

Dr. Gerhard Söllner
Höfchensweg 20
52066 Aachen

BLENDUNGSBEWERTUNG IN INNENRÄUMEN

Forschungen zur Beleuchtungstechnik vor 40 Jahren

Zusammenfassung.

Die Deutsche Norm „Beleuchtung von Innenräumen“ DIN 5035 enthielt um 1961 noch kein Verfahren zur Begrenzung der „Psychologischen Blendung“. Eine Überprüfung von Blendungsbewertungssystemen aus anderen Ländern durch eine Beobachtergruppe in wirklichen Räumen brachte keine zufriedenstellende Übereinstimmung der Aussage dieser Systeme mit der Empfindung der Beobachter. Zudem erwies sich die Anwendung einiger dieser Systeme als zu kompliziert und aufwändig, ihre Aussage als zu undurchsichtig; sie ergab keine Anleitung zum technischen Handeln.

Es sollte ein brauchbares „Einfaches System zur Blendungsbewertung“ erarbeitet werden. In im Maßstab 1:3 verkleinerten, realistisch gestalteten, beleuchteten Raummodellen wurden von Beobachtergruppen zahlreiche Blendungsbewertungen durchgeführt, wobei die Geometrie der Räume und die Art und Anordnung der Beleuchtung systematisch variiert wurden. Aus diesen Daten wurden die Leuchtdichtebegrenzungskurven für Leuchten entwickelt, deren Einhaltung (unter Berücksichtigung verschiedener geometrischer und lichttechnischer Parameter) die Blendung im Mittel unter bestimmten Grenzen hält. Damit war das System zur Blendungsbewertung gleichzeitig eine Anleitung für die Konstruktion geeigneter Leuchten. Das System wurde in DIN 5035 aufgenommen und auch in mehreren anderen Ländern eingeführt.

Es wird auf die Methodik der Untersuchungen eingegangen und auf die Hilfsmittel, die damals zur Messung der technischen Daten und für die Auswertung und Präsentation der Ergebnisse verfügbar waren.

Die Ausgangslage um 1960.

Im Laufe der fünfziger Jahre des letzten Jahrhunderts baute man zunehmend große bis sehr große Büroräume („Großraumbüros“) und Fertigungsstätten, die ganztägig beleuchtet werden mussten. Als geeignete Lampe dafür wurde fast durchwegs die Leuchtstofflampe, mit und ohne Leuchte, eingesetzt.

Die Räume sollten flexibel genutzt werden können, was eine ausreichende Allgemeinbeleuchtung erforderte. Die Anordnung der Arbeitsplätze entsprach zumeist der eines Schulraumes alter Art. Der Blick konnte frei durch den Raum schweifen, was die Aufsicht über die Arbeit erleichterte. „Landschaftsbüros“, bei denen der Raum durch, zumeist flexible, Stellwände oder andere Einrichtungen, auch Pflanzen, aufgeteilt wurde, kamen erst später auf. Aber auch bei Ihnen war zumeist die gesamte Beleuchtungsanlage an der Decke, zumindest ein großer Teil davon, von den Arbeitsplätzen aus sichtbar. Bildschirmarbeitsplätze gab es noch nicht.

Die Benutzer mancher Arbeitsräume empfanden ein gewisses Unbehagen durch die Beleuchtung, eine Empfindung, die in DIN 5035 als „Psychologische Blendung“ bezeichnet wurde. In der DIN waren schon seit langem Anforderungen an die Beleuchtung, z. B. Beleuchtungsstärke und deren Gleichmäßigkeit, für verschiedene Arbeiten festgelegt. Die Psychologische Blendung sollte vermieden werden, die Norm sagte aber nicht, wie das geschehen soll. In manchen Ländern gab es bereits Bewertungssysteme dafür.

Prüfung bestehender Systeme zur Blendungsbewertung.

Anderweitig eingeführte Systeme zur Blendungsbegrenzung.

Der FA Innenbeleuchtung der LiTG regte 1961 an, bestehende Systeme zur Blendungsbewertung zu erproben, mit dem Ziel, ein geeignetes System in DIN 5035 zu übernehmen. Philips übernahm die Durchführung dieser Aufgabe. Zu den bestehenden Systemen gehörten:

- ° Das Australische System aus den dreißiger Jahren, auch bei der Internationalen Arbeitskommission in Genf eingeführt. Es beschränkte die Leuchtdichte der Leuchten unter flachen Ausstrahlungswinkeln und berücksichtigte dabei die Raumdimensionen. Es stammte noch aus der Zeit, in der die Räume überwiegend mit Glühlampen beleuchtet waren.
- ° Die „Scissors-Kurven“ aus den USA. Sie beschränkten die Leuchtdichte der Leuchten unter flachen Ausstrahlungswinkeln winkelabhängig, wobei gewisse Kompensationen innerhalb zweier Leuchtdichte-Begrenzungskurven erlaubt waren.
- ° Das Britische GRS System und das US-Amerikanische System. Beide waren auf der Basis von Beobachtungen in abstrahierten Labordarbietungen entwickelt worden. Beide berücksichtigten alle lichttechnischen und geometrischen Verhältnisse im Raum: Winkelposition jeder einzelnen Leuchte bezogen auf einen Beobachter, der vor der Mitte einer Raumwand sitzt und waagrecht auf die Mitte der gegenüberliegenden Wand blickt (Augenhöhe etwa 1,20 m), Raumwinkelgröße jeder einzelnen Leuchte, Leuchtdichte jeder einzelnen Leuchte zum Beobachteraue, Umfeldleuchtdichte (ohne Leuchten). Ausstrahlungsrichtungen der Leuchte steiler als 45 ° galten als unbedenklich. Die verschiedenen geometrischen und lichttechnischen Größen wurden in beiden Systemen etwas unterschiedlich durch ein kompliziertes Formelsystem verknüpft, in dem die einzelnen Faktoren mit gebrochenen Hochzahlen gewichtet wurden und in dem unterschiedliche Summations-Termen verwendet wurden. Das Resultat eines komplizierten und aufwändigen Rechenvorgangs war eine Zahl und es war festgelegt, welche Zahl für bestimmte Umstände zulässig war.

Das britische System war schon im 2. Weltkrieg entwickelt worden, weil man erkannt hatte, dass eine gute Beleuchtung der Arbeitsproduktivität förderlich ist.

Vorbereitung der Untersuchungen

In Hamburg wurden eine Reihe von realen Räumen ausgewählt, zumeist Büros, von kleinen bis zu sehr großen Abmessungen und mit unterschiedlichen Beleuchtungsanlagen. Sie wurden von mir und zwei Assistentinnen in mehreren Nachtschichten detailliert vermessen, vor allem, weil das britische und das US-Amerikanische Bewertungssystem exakte Einzeldaten erforderte: geometrische Abmessungen (Zollstock und Maßband), Position der Leuchten und

Raumwinkelgröße (selbstgebauter Theodolit – Kimme und Korn), Leuchtdichte der einzelnen Leuchten (visueller Leuchtdichtemesser, um Fehler durch falsche Leuchtdichtemittelung zu vermeiden), Umgebungsleuchtdichte an verschiedenen Stellen, Beleuchtungsstärke in Arbeitsplatzhöhe und ihre Gleichmäßigkeit. Alle Messungen wurden von zwei Raumseiten her und für zwei Augenhöhen des Beobachters (1,20 m – sitzend – und 1,70 m –stehend -) durchgeführt, so dass jeder Raum 4 Blendsituationen ergab.

Daraus wurde die Blendung nach den verschiedenen Systemen ermittelt oder errechnet. Da es damals weder PC noch Taschenrechner gab, war der Rechenaufwand beträchtlich (Hilfsmittel: Logarithmentafel, Rechenschieber, Integrieren durch Abzählen der Karos auf Millimeterpapier oder Ausschneiden der Funktion mit der Schere und Wiegen auf einer Fein-Waage, Benutzung eines Planimeters, usw.). Die Ergebnisse wurden für jedes Blendungsbewertungs-System in ein Diagramm eingetragen, dessen zweite Koordinate eine Skala der empfundenen Blendung enthielt, die noch ermittelt werden musste.

Die Untersuchung und das Ergebnis.

Zu einer Sitzung des FA Innenbeleuchtung in Hamburg reisten die (sehr zahlreichen) Teilnehmer schon am Abend zuvor an und wir führten die Blendungsbewertungen nach vereinbarten Regeln (z. B. waagrechtlicher Blick) durch. Jeder Teilnehmer ordnete für jede Situation seinen nach einigen Minuten entstandenen Blendungseindruck in die siebenstufige Bewertungsskala ein: Blendung :

nicht vorhanden – zwischen nicht vorhanden und merkbar - merkbar - zwischen merkbar und störend - störend - zwischen störend und unerträglich - unerträglich.

Nach der Begehung der Räume, gegen 23 Uhr, gingen der Fa Innenbeleuchtung zum fröhlichen Umtrunk und ich zur Auswertung der Ergebnisse.

Bei einer gegebenen Blendsituation empfanden nicht alle Beobachter den selben Grad der Blendung. Die verschiedenen Bewertungen wurden mit ihrem prozentualen Gewichtsanteil an der Anzahl der Beobachter in ein Diagramm eingetragen, dessen eine Koordinate die Gauss'sche Fehlerfunktion, die „Gauss-Verteilung“ darstellte: „Wahrscheinlichkeitspapier“. Daraus konnten alle statistischen Informationen entnommen werden: mittlere Beurteilung und ihre Vertrauensgrenzen, beliebige Prozentwerte, usw. Ergaben die Bewertungen im Wahrscheinlichkeitspapier eine Gerade, so war das ein Indiz dafür, dass die Stufen der Bewertungsskala gleichabständig waren. Das war bei dieser Untersuchung zufriedenstellend der Fall, so dass man den Blendungsstufen Ziffern von 0 - 6 zuordnen und den mittleren Blendeindruck einer Beobachtergruppe durch arithmetische Mittelung der „Blendziffern“ ermitteln konnte. Die Steilheit der Geraden im Wahrscheinlichkeitspapier war ein Maß für die Signifikanz der Aussage.

Die mittleren Blendungswerte wurden für jedes der zu prüfenden Blendungsbewertungs-Systeme in einem gesonderten Diagramm den Berechnungen oder Ermittlungen nach dem System gegenübergestellt. Diese grafischen Darstellungen sowie der zugehörige Text wurden auf Transparentpapier gezeichnet bzw. mit der Schreibmaschine geschrieben, denn die uns damals zugängliche Vervielfältigungsmethode war die Erstellung von Lichtpausen in einer Lichtpausanstalt. So wurden auch alle unsere Laborberichte angefertigt. Kopiergeräte, wie wir sie heute kennen, gab es noch nicht.

Ich hatte mit der hauseigenen Lichtpausabteilung abgesprochen, dass ich morgens um 8 Uhr mit einem dringenden Auftrag sofort bedient werde; dann wurden die Kopien sortiert, zu

Berichten zusammengeklammert und um 9 Uhr 30 erschien ich bei der Sitzung des Fa Innenbeleuchtung und drückte jedem Teilnehmer einen Bericht in die Hand.

Die Übereinstimmung unserer Blendungsbewertungen mit den nach den verschiedenen Methoden ermittelten Blendungsgraden war so ungenügend, dass der FA Innenbeleuchtung keines der bestehenden Bewertungssysteme in DIN 5035 aufnahm. Philips erbot sich, dieses Problem weiterhin zu bearbeiten und zu versuchen, ein für die Praxis brauchbares System zur Blendungsbegrenzung aufzustellen.

Entwicklung eines einfachen Systems zur Blendungsbewertung.

Erfahrungen aus der Voruntersuchung.

1. Die aufgrund abstrahierter Labor-Untersuchungen entwickelten, differenzierten Systeme, wie BGRS- oder US-Amerikanisches System, die für alle Beleuchtungssysteme anwendbar sein sollten, brachten keine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen Berechnung und Beobachtung. Ihre Anwendung war viel zu kompliziert und aufwändig (man hatte damals weder PC noch Taschenrechner), es ist nicht erkennbar, wie die GR (glare rating) zustande kommt und somit kann keine unmittelbare Anweisung zum technischen Handeln, z. B. für den Leuchtenkonstrukteur, gewonnen werden. Eine Beratung über sinnvolle Beleuchtungsanlagen mit lichttechnischen Laien (z. B. Architekten) ist wegen der Undurchschaubarkeit dieser Systeme nicht möglich.
2. Die einfachen, bestehenden Systeme zur Blendungsvermeidung konnten die verschiedenartigen Beleuchtungsanlagen der Praxis nur ungenügend abdecken. Auch hier fehlte die genügend differenzierte Anleitung zum technischen Handeln. Die Übereinstimmung mit den Beobachtungen war ungenügend.
3. Blendungsuntersuchungen zur Entwicklung eines Bewertungssystems in bestehenden, realen Räumen haben wenig Aussicht auf raschen Erfolg, weil in jeder neuen Anlage zumeist mehrere Parameter geändert sind. Dadurch ist der Einfluss bestimmter Parameter auf die Blendung nicht klar ersichtlich. Zudem gibt es praktische Probleme: Es sind nicht genügend viele unterschiedliche, reale Räume in der Nähe und die Blendungsuntersuchungen müssen außerhalb der Arbeitszeit, im allgemeinen nachts, durchgeführt werden. Das ist bei langdauernden Untersuchungen mit Gruppen von Beobachtern nur schwierig durchführbar und kostet zu viel Zeit.

Die Aufgabenstellung.

1. Da akuter Bedarf an einem System zur Blendungsbewertung bestand, sollten die Untersuchungen nicht zu lange dauern (dennoch haben die Untersuchungen Jahre benötigt und bis zur Einführung des Systems in DIN 5035 vergingen weitere Jahre).
2. Es genügt ein Blendungsbewertungssystem, das die Masse der üblichen Beleuchtungsanlagen abdeckt: Ein praktisches System zur Blendungsbegrenzung. Es sollte später, wenn ein umfassendes System verfügbar ist, von diesem abgelöst werden.
3. Das System soll verschiedene Eigenarten und Anforderungen an die Beleuchtung, z. B. Beleuchtungsstärke, Tätigkeit des Raumbenutzers, berücksichtigen können.

4. Das System soll in übersichtlicher und leicht begreifbarer Form darstellbar sein und unmittelbar Anweisungen geben, wie Leuchten für bestimmte Einsatzbereiche gestaltet werden müssen.

Durchführung der Untersuchungen.

Versuchsanordnung.

Es schien sinnvoll, die Blendungsbewertungen in wirklichen oder wirklichkeitsnahen Räumen durchzuführen. Da veränderbare Räume im Maßstab 1:1 nicht verfügbar waren, entschieden wir uns für verkleinerte Raum-Modelle. Da die damalige 13-Watt-Leuchtstofflampe ziemlich genau einer auf 1/3 reduzierten 65-Watt-Leuchtstofflampe (Länge 1,50 m) entsprach, wurde der Verkleinerungsmaßstab 1:3 gewählt. In verkleinerten Räumen stimmen für den Beobachter alle Raumwinkel- und Leuchtdichteverhältnisse mit denen eines Raumes 1:1 überein, nur der Augenabstand der Beobachter ist zu groß. Das schien akzeptierbar.

Die Basis der Versuchsräume 1:3 war ein Deckensystem aus leicht auswechselbaren Deckenplatten der Abmessung 0,54 m mal 0,54 m. Diese Platten gab es ohne und mit Lampen oder Leuchten, z. B. eine, zwei oder drei Reihen nackter Leuchtstofflampen, Einbau- oder Anbauleuchten: Wannenleuchten, Rasterleuchten, Spiegelleuchten. Die entsprechenden Leuchtenmodelle wurden in unserer Labor-Werkstatt gebaut. Die Helligkeit der Lampen konnte über Trafos reguliert werden. Damit konnte eine weite Variation an Räumen und Beleuchtungsanlagen präsentiert werden.

Die Raumhöhe wurde durch verschieden hohe Tische reguliert, deren Oberflächenabmessung mit derjenigen der Deckenplatten korrespondierte. Die Anzahl und Anordnung der Tische gab die Raumabmessungen Länge und Breite. Bewegliche Seitenwände wurden an die Tische herangeschoben und ergaben den seitlichen Abschluss des Raumes. Eine Verdoppelung der Raumlänge wurde durch einen Spiegel erreicht.

In jeweils der Mitte einer Stirn- und einer Seitenwand waren entsprechend den verschiedenen Modellraumhöhen (Augenhöhe 0,4 m über dem Fußboden, entsprechend 1,20 m in Wirklichkeit) Klappen angebracht, durch die die Beobachter den Kopf in den Raum hineinstecken konnten.

Die Räume wurden durch selbst gebastelte Möbel (Schreibtische, Stühle, Aktenschränke, usw.) und durch und durch selbst gebastelte Puppen (Köpfe aus Styropor geschnitzt und mit Plakafarbe bemalt, die Kleider wurden von den Assistentinnen genäht) wirklichkeitsnah gestaltet. Die Illusion gelang gut.

Nun konnten Beobachtungen in Räumen durchgeführt werden, in denen bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen die Raumlänge systematisch verändert wurde, oder die Raumbreite, die Anzahl und Anordnung der Leuchten, usw.

Beobachtungen und Beobachter.

Die Beobachter steckten den Kopf durch die Luke in der Wand in den Raum, blickten waagrecht auf die gegenüberliegende Wand und notierten ihre Blendungsempfindung nach einigen Minuten in der bekannten Skala. Die Beobachtungen liefen über viele Monate. Sie wurden von einer Gruppe von 10 bis 15 Mitarbeitern unseres Labors durchgeführt, die jeden

Tag eine oder zwei neue Situationen beurteilten. So wurde eine sehr große Menge an Informationen gesammelt.

Wenn es die Gelegenheit ergab, wurden Gruppen von Lichttechnikern, die zu Besuch waren, an den Untersuchungen beteiligt. Ihre Urteile stimmten gut mit denen der Labor-Testgruppe überein.

Die Blendungsbewertungen jeder Beobachtergruppe wurden in der Weise ausgewertet wie beim Vorversuch.

Die Beteiligung fachfremder Beobachter an den Tests wurde bald wieder aufgegeben. Diese Testpersonen, über das Arbeitsamt besorgt und durch uns bezahlt, begriffen oft nicht die Aufgabe und sie neigten dazu, Gefälligkeitsurteile abzugeben, in der Hoffnung, wenn sie alles schön und gut fanden, wieder zu dieser angenehmen und bezahlten Arbeit herangezogen zu werden.

Die Aufstellung des Systems zur Blendungsbegrenzung.

Von den Daten eines beleuchteten Raumes zur charakteristischen Leuchtdichtebegrenzung einer Leuchte.

Es war klar, dass das System in einer Begrenzung der Leuchtdichte der Leuchten im Winkelbereich zwischen horizontaler und unter 45° geneigter Ausstrahlung bestehen sollte, unter Berücksichtigung verschiedener lichttechnischer und geometrischer Vorgaben bestimmter Qualitätsforderungen. Wie aber kommt man von den zahlreichen Daten einer Beleuchtungssituation in einem bestimmten Raum zu einer charakteristischen, die Blendung bestimmenden, Leuchtdichte-Verteilung der Leuchte?

Wir machten die Vereinfachung, jeweils die Leuchtdichte der Leuchte in Raummitte zum Beobachterauge mit der Bewertung der Blendung zu korrelieren. Nun konnte man z. B. für eine bestimmte Raum-Breite und -Höhe, Beleuchtungsstärke, Leuchtenart und -Anordnung in einem immer länger werdenden Raum die Leuchtdichte-Verteilung einer Leuchte ermitteln die zu einer bestimmten Blendungsempfindung führte. Das wurde mit den zahlreichen Untersuchungsdaten vorgenommen und die Ergebnisse sortiert, nach Beleuchtungsstärke, Art der Leuchten (Einbauleuchten oder Leuchten mit leuchtenden Seitenteilen), Grad der Blendungsfreiheit, usw. Daraus entstanden die Leuchtdichtebegrenzungskurven, die die psychologische Blendung in Räumen verschiedener Dimensionen, mit verschiedener Beleuchtungsstärke, usw. auf einen bestimmten Blendungsgrad begrenzen.

Überprüfung der Leuchtdichtebegrenzungskurven.

Der Bezug der Blendung auf die Leuchtdichte der Leuchte in Raummitte ist problematisch; er konnte nur dort funktionieren, wo man einigermaßen „anständige“ Leuchten verwendete – wie offenbar in unseren Untersuchungen, wie sich später zeigte - . Es bedurfte einer Überprüfung durch ein gezieltes Experiment.

Dazu wurde ein Modell-Raum wie folgt geändert: Die Decke wurde mit speziell gefertigten Leuchten bestückt, die nur Licht zum Beobachterauge gaben, also kaum zur Beleuchtungsstärke im Raum, d. h. zur Umfeldleuchtdichte, beitrugen. Diese wurde durch senkrecht an den Raumwänden angeordnete Lampen erzeugt, die hinter Schirmen verborgen

waren und deren Lichtstrom geregelt werden konnte. (Durchleuchtete Wände ließen sich in unserer Anlage nicht einrichten). Die Leuchtdichte jeder an der Decke angebrachten Leuchte konnte separat geregelt werden. So konnten Beleuchtungssituationen erzeugt werden, bei denen die Leuchtdichte der Leuchten zum Beobachteraue einer Begrenzungskurve entsprach, die nach den früheren Untersuchungen zu einem bestimmten Blendeindruck führen sollten. Das wurde in einer Anzahl Situationen zufriedenstellend bestätigt.

Einführung des Systems in die Praxis, DIN 5035.

Nach langen Diskussionen im FA Innenbeleuchtung und in der Arbeitsgruppe Blendung wurde das System in DIN 5035 aufgenommen. Die Begrenzungskurven wurden dort für einige Beleuchtungsstärken und Grade der Blendfreiheit dargestellt. Die Grade der Blendfreiheit wurden mit anonymen Bezeichnungen versehen, damit sich niemand diskriminiert fühlt, wenn bei seiner Arbeit z. B. Blendung zwischen merkbar und störend zugelassen wird.

Für die Anwendung des Systems in der Praxis mussten einige technische Fragen verbindlich geregelt werden. So wurde z. B. die Zuordnung zulässiger Blendungsgrade zu bestimmten Arbeiten vereinbart, aufgrund der praktischen Erfahrung der Mitglieder des Faschausschusses. Ein weiteres Problem war: was ist die Leuchtdichte einer Leuchte, deren gesehene Fläche ungleich hell ist? Dieses Problem war dringender geworden, weil inzwischen vermehrt Lampen mit höheren Leuchtdichten als die der früheren Leuchtstofflampen eingesetzt wurden. Eine einfache Mittelung kann in manchen Fällen zu unsinnigen Ergebnissen führen, z. B. wenn einige Quadratmeter Decke mit einer nackten Lampe zu einer Leuchte erklärt werden, deren gemittelte Leuchtdichte natürlich sehr niedrig ist. Hier mussten maximal zulässige Leuchtdichteunterschiede definiert werden. Soweit sie nicht aus Untersuchungen hergeleitet werden konnten, mussten wieder die Erfahrung und der gesunde Menschenverstand helfen. Im übrigen müssen diese Probleme auch bei allen anderen Blendungsbewertungssystemen geklärt werden.

Das in DIN 5035 aufgenommene System zur Blendungsbewertung wurde von vielen europäischen Ländern übernommen, nicht aber von Großbritannien und den wirtschaftlich dorthin orientierten Ländern, z. B. Norwegen, die das British Glare Rating System beibehielten, ebenso Australien. Auch US - Amerika behielt sein eigenes Blendungsbewertungssystem bei.

Abschließend soll betont werden, dass das „Einfache System zur Blendungsbewertung“ nicht das Werk einer einzelnen Person ist. Abgesehen von den Mitarbeitern, die direkt an den Arbeiten beteiligt waren, sind Erkenntnisse aus vielen Diskussionen im eigenen Hause und im FA Innenbeleuchtung bzw. der Arbeitsgruppe Blendung in die Arbeit eingeflossen.