sein. Auf spezielle Eigenarten der Lichtquellen (z.B. Reduzierung der Intensität ab einer bestimmten Uhrzeit) ist zu achten und gegebenenfalls im Meßprotokoll zu vermerken. Bei außergewöhnlichen Verhältnissen (Schneedecke, Nebel, starke Sichtbehinderung durch Regen etc.) sollten keine Lichtmessungen vorgenommen werden.

### Berücksichtigung von Hintergrundbeleuchtung

Bei Immissionen von mehreren und unterschiedlichen Lichtquellen (Straßenbeleuchtung, Lichtreklame, Vollmond etc.) ist durch geeignete Meßverfahren, z.B. Abschattung gegenüber den anderen Lichtquellen, der Anteil der einzelnen Beleuchtungsarten zu ermitteln und im Meßprotokoll festzuhalten. Liegt der Anteil einer Lichtquelle unter 10 % des Gesamtmeßwertes, so braucht er nicht berücksichtigt zu werden.

### Meßprotokoll

Die Meßwerte sind in einem Protokoll festzuhalten. Das Protokoll muß neben den Meßwerten eine eindeutige Bezeichnung der Meßorte und die erforderlichen Angaben über die Uhrzeit, Datum, Wetterlage und Meßgeräte enthalten.

Beispiele für Anlage eines Meßprotokolls (nach [9]):

Ort, Datum und Zeit der Messung

Name des Messenden

Lageplan: Horizontale und vertikale Entfernungen zwischen Lichtquelle(n) und Immissionsort

Art, Form und Anbringung der Lichtquelle(n)

Leuchtdichte(n) und Lichtquelle(n)

Größe der Lichtquelle(n)

Farbe der Lichtquelle(n)

verwendete Meßgeräte (Typ, Meßbereich,...)

Meßwerte: eventuell für einzelne Meßpunkte und Lichtquellen getrennt

Wetterbedingungen

Besonderheiten:

- Beschreibung des Emissionsortes (Art der Straße, des Industriegeländes oder des Sportfeldes)
- Bauliche Nutzung im Einwirkungsbereich der Lichtquelle nach Baunutzungsverordnung
- Hinweis auf besondere Auffälligkeiten z.B. Flackern, räumliche Struktur

### Vergleichswerte

Zulässiger Immissionsrichtwert für die Beleuchtungsstärke

-----

Die vertikale Beleuchtungsstärke von Primärlichtquellen in der Fensterebene des betroffenen Wohnraumes darf ohne Hintergrundbeleuchtung einen Wert von 3 lx nicht überschreiten [9].

Zulässige Emissionswerte für die Leuchtdichte kleiner Lichtquellen

-----

Um den zulässigen Wert für die Beleuchtungsstärke einhalten zu können, darf, gemessen mit einem Meßfeld von  $0,002 \cdot \pi$ , der angezeigte Wert nicht größer sein als  $480 \text{ cd/m}^2$ .

Ferner wird die abgelesene Leuchtdichte auf die mittlere Umgebungsleuchtdichte bezogen, wobei mindestens der Wert  $0,1 \text{ cd/m}^2$  eingesetzt wird.

Dieses Verhältnis darf bei der verwendeten relativ großen Meßfeldblende den Wert 42 nicht übersteigen.

Die Grenze ergibt sich durch Ersatz der in der Abb. 1 dargestellten Grenzkurven durch Geraden konstanter Beleuchtungsstärke mit Knick in der Abszissenrichtung, wenn das Verhältnis  $10\ 000 : 1$  (Maximalleuchtdichte/Umgebungsleuchtdichte) unterschritten wird (Beispiel für 1E - 01 Kurve K). Diese Beurteilung ist bei Lichtquellen unter 10 Winkelminuten um den Faktor 3 "milder" als es den durchgezogenen Kurven entspricht.

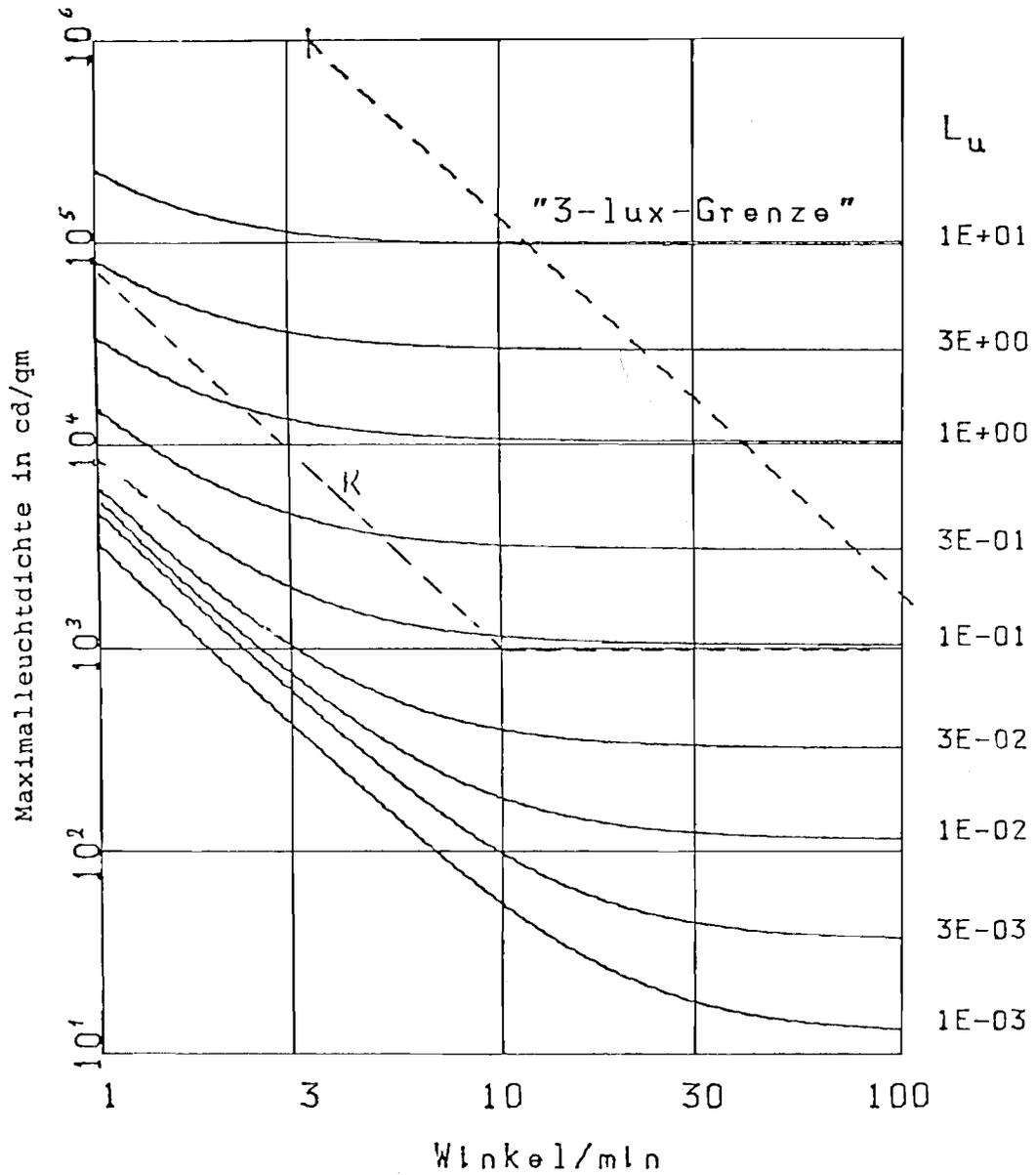


Abb. 1: Die maximal tolerablen Leuchtdichten von Lichtquellen als Funktion der scheinbaren Lichtquellengröße, Parameter ist die wirksame Umfeldleuchtdichte nach [9]\*)

\*) Ordinaten-Skala links so justiert, daß  $L_{\max}/L_u \geq 10000$

## S c h r i f t t u m

## DIN 5031:

## Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik

- [1] Teil 1: Formelzeichen und Einheiten in der Strahlungsphysik (Oktober 1976).
- [2] Teil 2: Strahlungsbewertung durch Empfänger (Mai 1977).
- [3] Teil 3: Größen, Formelzeichen und Einheiten der Lichttechnik (Mai 1977).
- [4] Teil 7: Benennung der Wellenlängenbereiche (September 1976).

## DIN 5032: Lichtmessung

- [5] Blatt 5: Messung der Beleuchtung (August 1975).
- [6] Handbuch für Beleuchtung, 4. Auflage, Essen: Verlag W. Girardet 1975.
- [7] KREITZ, H.A.E.:  
Lichtberechnungen und Lichtmessungen, 2. Auflage,  
Eindhoven: Philips Technische Bibliothek 1967.
- [8] Studie "Belästigungen durch Lichtimmissionen".  
Bericht Nr. 327014 des TÜV Rheinland vom 15.06.1978  
im Auftrag des Ministers für Arbeit, Gesundheit und  
Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen.
- [9] Private Mitteilung aus dem Institut für medizinische  
Optik der Universität München.

Prof. Dr. J. Krochmann

### Z u s a m m e n f a s s u n g

Eine Beurteilung von Lichtimmissionen kann nur auf Grund von Meßergebnissen erfolgen. Da Lichtimmissionen fast nur bei Dunkelheit stören (mesopisches Sehen), ist dem bei Leuchtdichtemessungen Rechnung zu tragen. Meßgrößen sind besonders die äquivalente Leuchtdichte, die Beleuchtungsstärke und die äquivalente Schleierleuchtdichte.

Die Möglichkeiten zur Messung der relevanten Größen werden behandelt. Normen über die Kennzeichnung und Klasseneinteilung von Photometern lassen sich bedingt auch für Lichtimmissionsmessungen verwenden. Der sorgfältigen Kalibrierung der verwendeten Photometer und der Korrektur der Meßergebnisse kommen besondere Bedeutung zu. Die genannten Aspekte werden ausführlich behandelt.

### S u m m a r y

An evaluation of light immissions is possible on the basis of measured results only. Quantities to be measured are mainly luminance, equivalent veiling luminance and illuminance. The low luminance levels must be taken into account (mesopic vision). The possibilities for the measurement of the different quantities are described. The characterization of the photometers used for the measurement of light immissions are nearly the same as for other photometers. An accurate calibration of the photometers and the correction of measured results are important. Detailed information on the mentioned topics is given.

## 1. Einführung

Lichtimmissionen stören im wesentlichen nur während der Dunkelstunden. Sie können die Sicherheit oder das Wohlbefinden der Menschen beeinflussen. Wegen des im allgemeinen geringen Helligkeitsniveaus der Lichtimmissionen - zum Vergleich liegt die durch Mondlicht erzeugte Horizontalbeleuchtungsstärke zwischen 0,1 lx [1] und 0,25 lx [2] - sind die für den mesopischen Bereich maßgebenden Eigenschaften des menschlichen Auges zu berücksichtigen. Damit unterscheiden sich die hier zu behandelnden lichttechnischen Messungen von den in der allgemeinen Beleuchtungstechnik auszuführenden.

Eine Beurteilung der Helligkeit störender Lichtimmissionen kann auf Grund der äquivalenten Leuchtdichte [3] erfolgen. Die Beleuchtungsstärke, die nur bedingt als mesopische Größe verwendbar ist, kann als weitere zu messende Größe genannt werden.

Für die Beurteilung der physiologischen Blendung kann die Messung der äquivalenten Schleierleuchtdichte [4] erforderlich sein. Auch hier ist die spektrale Bewertung entsprechend dem Adaptationsniveau zu berücksichtigen.

## 2. Spektrale Hellempfindlichkeitsgrade des menschlichen Auges

Das menschliche Auge bewertet Strahlung nach ihm eigenen relativen spektralen Bewertungsfunktionen (spektrale Hellempfindlichkeitsgrade [5]). Diese hängen von der Adaptationsleuchtdichte ab. Nach der Norm [5] unterscheidet man (Bild 1):

- den spektralen Hellempfindlichkeitsgrad für Tagessehen  $V(\lambda)$
- den spektralen Hellempfindlichkeitsgrad für Nachtsehen  $V'(\lambda)$
- die spektralen Hellempfindlichkeitsgrade für mesopisches Sehen  $V_{eq}(\lambda)$ .

## 3. Äquivalente Leuchtdichte

Die "Helligkeit" von Lampen und Gegenständen wird auf Grund ihrer Leuchtdichte beurteilt. Im Adaptationsbereich von  $10^{-5}$  cd/m<sup>2</sup> bis  $10^2$  cd/m<sup>2</sup> bewertet das menschliche Auge die Strahlung nach den in der Norm [5] beschriebenen spektralen Hellempfindlichkeitsgraden  $V_{eq}(\lambda)$  (Übergangsfunktionen). Die photometrische Strahlungsbewertung in diesem (mesopischen) Bereich erfolgt durch die äquivalente Leuchtdichte  $L_{eq}$  [3].

$$L_{eq} = K_{m,eq} \int_0^{\infty} L_e \cdot V_{eq}(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1)$$

$L_{eq}$             äquivalente Leuchtdichte  
 $K_{m,eq}$         Maximalwert des photometrischen Strahlungs-  
                  äquivalentes im mesopischen Bereich, abhängig  
                  von  $L_{eq}$

$V_{eq}(\lambda)$	spektraler Hellempfindlichkeitsgrad im mesopischen Bereich, abhängig von $L_{eq}$
$L_{e\lambda}$	spektrale Strahldichte

Für eine Adaptationsleuchtdichte von  $10^{-5}$  cd/m<sup>2</sup> geht die äquivalente Leuchtdichte in die skotopische Leuchtdichte (spektrale Bewertung nach  $V'(\lambda)$ ) über. Bei Adaptationsleuchtdichten oberhalb von 100 cd/m<sup>2</sup> tritt im allgemeinen die Leuchtdichte mit einer spektralen Bewertung nach  $V(\lambda)$  auf.

Für praktische Zwecke können die Grenzen des mesopischen Bereichs mit  $L_{eq} = 10^{-3}$  cd/m<sup>2</sup> und  $L_{eq} = 10$  cd/m<sup>2</sup> angenommen werden.

#### 4. L i c h t s t ä r k e e i n h e i t

Im internationalen Einheitssystem ist die Candela (cd) als Einheit der Lichtstärke als lichttechnische Basiseinheit aufgeführt [6]. Daraus sind die weiteren in der Lichttechnik üblichen Einheiten - das Lumen (lm) für den Lichtstrom und das Lux (lx) für die Beleuchtungsstärke - abgeleitet.

Nach der Definition der Candela [7] gilt für monochromatische Strahlung der Wellenlänge  $\lambda = 555$  nm in Luft unabhängig vom spektralen Hellempfindlichkeitsgrad des menschlichen Auges:

$$I_V(\lambda = 555 \text{ nm})/\text{cd} = 683 \text{ lm/W} \quad I_e(\lambda = 555 \text{ nm})/\text{W/sr} \quad (2)$$

$I_V(\lambda = 555 \text{ nm})$  Lichtstärke monochromatischer Strahlung bei  $\lambda = 555 \text{ nm}$

$I_e(\lambda = 555 \text{ nm})$  Strahlstärke [8] bei monochromatischer Strahlung bei  $\lambda = 555 \text{ nm}$ .

Daraus ergibt sich der Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalentes  $K_{m,eq}$  (Gleichung 1) im mesopischen Bereich als Funktion der äquivalenten Leuchtdichte (Bild 2, Tabelle 1) [3] zu

$$K_{m,eq} = \frac{683}{V_{eq}(\lambda = 555 \text{ nm})} \quad \text{lm/W} \quad (3)$$

Zu jeder der in DIN 5031 Teil 1 [8] aufgeführten strahlungsphysikalischen Größen gibt es entsprechende lichttechnische Größen, und zwar eine für Tagessehen und eine für Nachtsehen:

für Tagessehen (photopischer Bereich)

$$X_V = K_m \cdot \int X_{e\lambda} \cdot V'(\lambda) \cdot d\lambda \quad (4)$$

für Nachtsehen (skotopischer Bereich)

$$X'_{\nu} = K'_m \cdot \int X_{e\lambda} \cdot V'(\lambda) \cdot d\lambda \quad (5)$$

$X_{\nu}$	die lichttechnische Größe für Tagessehen
$X'_{\nu}$	die lichttechnische Größe für Nachtsehen
$K_m = 683 \text{ lm/W}$	Maximalwert des photometrischen Strahlungs- äquivalentes für Tagessehen
$K'_m = 683 \text{ lm/W}$	Maximalwert des photometrischen Strahlungs- äquivalentes für Nachtsehen
$X_{e\lambda}$	spektrale Dichte der $X_{\nu}$ entsprechenden strahlungsphysikalischen Größe.

Für den mesopischen Bereich ist nur die äquivalente Leuchtdichte  $L_{eq}$  definiert. Hilfsweise lassen sich jedoch auch andere lichttechnische Größen entsprechend definieren.

In der Photometrie wird im allgemeinen von einer photometrischen Bewertung nur für die lichttechnischen Größen für Tagessehen gesprochen [9]. Bei in der Praxis verwendeten Photometern ist daher in der Regel die relative spektrale Empfindlichkeit des Photometerkopfes an den spektralen Hellempfindlichkeitsgrad für Tagessehen  $V(\lambda)$  angepaßt.

## 6. Direkte Bestimmung der äquivalenten Leuchtdichte

### 6.1. Vorschlag von BODMANN/KOKOSCHKA [10]

BODMANN und KOKOSCHKA geben ein Verfahren zur Messung der äquivalenten Leuchtdichte an, das sich auf die Definition der spektralen Hellempfindlichkeitsgrade  $V_{eq}(\lambda)$  stützt. Bild 3 gibt das Schema zur Messung der äquivalenten Leuchtdichte  $L_{eq}$  an. Danach sind insgesamt vier Größen zu ermitteln, die sich durch Bewertung der einfallenden Strahlung nach den Normspektralwertfunktionen [11] für den  $10^{\circ}$ -Beobachter  $\bar{x}_{10}(\lambda)$ ,  $\bar{y}_{10}(\lambda)$ ,  $\bar{z}_{10}(\lambda)$  und dem spektralen Hellempfindlichkeitsgrad für Nachtsehen  $V'(\lambda)$  ergeben. Diese Größen werden danach rechnerisch ausgewertet und führen zu einer direkten Angabe der äquivalenten Leuchtdichte. Dieses Verfahren führt zu genauen Ergebnissen, ist jedoch wegen der Verwendung von vier verschiedenen angepaßten Photometerköpfen (bzw. eines Photometerkopfes mit vier nacheinander einzufügenden spektralen Bewertungen) aufwendig, wenn keine Spektralmessungen gemacht werden sollen.

### 6.2. Umrechnung der Leuchtdichte für Tagessehen

Unter Verwendung eines Umrechnungsfaktors ("Äquivalentfaktor" [7])  $C_{eq}$  kann aus der Leuchtdichte  $L$  für Tagessehen auf die äquivalente Leuchtdichte ge-

geschlossen werden, wenn die spektrale Verteilung der zu messenden Strahlung bekannt ist. Es gilt

$$L_{eq} = C_{eq} \cdot L \quad (6)$$

$L_{eq}$  äquivalente Leuchtdichte  
 $C_{eq}$  Äquivalentfaktor, von  $L_{eq}$  abhängig  
 $L$  Leuchtdichte für Tagessehen.

Der Äquivalentfaktor läßt sich berechnen zu

$$C_{eq} = \frac{K_{m,eq} \int_0^{\infty} S_{\lambda} \cdot V_{eq}(\lambda) \cdot d\lambda}{K_m \int_0^{\infty} S_{\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (7)$$

$K_{m,eq}$  Maximalwert des photometrischen Strahlungs-  
 äquivalentes im mesopischen Bereich nach  
 Gleichung (3)  
 $K_m$  Maximalwert des photometrischen Strahlungs-  
 äquivalentes für Tagessehen  
 $S_{\lambda}$  Strahlungsfunktion (relative spektrale Ver-  
 teilung) der zu messenden Strahlung.

$C_{eq}$  ist für einige Strahlungsfunktionen als Funktion von  $L_{eq}$  in Tabelle 2 und als Auszug in Bild 4 dargestellt. Ist für die zu messende Lichtart  $C_{eq}$  als Funktion von  $L_{eq}$  bekannt, so kann durch ein Iterationsverfahren von  $L$  auf  $L_{eq}$  geschlossen werden.

### 6.3. Vereinfachte Bestimmung

#### 6.3.1. Spektrale Bewertung

Von CAKIR und KROCHMANN [12] ist ein vereinfachtes, aber auch weniger genaues Verfahren zur Bestimmung von  $L_{eq}$  über die Leuchtdichte  $L$  und die skotopische Leuchtdichte  $L'$  angegeben. Dabei wird vorausgesetzt, daß sich  $V_{eq}(\lambda)$  aus den spektralen Hellempfindlichkeitsgraden für Tagessehen  $V(\lambda)$  und für Nachtsehen  $V'(\lambda)$  mit ausreichender Genauigkeit bestimmen lassen.

$$V_{eq}(\lambda) = a_{eq} V(\lambda) + b_{eq} V'(\lambda) \quad (8)$$

$a_{eq}$ ,  $b_{eq}$  von  $L_{eq}$  abhängige Funktionen.

$a_{eq}$  und  $b_{eq}$  sind Funktionen von  $L_{eq}$  und sind über die Minimierung des die Güte des Spektralangleichs kennzeichnenden Fehlers  $f_1$  [13] bestimmt (Bild 5 und

Tabelle 3). Dabei ist für  $f_1$  als Sollfunktion die jeweilige Funktion von  $V_{eq}(\lambda)$  verwendet ( $f_{1,eq}$ ) [14].

Bild 6 und Tabelle 3 zeigen  $f_{1,eq}$  als Funktion von  $L_{eq}$ . Die Darstellung zeigt, daß eine bessere Anpassung an  $V_{eq}(\lambda)$  möglich ist, wenn eine ebenso einfache Funktion wie in Gleichung 8 verwendet wird, bei der anstelle von  $V'(\lambda)$  eine Funktion für  $V_{eq}(\lambda)$  bei  $L_{eq} = 10^{-2}$  cd/m<sup>2</sup> berücksichtigt wird.

$$V_{eq}(\lambda) = a'_{eq} \cdot V(\lambda) + b'_{eq} \cdot V_{eq}(\lambda)_{(10^{-2} \text{ cd/m}^2)} \quad (9)$$

### 6.3.2. Äquivalente Leuchtdichte

Bei Berücksichtigung von Gleichung 8 ergibt sich die äquivalente Leuchtdichte  $L_{eq}$  zu

$$L_{eq} = a_{eq} \cdot \frac{K_{m \text{ eq}}}{K_m} \cdot L + b_{eq} \cdot \frac{K_{m \text{ eq}}}{K'_m} \cdot L' \quad (10)$$

Mit

$$A_{eq} = a_{eq} \cdot \frac{K_{m \text{ eq}}}{K_m} \quad (11)$$

und

$$B_{eq} = b_{eq} \cdot \frac{K_{m \text{ eq}}}{K'_m} \quad (12)$$

ergibt sich

$$L_{eq} = L (A_{eq} + B_{eq} \cdot L'/L) = L \cdot C_{eq} \quad (13)$$

$$C_{eq} = A_{eq} + B_{eq} \cdot L'/L \quad (14)$$

In Bild 7 ist  $C_{eq}$  als Funktion von  $L_{eq}$  mit dem Parameter  $L'/L$  sowie  $L$  dargestellt.

Der am Schnittpunkt der beiden Kurven für die gemessenen Werte von  $L$  und  $L'/L$  für  $L_{eq}$  gefundene Wert ist die für die gegebenen Bedingungen vorhandene äquivalente Leuchtdichte.

### 6.3.3. Spektrale Anpassung

Für die Bestimmung von  $L_{eq}$  nach Gleichung 8 (oder Gleichung 9) ist neben der Messung von  $L$  auch die von  $L'$  nötig.

Die Messung der skotopischen Leuchtdichte  $L'$  ist möglich, indem ein Leuchtdichtemeßgerät wahlweise mit einem Filter zur Anpassung der relativen spek-

tralen Empfindlichkeit des Photometerkopfes an  $V(\lambda)$  und an  $V'(\lambda)$  ausgestattet wird. Stattdessen kann auch vor den Photometerkopf mit Anpassung an  $V(\lambda)$  ein zusätzliches Filter vorgesetzt werden, dessen spektraler Transmissionsgrad  $\tau(\lambda)$  zur Anpassung des  $V(\lambda)$ -Empfängers an die  $V'(\lambda)$ -Funktion eingestellt ist. Dafür gilt (Bild 8 und Tabelle 4):

$$c \cdot \tau(\lambda) = \frac{V'(\lambda)}{V(\lambda)} \quad (15)$$

Bei dieser Art der spektralen Anpassung wird jedoch die Empfindlichkeit des Leuchtdichtemeßgerätes wesentlich herabgesetzt (etwa Faktor  $10^{-2}$ ).

## 7. Leuchtdichtebestimmung über Beleuchtungsstärkemessung

### 7.1. Leuchtdichtekoeffizient

Der Leuchtdichtekoeffizient  $q$  ist als Verhältnis der Leuchtdichte  $L$  einer Oberfläche zur Beleuchtungsstärke  $E$  auf dieser definiert [15]

$$q = L/E \quad (16).$$

Der Leuchtdichtekoeffizient  $q$  ist nur für gestreut reflektiertes (transmittiertes) Licht sinnvoll. Es hängt mit der Leuchtdichte, von der Beobachtungsrichtung sowie von der Lichteinfallrichtung ab. Ist für eine beleuchtete Oberfläche der "äquivalente Leuchtdichtekoeffizient" bekannt, so läßt sich die äquivalente Leuchtdichte  $L_{eq}$  über die äquivalente Beleuchtungsstärke  $E_{eq}$  bestimmen

$$L_{eq} = q_{eq} \cdot E_{eq} \quad (17).$$

Bei dieser Bestimmung ist sowohl der Leuchtdichtekoeffizient als auch die Beleuchtungsstärke unter Berücksichtigung des Adaptationsniveaus ( $L_{eq}$ ) nach dem spektralen Hellempfindlichkeitsgrad  $V_{eq}(\lambda)$  zu bestimmen. Die Bestimmung von  $E_{eq}$  und  $q_{eq}$  ist dabei entsprechend Abschnitt 6 möglich.

Für praktische Fälle kann  $q$  nur selten entsprechend der Beobachtungs- und Lichteinfallrichtung bestimmt werden.

### 7.2. Reflexionsgrad

Setzt man vollkommen diffuse Reflexion des auf eine Fläche einfallenden Lichtes voraus und nimmt gleichzeitig diffusen Lichteinfall an - was den Bedingungen in der Praxis am ehesten entspricht -, so läßt sich die Leuchtdichte auch über den äquivalenten Reflexionsgrad  $\rho_{dif,eq}$  bei diffusem Lichteinfall [15] bestimmen.

$$L_{eq} = \frac{\rho_{dif, eq}}{\pi \cdot \Omega_0} \cdot E_{eq} \quad (18)$$

$$\Omega_0 = 1 \text{ sr Einheitsraumwinkel [3]}$$

### 8. Bestimmung von $E_{eq}$

Soll die äquivalente Leuchtdichte entsprechend Gleichung (18) bestimmt werden, so ist die "äquivalente Beleuchtungsstärke" zu messen. Für die Praxis dürfte dabei wohl nur die Berechnung von  $E_{eq}$  über eine direkte Messung der Beleuchtungsstärke  $E$  und der skotopischen Beleuchtungsstärke  $E'$  möglich sein. Wie im Abschnitt 6.3. behandelt (Gleichung 9), kann zur genaueren Bestimmung von  $E_{eq}$  statt  $E'$  eine Messung von  $E_{eq}$  bei einer höheren äquivalenten Leuchtdichte zu besseren Ergebnissen führen. Dazu eignet sich ein Beleuchtungsstärkemeßgerät, bei dem die Anpassung der relativen spektralen Empfindlichkeit des Photometerkopfes an  $V(\lambda)$  bzw.  $V'(\lambda)$  mit Hilfe von auswechselbaren Filtern (Vollfilterung) erfolgt. Die Berechnung von  $E_{eq}$  aus den Meßwerten von  $E$  und  $E'$  muß dann nach einem Iterationsverfahren ausgeführt werden.

### 9. Messung von $\rho_{dif}$

Für die Bestimmung von  $L_{eq}$  über eine Messung von  $E_{eq}$  nach Gleichung (18) muß der Reflexionsgrad  $\rho_{dif,eq}$  bestimmt werden.

In einem von der Bundesanstalt für Arbeitssicherheit geförderten Forschungsvorhaben [16] wurde der Reflexionsgrad  $\rho_{dif}$  von auf dem Markt befindlichen Reflexionstafeln bestimmt. Dabei stellte sich heraus, daß bei den Strahlungsfunktionen der häufiger verwendeten Lampen  $\rho_{dif}$  nur wenig um einen "Mittelwert" schwankt.

Berechnet man den "äquivalenten" Reflexionsgrad  $\rho_{dif,eq}$  für diffusen Lichteinfall (Tabelle 5a und b für die Reflexionstafel des Handbuchs für Beleuchtung [17], Tabelle 6 für die AEG-Reflexionstafel und Tabelle 7 für den Philips Farbfächer), so zeigen sich bei einigen Proben größere Abweichungen der Werte für  $\rho_{dif}$  für verschiedene spektrale Bewertungen. Es erscheint doch als zweckmäßig,  $\rho_{dif}$  entsprechend der Messung von  $L_{eq}$  zu bestimmen. Dazu muß ein Gerät zur Messung von  $\rho_{dif}$  so ausgestattet werden, daß die von dem Meßobjekt reflektierte Strahlung wahlweise mit zwei verschiedenen spektralen Angleichfaktoren  $V(\lambda)$  und  $V'(\lambda)$  oder  $V_{eq}(\lambda)$  z.B. bei  $L_{eq} = 10^{-2} \text{ cd/m}^2$  ausgestattet wird.

Bild 9 zeigt ein solches Meßgerät [18], das der Norm [19] entsprechend aufgebaut ist.

## 10. Messung der äquivalenten Schleierleuchtdichte

Eine direkte Messung der äquivalenten Schleierleuchtdichte ist grundsätzlich mit jedem Leuchtdichtemesser unter Verwendung einer "glare lens" möglich, das auf den Photometerkopf des Leuchtdichtemeßgerätes auffallendes Licht entsprechend der räumlichen Empfindlichkeit bewertet, die durch die Definition der äquivalenten Schleierleuchtdichte vorgegeben ist.

$$L_s = \pi \cdot k \int_{1,5^\circ}^{\pi/2} L(\theta) \cdot \frac{\sin 2\theta}{(\theta/\text{grad})^2} \cdot d\theta \quad (19)$$

k altersabhängiger Faktor, im allgemeinen mit  
k = 10 einzusetzen

$\theta$  Lichteinfallswinkel, gemessen gegen die optische Achse.

Eine derartige "glare lens" wird zur Zeit nur für den Pritchard-Leuchtdichtemesser der Firma Photo Research Corporation angeboten.

Auch bei der Bestimmung der äquivalenten Schleierleuchtdichte ist die Bewertung nach  $V_{eq}(\lambda)$  erforderlich. Dazu kann, in vielen Fällen am ehesten nach dem im Abschnitt 6.2 oder 6.3 angegebenen Verfahren, vorgegangen werden.

## 11. Kennzeichnung von Photometern

DIN 5032, Teil 6 [13] beschreibt die Parameter, die die Meßunsicherheit eines Photometers bestimmen. Daraus ist in DIN 5032 Teil 7 [20] eine Klasseneinteilung von Photometern abgeleitet (Tabelle 8 und 9). Für die Messung von Lichtimmissionen ist die Verwendung von Geräten der Klasse A wünschenswert, mindestens sollte die Qualität der verwendeten Meßgeräte jedoch den Forderungen der Klasse B entsprechen.

Für die Bestimmung der äquivalenten Leuchtdichte  $L_{eq}$  bzw. der äquivalenten Beleuchtungsstärke  $E_{eq}$  über die Messung der jeweiligen skotopischen und photopischen Größe ist bei Photometern zur Messung störender Lichtimmissionen die Angabe von  $f_{1,eq}$  erforderlich [14]. Für die Auflösung (letztes Digit) des verwendeten Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemeßgerätes werden sinnvollerweise die folgenden Forderungen aufgestellt:

- Beleuchtungsstärkemeßgerät  $10^{-4}$  lx
- Leuchtdichtemeßgerät  $10^{-3}$  cd/m<sup>2</sup>

Beide Forderungen lassen sich in der Praxis einhalten.

Für ein Gerät zur Messung des Reflexionsgrades  $\rho_{dif}$  bei diffusem Lichteinfall

kann zur Zeit nur die Erfüllung der Forderungen von DIN 5036 Teil 3 [19] verlangt werden, wobei eine spektrale Bewertung sowohl nach  $V(\lambda)$  als auch nach  $V'(\lambda)$  möglich sein soll [18].

## 12. K a l i b r i e r u n g

Die mit einem Meßgerät erreichbare Meßgenauigkeit hängt von den Geräteeigenschaften [13] und von den Kalibrierfehlern ab. Aussagen über die Kalibrierung und die Kalibrierunsicherheit von Photometern sind in der Norm [13] enthalten.

Für die Kalibrierung von Photometern, die für Messungen im mesopischen Bereich verwendet werden sollen, ist die Verwendung von Normalen notwendig, für die auch Werte für die mesopische Bewertung angegeben werden, z.B. entsprechend  $L_{eq} = 10^{-2}$  cd/m<sup>2</sup>. Das gilt sowohl für Lichtstärke-Normallampen als auch für Leuchtdichte-Normale.

## 13. F o l g e r u n g e n

Für die Messung von störenden Lichtimmissionen sind Photometer zu verwenden, die eine Bestimmung der äquivalenten Leuchtdichte und gegebenenfalls der äquivalenten Schleierleuchtdichte unter Berücksichtigung der spektralen Bewertung nach  $V_{eq}(\lambda)$  gestatten. Die dazu möglichen Verfahren sind im Vorstehenden angegeben. Eine korrekte Kalibrierung entsprechend DIN 5032, Teil 6 [13] ist erforderlich. Eine Korrektur der Meßergebnisse in bezug auf die spektrale Bewertung ist nur möglich, wenn die Strahlungsfunktion der zu messenden Lichtimmissionen bekannt ist. Dann kann diese Korrektur über die Aktinität  $a(Z)$  [5] erfolgen. In vielen Fällen wird sich jedoch wegen der relativ geringen zu fordernden Meßgenauigkeit diese Korrektur erübrigen.

Eine Bestimmung der für die Beurteilung von Lichtimmissionen festzulegenden Größen mit Photometern, deren relative spektrale Empfindlichkeit lediglich an den spektralen Hellempfindlichkeitsgrad  $V(\lambda)$  für Tagessehen angepaßt ist, scheint wegen der im mesopischen Bereich liegenden Meßwerte im allgemeinen nicht zulässig zu sein.

## S c h r i f t t u m

- [1] KAUFMANN, J.E. und H. HAYNES:  
IES Lighting Handbook, Reference Volume.  
IES, North America, New York, N.Y., 1981.
- [2] SPIESER, R., u.a.:  
Handbuch für Beleuchtung, 4. Auflage.  
Verlag W. Girardet, Essen 1975.
- [3] DIN 5031, Teil 3:  
Strahlungsphysik im optischen Bereich und  
Lichttechnik. Größen, Formelzeichen und  
Einheiten der Lichttechnik (März 1982).
- [4] DIN 5340 (Entwurf):  
Begriffe der physiologischen Optik  
(Februar 1979).
- [5] DIN 5031, Teil 2:  
Strahlungsphysik im optischen Bereich und  
Lichttechnik. Strahlungsbewertung durch  
Empfänger (März 1982).
- [6] DIN 1301, Teil 1:  
Einheiten, Einheitennamen, Einheitenzeichen  
(Februar 1978).
- [7] KROCHMANN, J. und R. RATTUNDE:  
Über die Neudefinition der Candela.  
Optik, 58 (1981), S. 1 - 10.
- [8] DIN 5031, Teil 1:  
Strahlungsphysik im optischen Bereich und  
Lichttechnik. Größen, Formelzeichen und  
Einheiten der Strahlungsphysik (März 1982).
- [9] DIN 5032, Teil 1:  
Lichtmessung. Photometrische Verfahren  
(Juli 1978).
- [10] KOKOSCHKA S. und H.W. BODMANN:  
Ein konsistentes System zur photometrischen  
Strahlungsbewertung im gesamten Adaptations-  
bereich.  
Publ. CIE No. 36, (1976), S. 217 - 225.

- [11] DIN 5033, Teil 2:  
Farbmessung. Normvalenz-Systeme (April 1972).
- [12] ÇAKIR, A. und J. KROCHMANN:  
A Note on the Equivalent Luminance and Spectral Luminous Efficiency of the Human Eye within the Mesopic Range.  
Lighting Research and Technology, 3 (1971),  
S. 152 - 157.
- [13] DIN 5032, Teil 6:  
Lichtmessung. Photometer, Begriffe, Eigenschaften und deren Kennzeichnung (Entwurf Februar 1983).
- [14] AYDINLI, S., E. KROCHMANN und J. KROCHMANN:  
Über die Messung der äquivalenten Leuchtdichte (In Vorbereitung).
- [15] DIN 5036, Teil 1:  
Strahlungsphysikalische und lichttechnische Eigenschaften von Materialien. Begriffe, Kennzahlen (Juli 1978).
- [16] KROCHMANN, J.:  
Reflexionsgrad von Reflexionstafeln.  
Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Projekt 773.  
Institut für Lichttechnik der TU Berlin, 1984.
- [17] ERDEMIR, A., E. KROCHMANN, J. KROCHMANN,  
F. LINDEMUTH und H. PIEPER:  
The Measurement of Reflectance at Diffuse Incidence of Light (In Vorbereitung).
- [18] DIN 5036, Teil 3:  
Strahlungsphysikalische und lichttechnische Eigenschaften von Materialien. Meßverfahren für lichttechnische und spektrale strahlungsphysikalische Kennzahlen (November 1979).
- [19] DIN 5032, Teil 7; (Entwurf):  
Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemeßgeräten (März 1983).

T a b e l l e n - u n d B i l d a n h a n g

Tabelle 1: Zahlenwerte für  $K_{m,eq}$  für das  $10^\circ$ -Gesichtsfeld sowie Relativwerte

Größe	Zahlenwert für äquivalente Leuchtdichten $L_{eq}$ in $cd \cdot m^{-2}$							
	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^0$	$10^1$	$10^2$
$K_{m,eq}$ in $lm \cdot W^{-1}$	1699	1599	1485	1253	773	686	683	684
$K_{m,eq}/K_{m,10}$	2,485	2,34	2,12	1,83	1,12	1,00	1,00	1
$K_{m,eq}/K_m$	2,488	2,34	2,17	1,83	1,13	1,00	1,00	1,00

$K_{m,10} = 684 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents für Tagessehen für das  $10^\circ$ -Gesichtsfeld

$K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents für Tagessehen für das  $2^\circ$ -Gesichtsfeld

Tabelle 2: Äquivalentfaktor für einige Lichtarten ( $V_{eq}$  nach DIN 5031)

$L_{eq}$ in $cd/m^2$	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2
	10	10	10	10	10	10	10	10
Normlichtart A	1.41	1.37	1.33	1.24	1.01	1.02	1.05	1.05
Osram-L36W/31	1.23	1.20	1.18	1.12	0.97	1.00	1.03	1.04
Planckscher Strahler 3200 K	1.57	1.52	1.46	1.34	1.05	1.03	1.05	1.06
Planckscher Strahler 4300 K	1.96	1.88	1.80	1.61	1.15	1.07	1.07	1.07
Osram-L36W/21	1.57	1.52	1.47	1.35	1.06	1.03	1.05	1.05
Lichtart B	2.13	2.04	1.94	1.73	1.20	1.08	1.08	1.08
Normlichtart C	2.50	2.39	2.26	1.98	1.29	1.11	1.11	1.10
Tageslichtphase D50	2.16	2.07	1.97	1.75	1.21	1.08	1.08	1.08
Normlichtart D65	2.46	2.35	2.22	1.95	1.28	1.11	1.10	1.10
Osram-L36W/11	1.98	1.90	1.82	1.63	1.17	1.07	1.07	1.07
Osram HQI-E 400W	2.13	2.04	1.94	1.73	1.21	1.08	1.07	1.07
Osram-HQL 400W	1.10	1.09	1.07	1.04	0.96	0.99	1.02	1.02
Osram NAV-T 400W	0.64	0.66	0.68	0.72	0.81	0.96	1.02	1.03
Philips SO-X	0.22	0.26	0.32	0.43	0.70	0.93	1.01	1.03

Tabelle 3: Koeffizienten  $a(L_{eq})$ ,  $b(L_{eq})$  und Fehler  $f_1(L_{eq})$  als Funktion der äquivalenten Leuchtdichte  $L_{eq}$

$L_{eq}/cd/m^2$	$a(L_{eq})$	$b(L_{eq})$	$f_1/\%$
-5			
10	0.00	1.00	0.00
-4			
10	0.03	0.99	0.51
-3			
10	0.06	0.97	0.87
-2			
10	0.15	0.92	2.06
-1			
10	0.57	0.56	7.81
0			
10	0.89	0.21	2.31
1			
10	0.97	0.14	3.43
2			
10	0.98	0.12	4.32

Tabelle 4: Relativer spektraler Transmissionsgrad ( $V'(\lambda)/V(\lambda)$ )<sub>rel</sub>

360	0.344
370	0.424
380	0.525
390	0.640
400	0.816
410	1.000
420	0.840
430	0.599
440	0.496
450	0.416
460	0.329
470	0.258
480	0.198
490	0.151
500	0.106
510	0.069
520	0.046
530	0.033
540	0.024
550	0.017
560	0.011
570	0.008
580	0.005
590	0.003
600	0.002

Lichttransmissionsgrad fuer Normlichtart A : 0.02

Tabelle 5a: Reflexionswerte für Normallichtarten A und D 65 bei diffusem Lichteinfall für verschiedene Bewertungsfunktionen

=====

Probe : Handbuch

- 
1.  $V(\lambda)$  - Bewertung
  2.  $V(\lambda)$  - Bewertung
  3.  $V_{eq}(\lambda)$  - Bewertung fuer  $Leq = 0.01 \text{ cd/m}^2$
- 

Farbfeld	Normlichtart A			Normlichtart D65		
	1	2	3	1	2	3
1/ 1	14	14	14	14	14	14
1/ 2	17	16	16	17	16	16
1/ 3	21	20	20	20	20	20
1/ 4	22	22	22	22	22	22
1/ 5	29	28	28	28	28	28
1/ 6	39	38	38	39	38	38
1/ 7	45	45	45	45	45	45
1/ 8	51	50	50	50	50	50
1/ 9	56	55	55	56	55	55
1/10	62	61	61	62	61	61
2/ 1	12	16	15	12	19	18
2/ 2	13	16	15	13	19	18
2/ 3	16	19	18	15	22	21
2/ 4	16	19	18	15	21	20
2/ 5	18	21	20	18	24	23
2/ 6	26	29	28	25	31	30
2/ 7	33	35	34	32	38	37
2/ 8	39	41	40	38	43	42
2/ 9	46	47	47	45	50	49
2/10	54	55	55	54	57	56
3/ 1	19	36	32	23	40	37
3/ 2	20	37	33	24	40	38
3/ 3	24	41	37	28	44	42
3/ 4	26	42	39	30	46	44
3/ 5	30	45	42	34	49	47
3/ 6	38	52	49	42	55	53
3/ 7	47	59	56	50	61	60
3/ 8	56	67	65	59	69	68
3/ 9	61	70	68	63	71	70
3/10	67	73	72	69	74	74
4/ 1	18	24	23	20	22	22
4/ 2	19	24	23	21	23	23
4/ 3	22	28	27	25	26	26
4/ 4	24	29	28	26	28	27
4/ 5	28	33	32	30	31	31
4/ 6	36	40	40	38	39	39
4/ 7	44	48	47	46	46	46
4/ 8	50	53	52	51	51	51
4/ 9	59	62	61	60	60	60
4/10	66	67	67	67	66	66

Tabelle 5b:

Reflexionswerte für Normallichtarten A und D 65 bei diffusem Lichteinfall für verschiedene Bewertungsfunktionen

=====

Probe : Handbuch

1.  $V(\lambda)$  - Bewertung
2.  $V(\lambda)$  - Bewertung
3.  $V_{eq}(\lambda)$  - Bewertung fuer  $L_{eq} = 0.01 \text{ cd/m}^2$

Farbfeld	Normallichtart A			Normallichtart D65		
	1	2	3	1	2	3
5/ 1	45	33	36	43	27	30
5/ 2	48	35	38	45	29	32
5/ 3	49	37	40	47	31	34
5/ 4	52	39	42	50	34	36
5/ 5	53	41	44	51	36	38
5/ 6	57	47	49	55	43	45
5/ 7	62	54	56	61	50	51
5/ 8	65	57	59	64	54	55
5/ 9	70	62	64	68	59	60
5/10	74	69	70	73	66	67
6/ 1	23	11	13	18	10	11
6/ 2	26	11	14	20	10	12
6/ 3	30	14	17	24	13	14
6/ 4	37	18	21	30	16	18
6/ 5	40	21	25	33	20	21
6/ 6	46	29	32	40	28	29
6/ 7	52	38	40	47	36	37
6/ 8	56	44	46	52	42	43
6/ 9	61	50	52	57	48	49
6/10	67	58	60	64	57	58
7/ 1	24	14	15	19	15	15
7/ 2	27	15	17	22	17	17
7/ 3	32	20	22	27	22	22
7/ 4	38	24	27	32	26	27
7/ 5	42	29	31	35	30	31
7/ 6	47	36	38	42	38	38
7/ 7	55	46	48	51	48	48
7/ 8	59	51	52	55	52	52
7/ 9	63	57	58	60	58	58
7/10	68	63	64	66	63	64
8/ 1	15	14	14	14	14	14
8/ 2	18	14	15	16	14	14
8/ 3	21	16	17	19	15	16
8/ 4	26	18	20	23	17	18
8/ 5	28	20	22	25	18	19
8/ 6	33	24	26	30	22	23
8/ 7	35	27	28	32	24	25
8/ 8	39	29	31	37	26	28
8/ 9	41	31	33	38	27	29
8/10	46	34	37	43	31	33

Tabelle 6:

Reflexionswerte für Normallichtarten A und D 65 bei diffusem Lichteinfall für verschiedene Bewertungsfunktionen

=====

Probe : AEG

1.  $V(\lambda)$  - Bewertung
2.  $V(\lambda)$  - Bewertung
3.  $V_{eq}(\lambda)$  - Bewertung fuer  $L_{eq} = 0.01 \text{ cd/m}^2$

Farbfeld	Normallichtart A			Normallichtart D65		
	1	2	3	1	2	3
1/ 1	65	61	62	64	59	60
1/ 2	56	54	54	56	52	53
1/ 3	45	43	43	44	42	42
1/ 4	28	26	27	28	25	26
1/ 5	23	22	22	22	21	22
1/ 6	13	13	13	13	13	13
2/ 1	62	63	63	63	62	62
2/ 2	38	45	43	40	45	44
2/ 3	29	36	34	31	37	36
2/ 4	16	21	20	17	22	21
2/ 5	40	51	49	43	51	50
2/ 6	21	29	27	23	30	29
3/ 1	68	56	59	65	53	54
3/ 2	66	48	52	60	45	47
3/ 3	54	31	36	46	29	31
3/ 4	47	19	25	38	17	20
3/ 5	38	26	28	33	25	26
3/ 6	18	12	13	16	12	12
4/ 1	68	60	62	66	57	58
4/ 2	45	37	39	42	36	37
4/ 3	30	24	25	28	23	24
4/ 4	16	13	14	15	13	13
4/ 5	42	35	36	40	33	34
4/ 6	24	20	21	23	19	19
5/ 1	68	61	63	67	57	59
5/ 2	52	48	49	52	43	45
5/ 3	38	36	36	38	32	33
5/ 4	26	25	25	27	22	23
5/ 5	37	38	38	37	36	37
5/ 6	19	22	22	20	22	22
6/ 1	74	61	64	71	56	58
6/ 2	69	50	55	64	45	48
6/ 3	64	42	47	58	37	40
6/ 4	57	29	35	49	24	27
6/ 5	55	40	43	50	37	39
6/ 6	27	16	18	23	14	16

Tabelle 7:

Reflexionswerte für Normallichtarten A und D 65 bei diffusem  
Lichteinfall für verschiedene Bewertungsfunktionen

=====

Probe : Philips

=====

1.  $V(\lambda)$  - Bewertung  
 2.  $V(\lambda)$  - Bewertung  
 3.  $V_{eq}(\lambda)$  - Bewertung fuer  $L_{eq} = 0.01 \text{ cd/m}^2$
- =====

Farbfeld	Normlichtart A			Normlichtart D65		
	1	2	3	1	2	3
Gelb/ 1	16	12	13	15	11	12
Gelb/ 2	26	18	20	25	15	17
Gelb/ 3	41	29	32	39	24	26
Gelb/ 4	55	39	43	52	34	36
Gelb/ 5	64	56	58	63	52	54
Blau/ 1	8	15	14	10	18	17
Blau/ 2	14	28	25	17	33	30
Blau/ 3	25	41	37	28	46	43
Blau/ 4	37	50	47	40	54	52
Blau/ 5	59	66	64	61	67	66
Grün/ 1	9	13	12	10	12	12
Grün/ 2	16	21	20	18	21	21
Grün/ 3	25	32	30	27	31	30
Grün/ 4	42	50	48	45	49	48
Grün/ 5	61	65	65	63	64	64
Rot / 1	11	6	7	9	6	6
Rot / 2	19	9	11	15	8	9
Rot / 3	28	14	17	23	14	15
Rot / 4	43	30	32	38	29	30
Rot / 5	62	53	55	59	52	53
Grau/ 1	6	6	6	6	6	6
Grau/ 2	11	11	11	11	11	11
Grau/ 3	25	24	24	25	24	24
Grau/ 4	44	43	43	43	43	43
Grau/ 5	77	73	74	76	71	72

Tabelle 8: Fehlergrenzen für einzelne Merkmale und Gesamtfehlergrenzen für Beleuchtungsstärkemeßgeräte der Klassen L, A, B und C

Merkmal	Fehler- bezeichnung	Fehlergrenzen für Meßgeräte der Klasse			
		L	A	B	C
$V(\lambda)$ -Anpassung	$f_1$	1,5%	3 %	6 %	9 %
UV-Empfindlichkeit	$u$	0,2%	1 %	2 %	4 %
IR-Empfindlichkeit	$r$	0,2%	1 %	2 %	4 %
cos-getreue Bewertung	$f_2$	1)	1,5%	3 %	6 %
Bewertung für $E_o$	$f_{2,0}$	1)	10 %	15 %	20 %
Bewertung für $E_z$	$f_{2,z}$	1)	5 %	10 %	15 %
Bewertung für $E_{zh}$	$f_{2,zh}$	1)	5 %	10 %	15 %
Linearitätsfehler	$f_3$	0,2%	1 %	2 %	5 %
Fehler des Anzeigegerätes	$f_4$	0,2%	3 %	4,5%	7,5%
Temperaturkoeffizient	$\alpha$	0,1%/K	0,2%/K	1 %/K	2 %/K
Ermüdung	$f_5$	0,1%	0,5%	1 %	2 %
moduliertes Licht	$f_7$	0,1%	0,2%	0,5%	1 %
Abgleichfehler	$f_{11}$	0,1%	0,5%	1 %	2 %
Gesamtfehler 2)	$f_{ges}$	3 % 3)	5 % 4)	10 % 4)	20 % 4)
untere Grenzfrequenz	$f_u$	40 Hz	40 Hz	40 Hz	40 Hz
obere Grenzfrequenz	$f_o$	$10^5$ Hz	$10^5$ Hz	$10^4$ Hz	$10^3$ Hz

1) Falls mit Geräten der Klasse L bei nicht senkrechtem Lichteinfall gemessen wird, gelten die Fehlergrenzen der Klasse A.  
2) Beim Gesamtfehler ist die Unsicherheit des beim Kalibrieren verwendeten Normals (nach Prüfschein) eingeschlossen (siehe DIN 5032 Teil 6 (z. Z. Entwurf), Abschnitt über Kalibrierbedingungen).  
3) Summe der beim Gerät vorhandenen Fehler  $f_1, u, r, f_3, f_4, \alpha \cdot 2 K, f_5, f_7, f_{11}$  und Kalibrierunsicherheit des Normals.  
4) Summe der beim Gerät vorhandenen Fehler  $f_1, u, r, f_2, f_3, f_4, \alpha \cdot 10 K, f_5, f_7, f_{11}$  und Kalibrierunsicherheit des Normals.

Tabelle 9: Fehlergrenzen für einzelne Merkmale und Gesamtfehlergrenzen für Leuchtdichtemeßgeräte der Klassen L, A, B und C

Merkmal	Fehler- bezeichnung	Fehlergrenzen für Meßgeräte der Klassen			
		L	A	B	C
$V(\lambda)$ -Anpassung	$f_1$	2 %	3 %	6 %	9 %
UV-Empfindlichkeit	$u$	0,2%	1 %	2 %	4 %
IR-Empfindlichkeit	$r$	0,2%	1 %	2 %	4 %
räumliche Bewertung	$f_2(g)$	2 %	3 %	6 %	9 %
Einfluß der Umfeldleuchtdichte	$f_2(u)$	1 %	1,5%	2 %	4 %
Linearitätsfehler	$f_3$	0,2%	1 %	2 %	5 %
Fehler des Anzeigegerätes	$f_4$	0,2%	3 %	4,5%	7,5%
Temperaturkoeffizient	$\alpha$	0,1%/K	0,2%/K	1 %/K	2 %/K
Ermüdung	$f_5$	0,1%	0,5%	1 %	2 %
moduliertes Licht	$f_7$	0,1%	0,2%	0,5%	1 %
Polarisationsfehler	$f_8$	0,2%	1 %	2 %	4 %
Abgleichfehler	$f_{11}$	0,1%	0,5%	1 %	2 %
Fokussierfehler	$f_{12}$	0,4%	1 %	1 %	1 %
Gesamtfehler 1)	$f_{ges}$	5 % 2)	7,5% 3)	10 % 3)	20 % 3)
untere Grenzfrequenz	$f_u$	40 Hz	40 Hz	40 Hz	40 Hz
obere Grenzfrequenz	$f_o$	$10^5$ Hz	$10^5$ Hz	$10^4$ Hz	$10^3$ Hz

1) Beim Gesamtfehler ist die Unsicherheit des beim Kalibrieren verwendeten Normals (nach Prüfschein) eingeschlossen (siehe DIN 5032 Teil 6 (z. Z. Entwurf), Abschnitt über Kalibrierbedingungen).  
2) Summe der beim Gerät vorhandenen Fehler  $f_1, u, r, f_2(g), f_2(u), f_3, f_4, \alpha \cdot 2 K, f_5, f_7, f_8, f_{11}, f_{12}$  und Kalibrierunsicherheit des Normals.  
3) Summe der beim Gerät vorhandenen Fehler  $f_1, u, r, f_2(g), f_2(u), f_3, f_4, \alpha \cdot 10 K, f_5, f_7, f_8, f_{11}, f_{12}$  und Kalibrierunsicherheit des Normals.

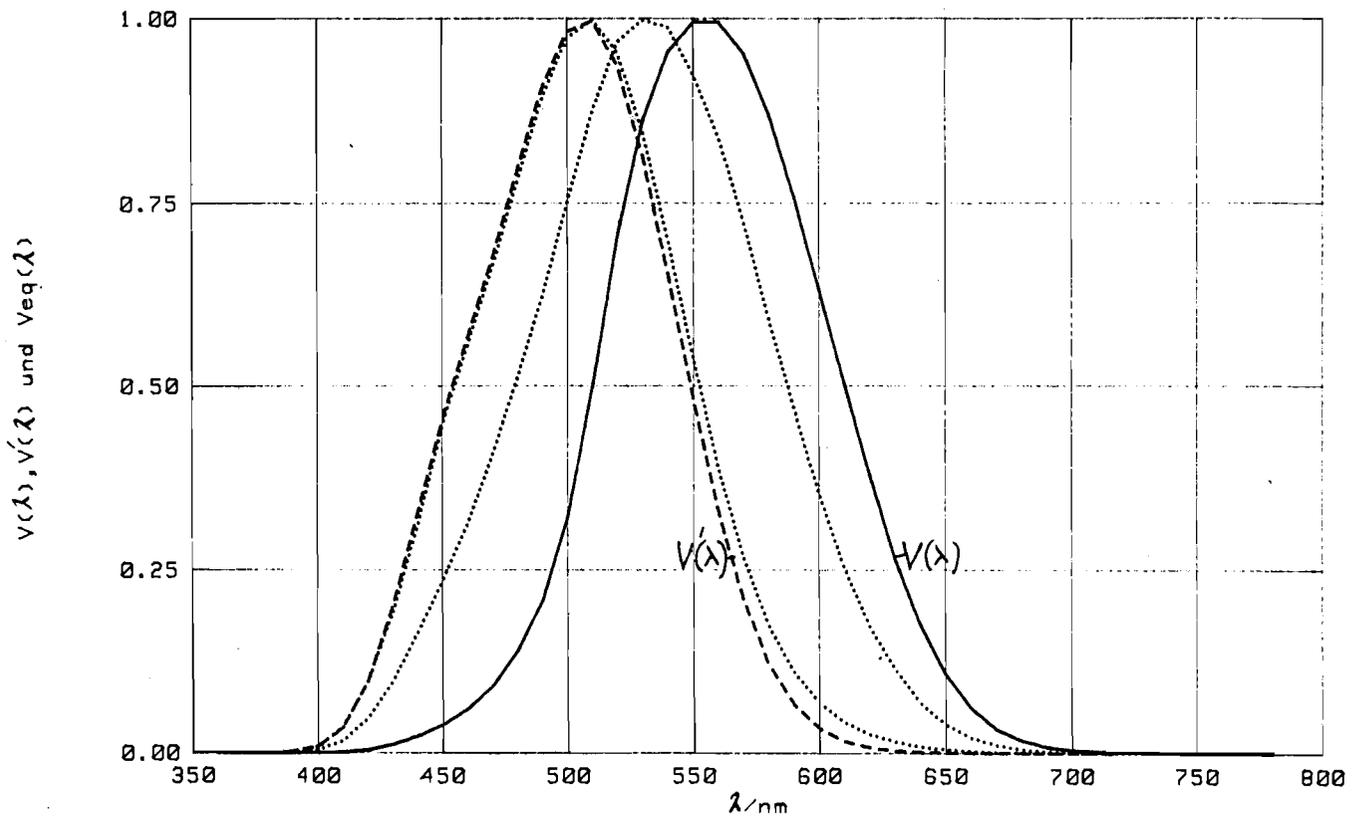


Bild 1: Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad für Tagessehen  $V(\lambda)$ , Nachtsehen  $V'(\lambda)$  und im mesopischen Bereich  $V_{eq}(\lambda)$  (für  $L_{eq} = 0,001$  und  $L_{eq} = 0,1$  cd/m<sup>2</sup>)

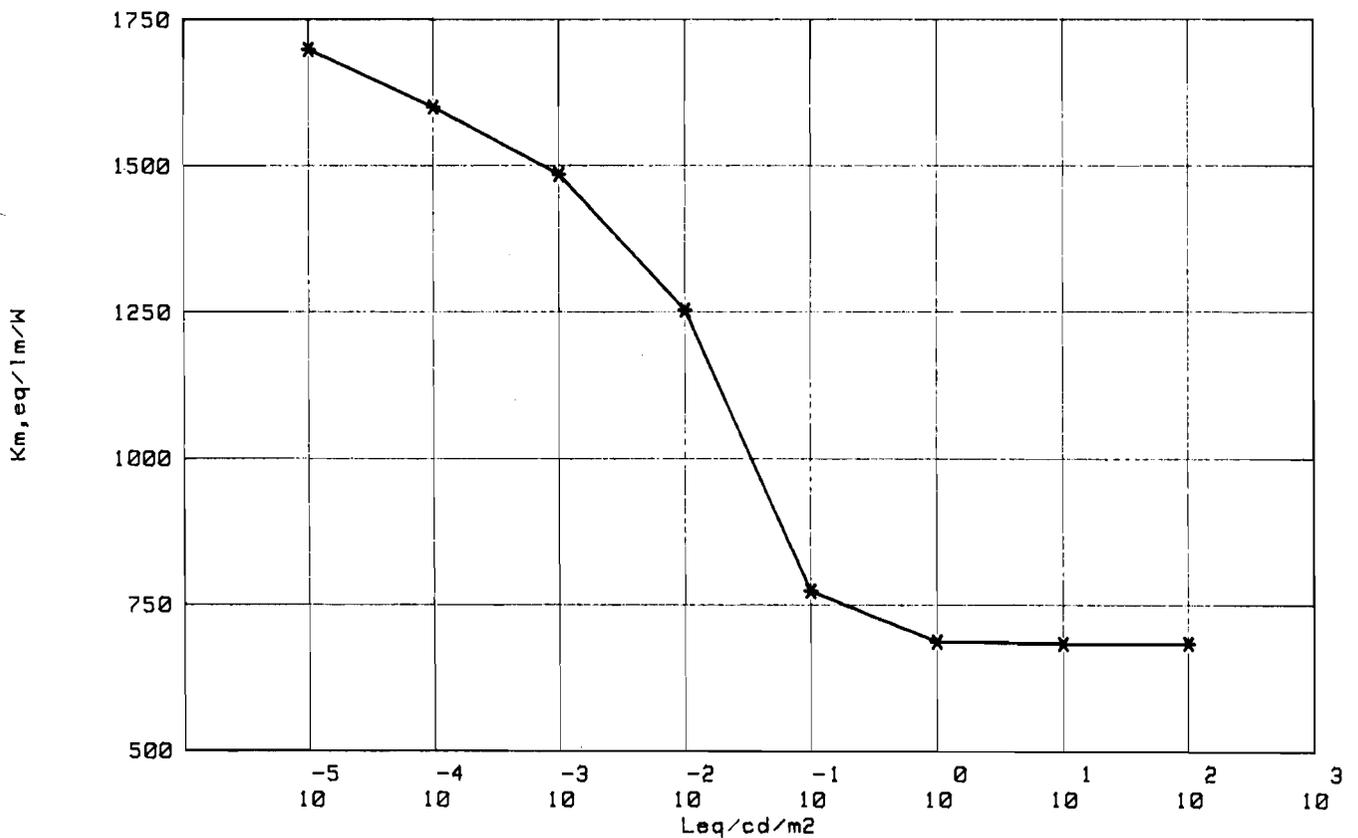


Bild 2: Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents  $K_{m,eq}$  als Funktion der äquivalenten Leuchtdichte  $L_{eq}$

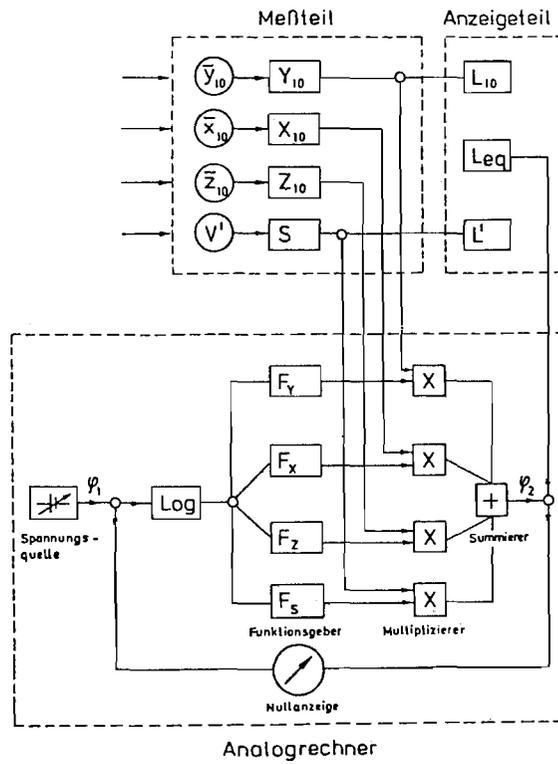


Bild 3: Schema zur Messung der äquivalenten Leuchtdichte  $L_{eq}$  nach KOKOSCHKA und BODMANN

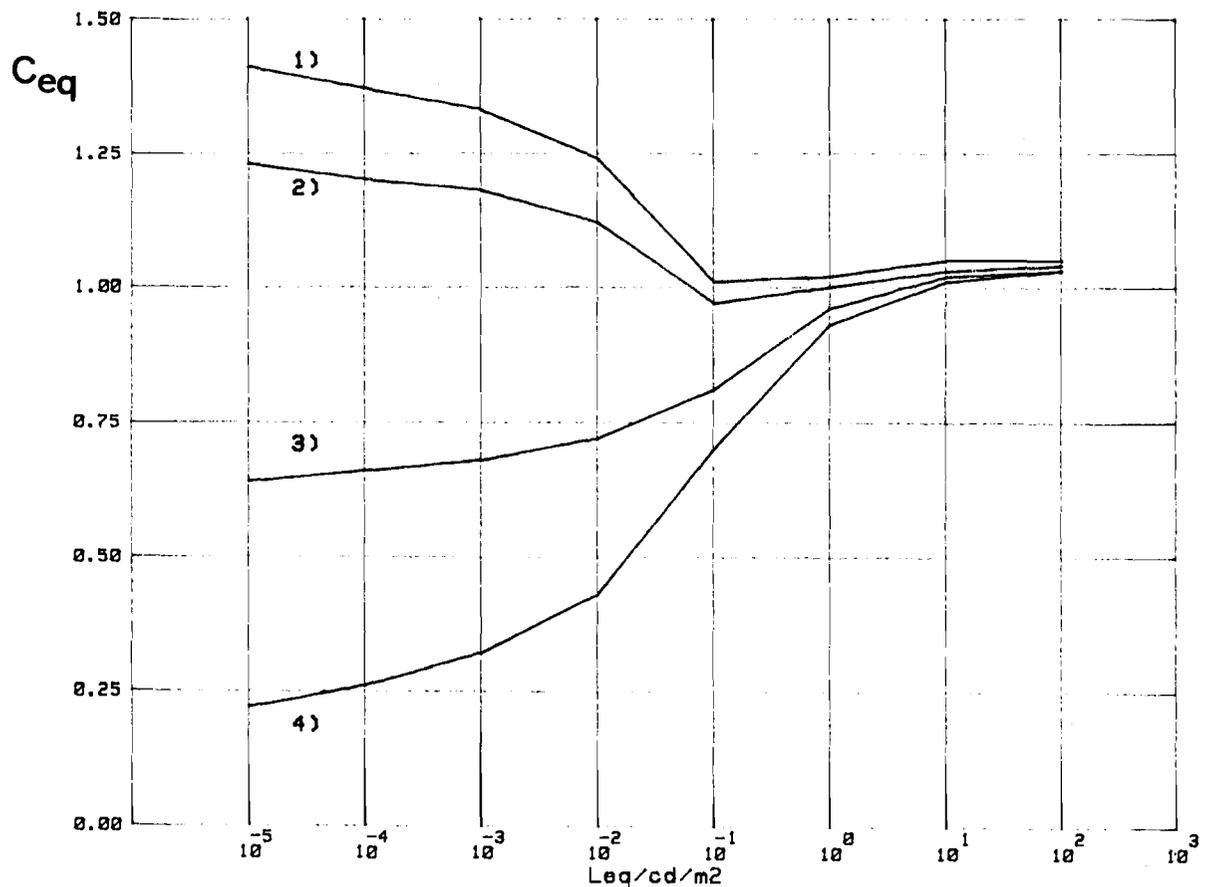


Bild 4: Äquivalentfaktor für einige Lichtarten ( $V_{eq}$  nach DIN 5031)

- |                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| 1) Normlichtart A    | 2) Osram L 36W/31 |
| 3) Osram NAV-T 400 W | 4) Philips SO-X   |

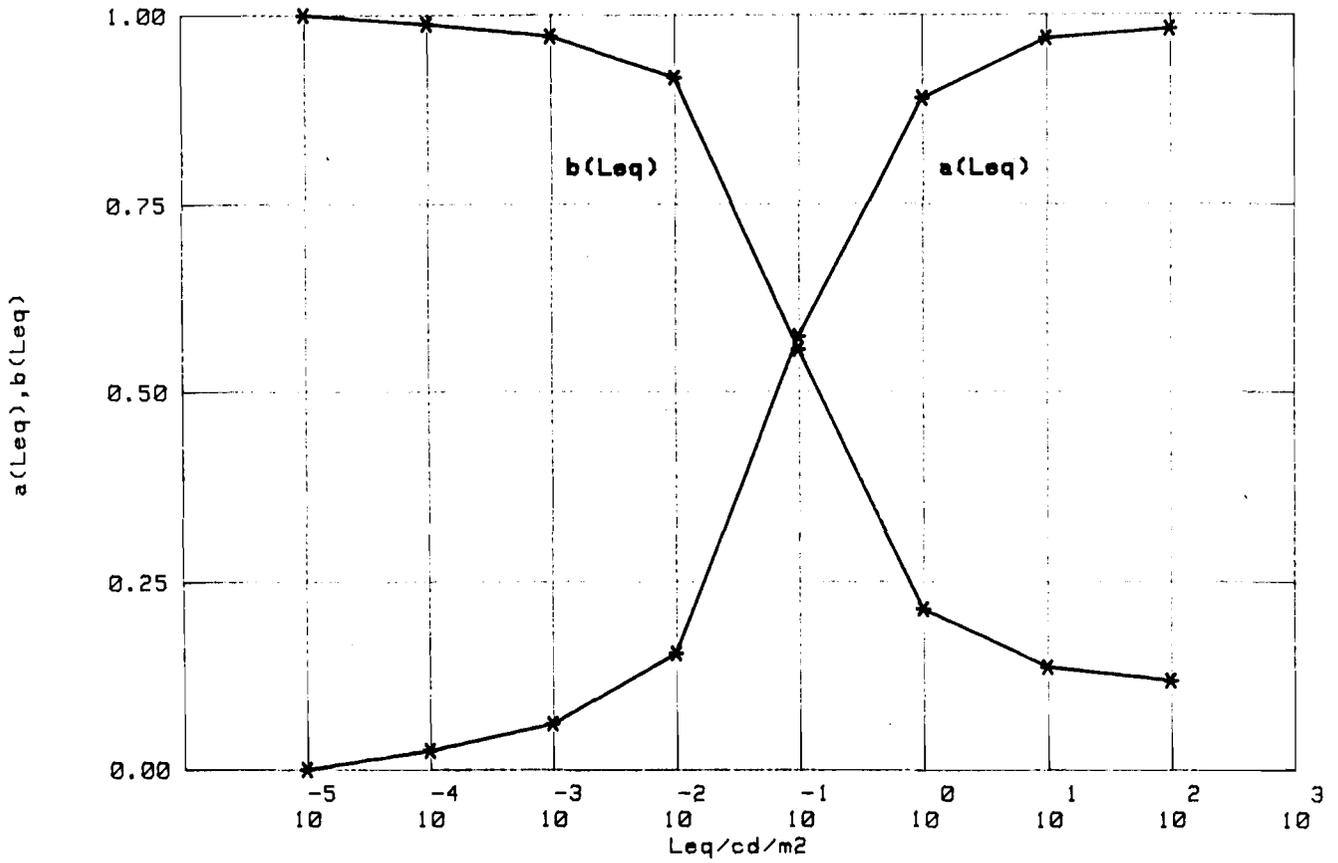


Bild 5: Koeffizienten  $a(L_{eq})$  und  $b(L_{eq})$  als Funktion der äquivalenten Leuchtdichte  $L_{eq}$

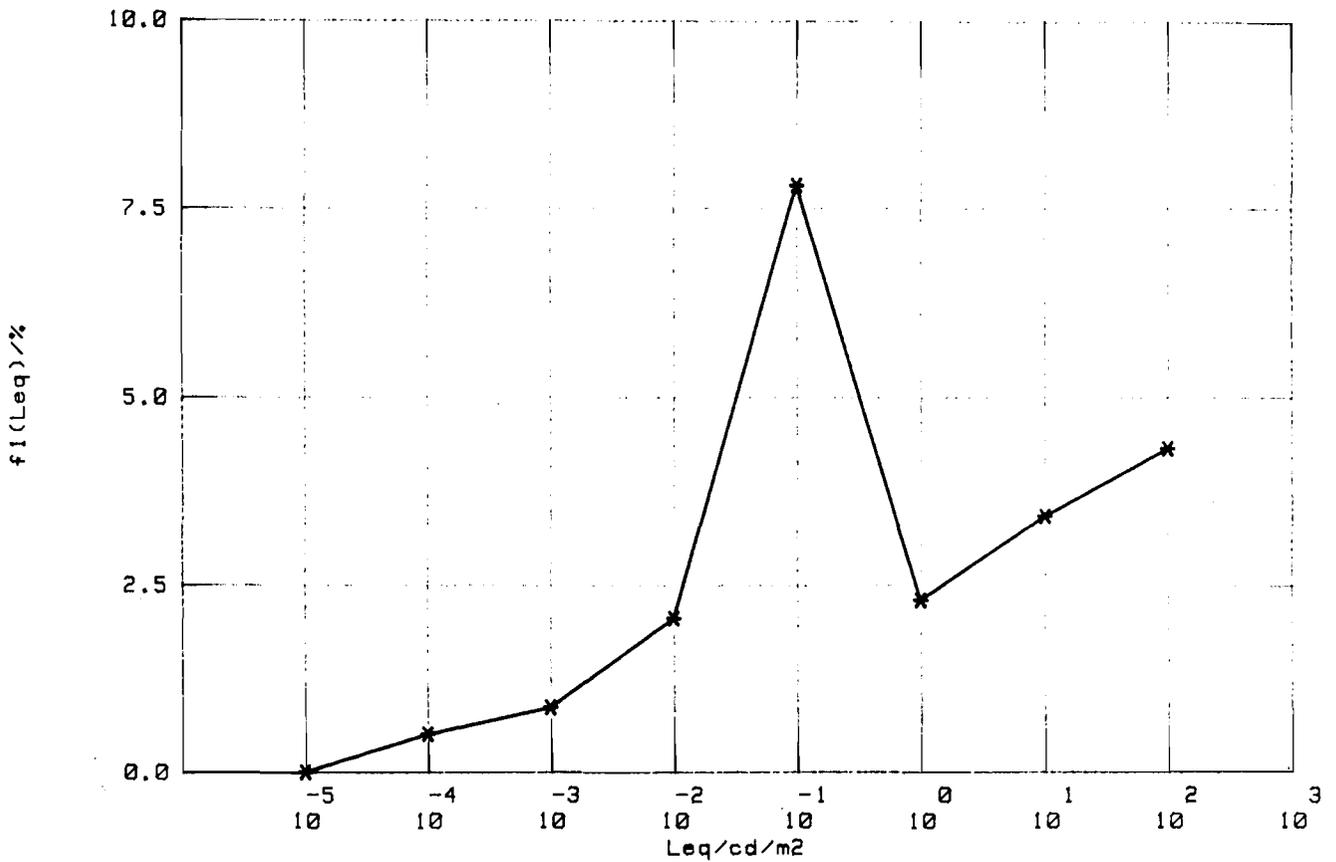


Bild 6: Fehler  $f_1(L_{eq})$  als Funktion der äquivalenten Leuchtdichte  $L_{eq}$

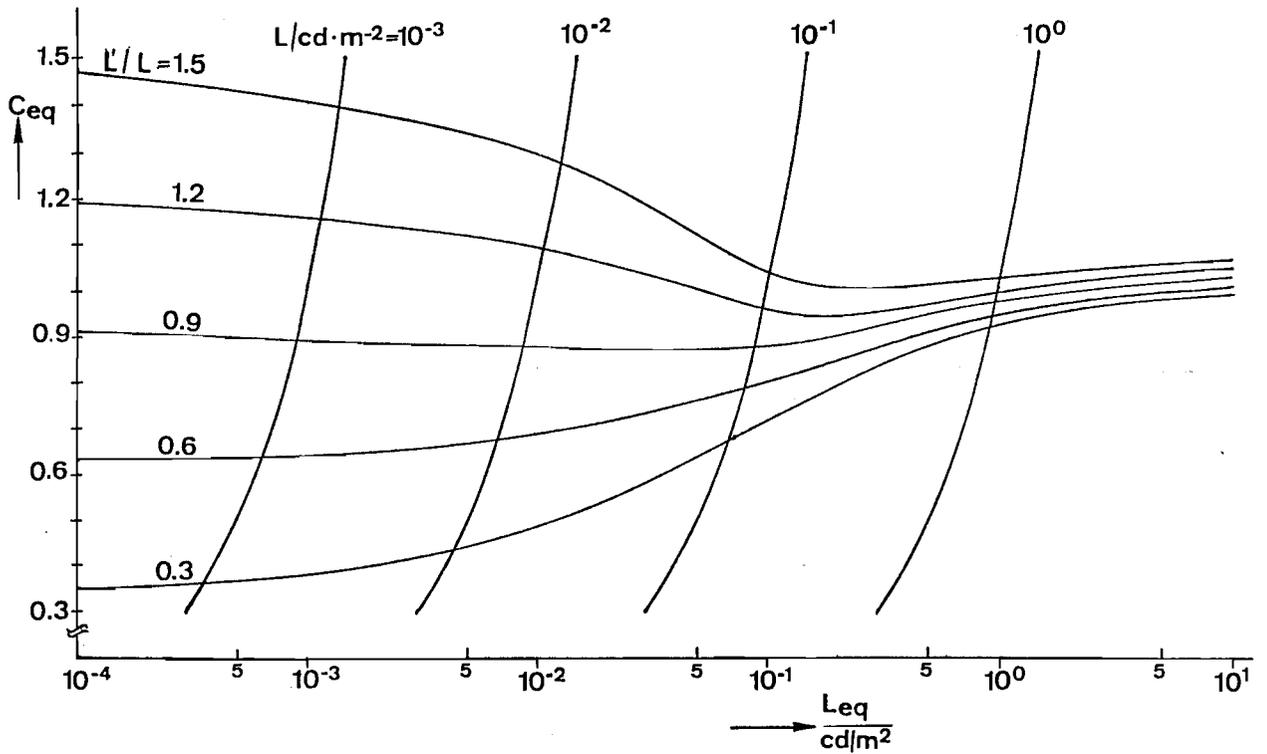


Bild 7: Zusammenhang zwischen  $C_{eq}$  und  $L_{eq}$ . Parameter  $L'/L$  und  $L$

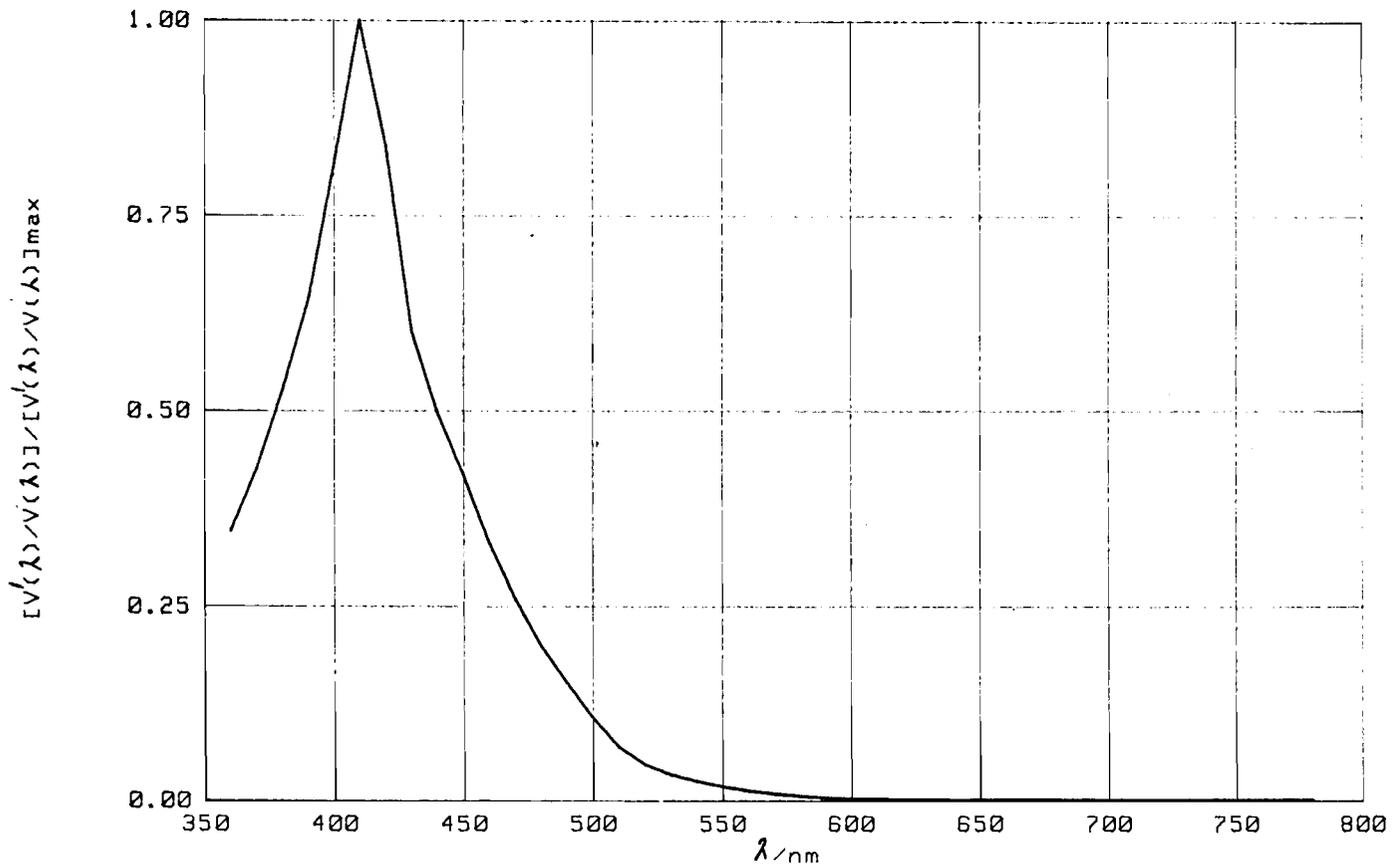


Bild 8: Relativer spektraler Transmissionsgrad  $V'(\lambda)/V(\lambda)$

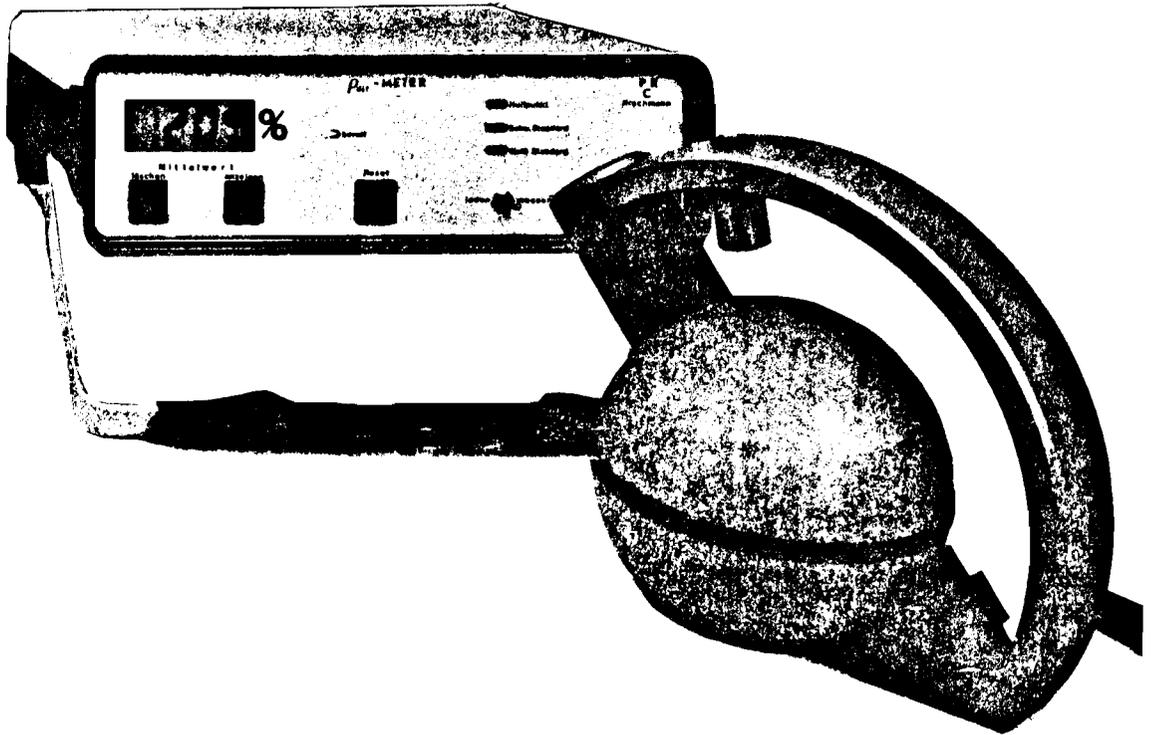


Bild 9:

Gerät zur Messung des Reflexionsgrades  
 $\rho_{\text{dif}}$  bei diffusem Lichteinfall

Berichte der

LANDESANSTALT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, ESSEN

- LIS-Berichte -

Die LIS-Berichte haben spezielle Themen aus den wissenschaftlichen Untersuchungen der LIS zum Gegenstand. Die in der Regel umfangreichen Texte sind nur in begrenzter Auflage vorrätig. Einzel Exemplare werden Interessenten auf Anforderung kostenlos zur Verfügung gestellt.

Anforderungen sind zu richten an die

Landesanstalt für Immissionsschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Wallneyer Str. 6  
4300 E s s e n 1

- Berichte-Nr. 1: KRAUTSCHEID, S. und P. NEUTZ:  
(vergriffen) LIDAR zur Fernüberwachung von Staubemissionen.  
- Nachweis der Kalibrierfähigkeit eines LIDAR-Systems - (1978).
- Berichte-Nr. 2: BUCK, M.:  
(vergriffen) Die Bedeutung unterschiedlicher Randbedingungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität (1978).
- Berichte-Nr. 3: SCHEICH, G.:  
(vergriffen) Entwicklung und Anwendung von Ausbreitungsmodellen und Luftüberwachungsprogramme in den USA (1979).
- Berichte-Nr. 4: SPLITTGERBER, H. und K.H. WIETLAKE:  
(vergriffen) Ermittlung der Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten am Bau (1979).
- Berichte-Nr. 5: SPLITTGERBER, H.:  
(vergriffen) Zur Problematik der Meßgrößen und Meßwerte bei Erschütterungsimmissionen (1979).
- Berichte-Nr. 6: STRAUCH, H. und K.H. GOLDBERG:  
(vergriffen) Ermittlung der Dämmwirkung von Dachentlüftern für Werkshallen im Einbauzustand unter Berücksichtigung der baulichen Nebenwege (1979).
- Berichte-Nr. 7: KRAUSE, G.M.H., B. PRINZ UND K. ADAMEK:  
(vergriffen) Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Falschfarbenfotografie für die Aufdeckung und Dokumentation von Immissionswirkungen auf Pflanzen (1980).
- Berichte-Nr. 8: WIETLAKE, K.H.:  
(vergriffen) Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schabotte-Schmiedehämmern (1980).
- Berichte-Nr. 9: STRAUCH, H.:  
(vergriffen) Methoden zur Aufstellung von Lärminderungsplänen (1980).
- Berichte-Nr. 10: HILLEN, R.:  
(vergriffen) Untersuchung zur flächenbezogenen Geräuschbelastungs-Kennzeichnung -Ziele, Methodik, Ergebnisse- (1980).
- Berichte-Nr. 11: MANNS, H., H. GIES und W. STRAMPLAT:  
(vergriffen) Erprobung des Staub-Immissionsmeßgerätes FH62I für die kontinuierliche Bestimmung der Schwebstoffkonzentration in Luft (1980).
- Berichte-Nr. 12: GIEBEL, J.:  
(vergriffen) Verhalten und Eigenschaften atmosphärischer Sperrschichten (1981).
- Berichte-Nr. 13: BRÖKER, G., H. GLIWA und E. MEURISCH:  
Abscheidegrade von biologisch- und chemisch-aktiven Aggregaten zur Desodorierung osmogener Abluft von Tierkörperbeseitigungsanlagen (1981).

- Berichte-Nr. 14: BRANDT, C.J.:  
(vergriffen) Untersuchungen über Wirkungen von Fluorwasserstoff auf Lolium Multiflorum und andere Nutzpflanzen (1981).
- Berichte-Nr. 15: WELZEL, K. und H.D. WINKLER:  
(vergriffen) Emission und interner Kreislauf von Thallium bei einem Drehrohfen mit Schwebegaswärmeaustauscher zur Herstellung von Portlandzementklinker unter Einsatz von Purpurerz als Eisenträger. - 1. Bericht - (1981).
- Berichte-Nr. 16: PRINZ, B. und E. KOCH:  
Umweltpolitik und technologische Entwicklung in der VR China (1984).
- Berichte-Nr. 17: BRÖKER, G. und H. GLIWA:  
Untersuchungen zu den Dioxin-Emissionen aus den kommunalen Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 18: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:  
Die Entwicklung der Immissionsbelastung in den letzten 15 Jahren in der Rhein-Ruhr-Region (1982).
- Berichte-Nr. 19: PFEFFER, H.U.:  
Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 20: BACH, R.W.:  
Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der Grundgesamtheit luftverunreinigender Schadstoffkonzentrationen aus Stichproben (1982).
- Berichte-Nr. 21: STRAUCH, H.:  
(vergriffen) Hinweise zur Anwendung flächenbezogener Schalleistungspegel (1982).
- Berichte-Nr. 22: SPLITTGERBER, H.:  
Verfahren zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen (1982).
- Berichte-Nr. 23: KRAUSE, G.M.H.:  
(vergriffen) Immissionswirkungen auf Pflanzen - Forschungsschwerpunkte in den Vereinigten Staaten von Amerika. Bericht über eine Reise in die USA und die Teilnahme am 13. Air Pollution Workshop in Ithaca, N. Y., in der Zeit vom 02.05.-24.05.1981 (1982).
- Berichte-Nr. 24: KÜLSKE, S.:  
(vergriffen) Analyse der Periode sehr hoher lokaler Schadstoffbelastungen im Ruhrgebiet vom 15.01.1982 bis 20.01.1982 (1982).
- Berichte-Nr. 25: VAN HAUT, H. und G.H.M. KRAUSE:  
(vergriffen) Wirkungen von Fluorwasserstoff-Immissionen auf die Vegetation (1982).
- Berichte-Nr. 26: KOCH, E., V. THIELE, J. GIEBEL, H. STRAUCH und P. ALTENBECK:  
Empfehlungen für die problemgerechte Erstellung von Immissionsschutzgutachten in Bauleitplanverfahren (1982).
- Berichte-Nr. 27: MANNS, H., H. GIES und G. NITZ:  
(vergriffen) Verbesserung der Zuverlässigkeit und Vergleichbarkeit von Messungen zur Ermittlung aromatischer Kohlenwasserstoffe in der Außenluft (1982).
- Berichte-Nr. 28: PRINZ, B., G.M.H. KRAUSE und H. STRATMANN:  
(vergriffen) Vorläufiger Bericht der Landesanstalt für Immissionsschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland (1982).
- Berichte-Nr. 29: GIEBEL, J.:  
Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Sperrschichthöhen und Immissionsbelastung (1983).
- Berichte-Nr. 30: MANNS, H. und H. GIES:  
Ergebnisse der Laborprüfung und Optimierung des meßtechnischen Teiles der Ozon-Meßplätze im Meßnetz LIMES-TEMES (1983).

- Berichte-Nr. 31: BEINE, H., R. SCHMIDT UND M. BUCK:  
Ein Meßverfahren zur Bestimmung des Schwefelsäure- und Sulfatgehaltes in Luft (1983).
- Berichte-Nr. 32: BEIER, R. und P. BRUCKMANN:  
Messung und Analyse von Kohlenwasserstoff-Profilen im Rhein-Ruhrgebiet (1983).
- Berichte-Nr. 33: FRONZ, W.:  
(vergriffen) Ermittlung von Verkehrsgeräusch-Immissionen  
- zum tageszeitlichen Verlauf des Geräuschpegels und des Verkehrsaufkommens an Bundes- und Sammelstraßen (1983).
- Berichte-Nr. 34: BRÖKER, G.:  
Zusammenfassende Darstellung der Emissionssituation in Nordrhein-Westfalen und der Bundesrepublik Deutschland für Stickstoffoxide (1983).
- Berichte-Nr. 35: PIORR, D. und R. HILLEN:  
Veränderung akustischer Kenngrößen infolge der nächtlichen Abschaltung von Lichtsignalanlagen (1983).
- Berichte-Nr. 36: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:  
Benzol-Immissionsmessungen im Lande Nordrhein-Westfalen (1983).
- Berichte-Nr. 37: BACH, R.-W. und H. STRATMANN:  
Untersuchungen zur Bestimmung der Aufnahme rate des IRMA-Gerätes bei verschiedenen Anströmverhältnissen (1983).
- Berichte-Nr. 38: WIETLAKE, K.H.:  
Beurteilung und Minderung tieffrequenter Geräusche (1983).
- Berichte-Nr. 39: STRAUCH, H. und K. SCHWENGER:  
Geräusche und Erschütterungen, verursacht durch elektrisch angetriebene Wärmepumpen (1983).
- Berichte-Nr. 40: BRÖKER, G. und B. SCHILLING:  
Schwermetallemissionen bei der Verbrennung kommunaler Klärschlämme (1983).
- Berichte-Nr. 41: HILLEN, R.:  
Über Möglichkeiten zur Verbesserung der Qualität von Schießgeräuschmessungen im Immissionsbereich (1983).
- Berichte-Nr. 42: KLEIN, M.:  
Untersuchung zur Schallausbreitung im Freien - Ziele, Physik der Schallausbreitung, Vorgehensweise, Ergebnisse - (1983).
- Berichte-Nr. 43: PFEFFER, H.-U., S. KÜLSKE und R. BEIER:  
Jahresbericht 1981 über die Luftqualität an Rhein und Ruhr.  
Ergebnisse aus dem telemetrischen Immissionsmeßnetz TEMES in Nordrhein-Westfalen. (1984)
- Berichte-Nr. 44: BUCK, M., H. IXFELD und R. BEIER:  
Immissionsbelastung durch Fluor-Verbindungen in der Nachbarschaft der Aluminiumhütte LMG in Essen. (1984).
- Berichte-Nr. 45: STRAUCH, H. und R. HILLEN:  
Geräuschimmissionen in Großstädten; Flächenbezogene Kennzeichnung dieser Geräuschimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 46: BUCK, M. und P. BRUCKMANN:  
Air quality surveillance in the Federal Republic of Germany (1984).

- Berichte-Nr. 47: BEIER, R.:  
Kohlenwasserstoffbelastung in Ahlen - eine statistische Analyse -. (1984)
- Berichte-Nr. 48: SCHADE, H.:  
Prognose der Schadstoffemissionen aus Verbrennungsanlagen im Belastungsgebiet  
Rheinschiene-Süd für die Jahre 1985 und 1990. (1984)
- Berichte-Nr. 49: STRATMANN, H.:  
Wirkungen von Luftverunreinigungen auf die Vegetation.  
Bewertung der Luftanalyse auf der Grundlage weiterentwickelter Dosis-  
Wirkungsbeziehungen für Schwefeldioxid und Ozon zur Ursachenaufklärung der  
neuartigen Waldschäden. (1984)
- Berichte-Nr. 50: GOLDBERG, K.H.:  
Untersuchungen zu Schießlärmminderungen, dargestellt an Fallbeispielen. (1984)

Anmerkung:

Die LIS-Berichte - auch die vergriffenen - stehen Interessenten in zahlreichen Universitäts- und Hochschulbibliotheken zur Ausleihe bzw. Einsichtnahme zur Verfügung.