
Basis der Festlegung von Beleuchtungsstärkewerten in Beleuchtungsnormen

November 2006
ERGONOMIC Institut
Dr.-Ing. Ahmet Çakir

Kurzfassung

In dieser Studie wurde die Entstehungsgeschichte der in Beleuchtungsnormen festgelegten Werte für Beleuchtungsstärken untersucht. Diese Werte werden seit 1935 in diversen Normen festgelegt, z.B. in DIN-Normen in Deutschland oder in Regelwerken der IESNA in den USA. Anders als vielfach geglaubt wird, lässt sich keine wissenschaftliche Basis für sie finden. Dies wurde vor etwa 20 Jahren durch Krochmann und Kirsch in einem Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz festgestellt. Später hat ein anderer weltweit anerkannter Fachmann der Lichttechnik, Peter Boyce, die angebliche Begründung der geforderten Beleuchtungsstärken als Märchen bezeichnet, das erfunden worden ist, um die auf Vereinbarungen der lichttechnischen Fachkreisen beruhenden Werte mit Fakten zu unterfüttern. Peter Boyce hat mit Hilfe von Wirtschaftsdaten nachgewiesen, dass die Festlegungen in den Normen eher nach dem Zustand der Gesamtwirtschaft erfolgt sind als nach der Sehleistung.

In der Tat hat es nicht an Versuchen gefehlt, die Sehleistung als Begründung heranzuziehen. Aus einem solchen Ansatz kann man aber allenfalls sehr weite Bereiche für die Empfehlung der Beleuchtungsstärke wie 400 lx bis 4.000 lx oder ähnlich ableiten. Für die Büroarbeit ließe sich allenfalls ein Wert von etwa 100 lx begründen, wenn überhaupt. Boyce hat die von der IESNA für die USA festgelegten Werte über mehrere Jahrzehnte zusammen gestellt und gezeigt, dass sie eher durch das politische und ökonomische Umfeld bedingt waren denn durch Sehleistung oder durch irgend einen anderen objektivierbaren Faktor. Der große Traum, eine Leistungssteigerung bei der Arbeit durch höhere Beleuchtungsstärken nachzuweisen, war eigentlich schon in den 1920ern ausgeträumt. Ende der 90er Jahre hat sich ein deutsches Forscherteam, das das Sick-Building Syndrome untersuchen wollte, an die Aufgabe gemacht, die Gesundheitsstörungen in Bürogebäuden durch eine Verdoppelung der Beleuchtungsstärken zu mindern. Der ansonsten sehr mitteilsame Forschungsbericht schweigt sich zu dem Ergebnis allerdings vielsagend aus.

Die neuesten Normen für Beleuchtungstechnik (DIN EN 12464-1 und DIN 5035-7) haben die alten Werte zum größten Teil zahlenmäßig gleich übernommen, daraus aber einen nie zu unterschreitenden Wert in gleicher Höhe abgeleitet. Dies bedeutet eine Steigerung um mindestens 20% für gleiche Arbeitsplätze. Für Büros mit Arbeitsplätzen in Fensternähe wurde die Beleuchtungsstärke faktisch verdoppelt, obwohl die meisten Mitarbeiter die künstliche Beleuchtung ihrer Arbeitsplätze eher für zu hell als zu dunkel halten. Für manche Arbeitsplätze, z.B. für solche in Schaltwarten wurden die Beleuchtungsstärken verdoppelt, obwohl dort üblicherweise viele Licht empfindliche aktive Anzeigen benutzt werden. Für eine lange Liste von Arbeitsplätzen ergeben sich erhebliche Erhöhungen für Beleuchtungsstärken, ohne dass ein erkennbarer Grund hierfür vorliegt.

Zwar kann man theoretisch eine Planung nach der Norm DIN EN 12464-1 so durchführen, dass man die neuen höhere Werte nur in einem begrenzten Bereich der Sehaufgabe vorsieht und damit mit der Energie sparsam umgeht. In Deutschland soll man aber diese Bereiche auf alle Flächen im Arbeitsraum ausdehnen, auf denen sich ein Mitarbeiter aufhalten kann.

Angesichts der Tatsache, dass etwa 40% der in Bürohäusern verbrauchten elektrischen Energie für Beleuchtung aufgewendet wird, scheint es bei der derzeitigen Situation der Umweltproblematik unsinnig, nicht begründete (und vermutlich nicht begründbare) Erhöhungen des Energieaufwands durch Änderungen in der Normung einführen zu wollen. Dass allein mindestens 20% durch eine verbale Umwidmung eines Begriffs (!) herbeigeführt werden sollen, stellt vermutlich einen einmaligen Vorgang im Umgang mit dem Stand der Wissenschaft und Technik dar, den die normierten Werte nach Meinung Vieler darstellen.

Da man sich mittlerweile von den seit 1935 gültigen Güte Merkmalen der Beleuchtung verabschiedet hat, wird künftig die Qualität der Beleuchtung weitgehend an der Beleuchtungsstärke gemessen. Diese mit unbegründeten Maßnahmen zu erhöhen in einer Zeit, in der man die Energieeffizienz von Gebäuden zu einem Politikum machen musste, kann sich bitter rächen, weil man beiden Anforderungen zusammen nur mit Leuchtensystemen genügen kann, die kaum jemand akzeptieren wird.

Basis der Festlegung von Beleuchtungsstärkewerten in Beleuchtungsnormen

November 2006
ERGONOMIC Institut
Dr.-Ing. Ahmet Çakır

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	2
2	Historie oder akuter Alltag?	4
3	Das Sehobjekt oder gleich den ganzen Raum beleuchten?	6
4	Steigerung von „Lux-Werten“	13
5	Wie viel Lux brauchen arbeitende Menschen wirklich? - Eine Historie der Ableitungen	16
5.1	Neue Wertigkeit für die Beleuchtungsstärke	16
5.2	Festlegung der Beleuchtungsstärke nach „Sehleistung“	17
5.3	Festlegung der Beleuchtungsstärke nach „Unterschiedsempfindlichkeit“	17
5.4	Festlegung der Beleuchtungsstärke nach Erkennbarkeit von Gesichtern	22
5.5	Festlegung der Beleuchtungsstärke nach „Art des Raumes bzw. der Tätigkeit“	25
5.6	Festlegung von Beleuchtungsstärken in den USA - nach Politik und Wirtschaftswachstum	30
6	Nachts den Tag simulieren?	33
6.1	Über nicht-visuelle physiologische Wirkungen des Lichts	33
6.2	Nachtstimmung tagsüber - Tagesbeleuchtung nachts?	33
7	Bewertung und Schlussfolgerungen	38
	Literatur	41
	Regelwerke	42

1 Vorwort

Diese Studie ist erforderlich geworden, weil sich die Rahmenbedingungen für die Berücksichtigung von Normen im Arbeitsschutz durch die neue Gesetzgebung geändert haben. Die nationale Gesetzgebung der Mitgliedsstaaten der EU wurde ersetzt durch eine Reihe von Richtlinien, die ein Mindestniveau an Arbeitsschutz für alle EU-Bürger garantieren sollen. Die Staaten mussten diese in ihre Gesetzgebung übernehmen, nachdem sie ihre bereits vorhandenen Regelwerke überprüft haben. In diesem Zuge wurde nicht nur das Arbeitsschutzgesetz neu geschaffen sowie die Bildschirmarbeitsverordnung als gesetzliche Grundlage für die Arbeit mit Computern erlassen, sondern auch die seit 1975 geltende Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) reformiert. Für die Beleuchtung besitzt diese in August 2004 in Kraft getretene Änderung eine besondere Bedeutung, weil sie die gesetzliche Grundlage hierfür gebildet hat. Die Arbeitsstättenrichtlinien, die zur Konkretisierung der ArbStättV dienen sollten, haben die Normen für die künstliche Beleuchtung zum Teil übernommen.

Die auf der Basis der EU-Richtlinien für den Arbeitsschutz ins Deutsche Recht übernommenen Vorschriften geben das Recht, Grenzwerte für Sicherheit und Gesundheit zu bestimmen, dem Staat. Daher soll auf die bislang als arbeitsschutzrelevant angesehenen Werte für Beleuchtungsstärken oder für die Blendungsbegrenzung in Beleuchtungsnormen nicht mehr direkt Bezug genommen werden.

Dadurch entsteht ein Bedarf an Festlegungen durch den Staat, der dieser Aufgabe zwar ohne Rücksicht auf existierende Normen nachkommen könnte. Sinnvoll wäre dies indes kaum, weil sich die Beziehungen zwischen staatlichen Regelwerken und Normen nicht in Arbeitsschutzbelangen erschöpfen. Der Staat und die Normungsinstitutionen kooperieren seit langem auch auf Vertragsbasis. Geändert haben sich allerdings die Spielregeln erheblich, sodass eine neue Basis gefunden werden muss.

Hinsichtlich der Gestaltung von Produkten ist diese Basis einwandfrei - aber für Viele nicht einfach verständlich - beschrieben: Produktnormen werden für ganz Europa geschaffen, die den entsprechenden Normen zuwider stehenden nationalen Normen werden abgeschafft, und kein Staat der EU erlässt Regelwerke, die Produkte in seinem Herrschaftsbereich diskriminieren. Im Gegenzug sollen die Produktnormen die „Sicherheit“ eingebaut haben. Der „Staat“, in der Gestalt der EU-Kommission, geht davon aus, dass die Belange des Arbeitsschutzes in den Produktnormen hinreichend berücksichtigt worden sind. Weiterhin geht er von der Annahme aus, dass die Gesetze aller Mitgliedsstaaten auf einer gleichen Schutzzvorstellung des Menschen beruhen, sodass keine unterschiedlichen Normen für Produkte erforderlich sind.

Dieses Konzept lässt sich auf Beleuchtung leider nicht anwenden, weil diese kein Produkt an sich ist, aber mit Hilfe von Produkten realisiert wird. Wenn über-

haupt, ist Beleuchtung das Produkt eines Planers. Was ist dann die Rolle von Beleuchtungsnormen? Wenn man sich deren Inhalt anschaut, stellt man fest, dass sie eigentlich Verhaltensregeln für die Verwendung von bestimmten Produkten (Leuchten, Oberlichtelemente etc.) enthalten, ohne dass damit Produkteigenschaften festgelegt werden sollen bzw. können (sog. Planungsnormen). Allerdings können Normen sehr wohl einzelne Produkte, gewollt oder versehentlich, bevorzugen und damit andere diskriminieren. Allein deswegen muss darauf geachtet werden, dass die Bestimmungen von Normen stets wohlbegründet sind, im Idealfall mit Hilfe von wissenschaftlichen Studien. Eine wissenschaftlich einwandfreie Begründung von Bestimmungen von Normen ist allerdings nicht erforderlich. Wenn man dies für einen Großteil von Normen verlangen würde, könnte die Normungstätigkeit zum Erliegen kommen. Verlangen kann man allerdings, dass sich Normen nicht gegen wissenschaftliche Erkenntnisse, insbesondere gegen solche aus dem Bereich Ergonomie, Arbeitswissenschaft bzw. Arbeitsmedizin, verstoßen.

Beleuchtungsnormen für Arbeitsstätten stehen potenziell in Konflikt mit dem Arbeitsschutzgesetz, weil dieses vom Arbeitgeber verlangt, stets den neuesten Stand der Wissenschaft und Technik zu berücksichtigen und den Erfolg der getroffenen Maßnahmen zu überprüfen. Gegebenenfalls muss dieser neue Maßnahmen treffen bzw. er kann auf nutzlose Maßnahmen verzichten. Das ist der tiefere Sinn, der hinter dem Konzept der EU-Kommission steckt, wonach im Bereich des Arbeitsschutzes keine Anbindung an Normen vorgesehen ist. Wie soll ein Arbeitgeber bei Bedarf neue Maßnahmen bezüglich Beleuchtung treffen, wenn alles haarklein in Normen festgelegt worden ist?

Dies besagt nicht, dass Normen ihren Wert für den Arbeitsschutz gänzlich verloren hätten. Man kann sie nach Prüfung der Vereinbarkeit mit den gesetzlichen Bestimmungen in staatlichen Regelwerken verwenden, so wie früher DIN 5035-2 auszugsweise in die Arbeitsstättenrichtlinie ASR 7/3 eingeflossen ist. Die Hürde liegt allerdings jetzt höher, u.a. deshalb, weil die Bildschirmarbeitsverordnung vorschreibt, dass zufriedenstellende Lichtverhältnisse auch im Hinblick auf die sehkraftbedingten Bedürfnisse des Benutzers gewährleistet sind. In Klartext bedeutet diese Vorschrift, dass eine individuelle Anpassung an die Anforderungen des Einzelnen notwendig ist. Dies sieht bislang keine Norm außer DIN EN 9241-6 vor. Insbesondere Normen, die im Bereich Lichttechnik erarbeitet worden sind, differenzieren nicht zwischen Benutzern, obwohl dies in anderen Bereichen seit Jahrzehnten üblich ist. Mehr noch, lichttechnische Normen gelten für „Normalsichtige“, obwohl niemand definiert hat, was „normalsichtig“ sein soll, und niemand sich Gedanken darum macht, was man Nicht-Normalsichtige tun muss. In den Industriestaaten sind diese aber wahrscheinlich in der Mehrzahl!

Im Folgenden wird dargestellt, wie weit die für die jüngsten Normen für die Beleuchtung von Arbeitsstätten (DIN EN 12464-1 und DIN 5035-7) wichtigste Größe, die Beleuchtungsstärke, nach wissenschaftlichen Erkenntnissen festgelegt worden ist.

2 Historie oder akuter Alltag?

Der von den Problemen des Arbeitsalltags geplagte Mensch hat keine Zeit, um sich auch noch Gedanken über die Herkunft der Angaben zur Beleuchtungsstärke in Normen zu machen. Wozu auch? Hat sich nicht eine immer größer werdende Schar von Experten seit 1920 den Kopf darüber zerbrochen, wie man ihm zu einer angemessenen Leistung, zur Gesundheit und zum Sehtkomfort verhilft? Eine Zeit lang, etwa zwischen den Jahren 1934 und 1944, hat sich sogar der Staat in Deutschland höchstpersönlich darum bemüht. Wie wichtig man diese Aufgabe nahm, kann man nicht nur daran ermessen, dass man im Jahre 1941, als sich Deutschland im größten Krieg aller Zeiten befand, Zeit finden konnte, einen Fachnormenausschuss Lichttechnik zu gründen. Die Bedeutung der Lichttechnik hatte man bereits viel früher so hoch eingeschätzt, so dass überall auf der Welt Lichttechnische Gesellschaften gegründet worden waren, so z.B. 1906 in den USA! Die ersten deutschen Richtlinien zur Beleuchtung von Arbeitsstätten wurden 1931 vom Vorgänger der LiTG, der DLTG, veröffentlicht und nur wenige Jahre später als Deutsche Norm DIN 5035 übernommen.

Nach welchen Vorstellungen man im Jahre 1931 bzw. 1935 die für erforderlich gehaltenen Beleuchtungsstärken festgelegt haben könnte, könnte man schnell erraten, wenn man sich die Lampen- und Strompreise aus den Jahren anschaut und sich parallel dazu die Einkommen der Menschen in der damaligen Zeit vergegenwärtigt. Schließlich musste man damals mit den Ressourcen sparsam umgehen. Es waren die Jahre der Weltwirtschaftskrise. Doch: Weit gefehlt! So extrem unterschiedlich zu heute waren die Werte nicht. Man hat nur fein differenziert, wo man denn das Licht braucht. Dort, wo ein Raumteil nicht dem Nutzungszweck der Arbeitsstätte unmittelbar diente, brauchte man weniger Licht, bei groben Arbeiten 20 lx, ansonsten 40 lx. Die Beleuchtungsstärken selbst wurden nach Art der Arbeit differenziert verlangt, wie die Tab. 1 zeigt.

Auf die Idee, das Licht gleichmäßig über den Arbeitsraum aufzutragen als eine Art Lichtteppich, kam man etwas später, als die Behauptung aufgestellt wurde, dass für eine hohe Arbeitsleistung eine Allgemeinbeleuchtung benötigt würde.

Als Beispiel dazu sei die im Jahre 2003 abgeschaffte DIN 5035-2 angeführt, die für Lagerräume für gleichartiges oder großteiliges Lagergut eine Nennbeleuchtungsstärke von 50 lx gefordert hat. Da dann die Mindestbeleuchtungsstärke 60% davon, d.h. 30 lx betragen durfte, war die Anforderung der Norm von 1935 für solche Arbeiten sogar höher. Auch für „Technisches Zeichnen“ wurde mehr verlangt. Für die Büroarbeit hingegen deutlich weniger. Auf welcher wissenschaftlichen Basis die Werte festgelegt wurden, wird man in der Literatur nicht finden. Dass es eine solche Basis gegeben haben soll, ist ohnehin fraglich, da man seinerzeit Licht kaum zuverlässig hat messen können. Da man ohne Messen der Einflussgrößen kein Experiment betreiben kann, müssen die Werte vermutlich abgeschätzt worden sein. Da die Tab. 1 keine besondere Genauigkeit erwarten lässt, kann dies auch akzeptiert werden.

Tab. 1 Mindestbeleuchtungsstärken nach DIN 5035 vom Jahre 1935

Art der Arbeit	Mindestbeleuchtungsstärke am Arbeitsplatz Lux	Typische Arbeiten (beispielhaft)
Grob	40	Grobe Transport- und Lagerarbeiten, Arbeiten an Gerggruben, in Gärkellern von Brauereien
Mittelfein	80	Gewöhnliche Lager- und Packarbeiten, Arbeiten in Kaltwalzwerken, Korbwaren- und Bürstenherstellung
Fein	160	Büro- und Buchhaltungsarbeiten, Spritzlackieren, feine Sägearbeiten
Sehr fein	1000	Technisches Zeichnen, feine Wickel und Schaltarbeiten, Retusche

Warum man z.B. die Anforderung für die Arbeiten in der Buchhaltung später erhöht hat, z.B. auf 250 lx, kann man nachvollziehen, wenn man sich das Arbeitsgut anschaut: Bis in die achtziger Jahre hinein wurden in der Buchhaltung Durchschläge benutzt, wobei bereits die Originale häufig schlecht lesbar waren. Schlechte Sehaufgabe, mehr Licht - macht Sinn! Ob man auch einen Sinn darin sehen könnte, dass man im Jahre 2006 einen nie zu unterschreitenden Wert von 500 lx verlangt (so in DIN 5035-7)? Was sind die Sehaufgaben von heute? Durchschläge? Weit gefehlt, wenn man überhaupt Daten in der Buchhaltung vom Papier tippt, dann vorwiegend bedruckt vom Laserdrucker. Ansonsten behandelt man die Daten gleich auf dem Bildschirm, und den sollte man lieber gar nicht beleuchten. Ob die „modernen“ Normen deswegen keine Begründung für ihre Beleuchtungsstärkewerte angeben, wie es die erste Norm pflichtbewusst getan hatte?

Es scheint, wir haben ein akutes Problem. Die Historie könnte uns helfen, das Problem zu verstehen - und vielleicht auch zu lösen.

3 Das Sehobjekt oder gleich den ganzen Raum beleuchten?

Der Begriff Beleuchtungsstärke wird in Lehrbüchern der Lichttechnik bzw. in Vorlesungen häufig mit einem Bild erklärt, das einer Messanordnung im Labor entspricht. In der Theorie besteht die Lichtquelle aus einem Punkt, der Ort der Messung auch. So entspricht der im Labor gemessene Wert tatsächlich dem theoretischen Begriff. Und eine höhere Beleuchtungsstärke bedeutet immer, dass an dem Messort mehr sichtbare Strahlung ankommt.

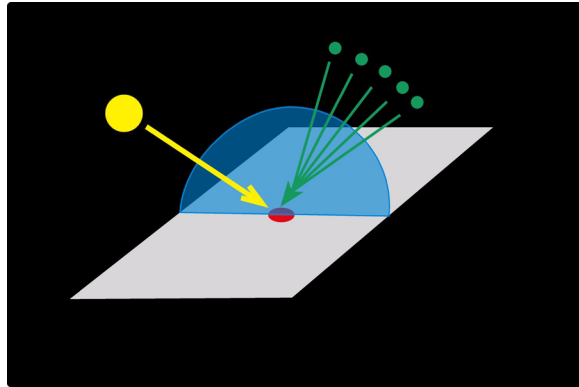
Anders hingegen in der Beleuchtung. Die in einem Punkt gemessene Beleuchtungsstärke ist Produkt des Lichteinfalls aus dem gesamten Halbraum in der Messrichtung. So misst man z.B. die Beleuchtungsstärke in einem Fußballstadion in der Mitte des Spielfelds, wo sie von vier Masten in mehr als 60 m Entfernung erzeugt wird. Ob der so gemessene Wert überhaupt eine Bedeutung für das Sehen hat, ist sehr fraglich. Die Messung in einem großen Büro ist mit einem ähnlichen Fragezeichen zu versehen, weil auch hier das Licht aus vielen Richtungen kommt (s. Bild 1).

So sehr solch ein Messwert fragwürdig ist, gegenüber dem Begriffswirrwarr um das Wort „Beleuchtungsstärke“ bleibt der dadurch entstehende Fehler noch erträglich. Nach der in Deutschland seit Jahrzehnten gepflegten Vorstellung, versteht man unter Beleuchtungsstärke in einem Raum nicht einen physikalischen Messwert an einem Punkt, sondern eine Rechengröße für den betreffenden Raum bzw. den relevanten Teil davon. Wie diese Größe berechnet werden soll, wurde z.B. in DIN 5035-6 angegeben. Da man auch die sog. Allgemeinbeleuchtung vorzog, verstehen heute noch viele Leute eine Rechengröße, gemittelt über den ganzen Raum. Um das Ganze noch komplizierter zu machen, wurde der Begriff Nennbeleuchtungsstärke definiert. Dieser ist nicht nur ein örtlicher, sondern auch noch zeitlicher Mittelwert. Über welchen Zeitraum man mittelt bzw. mitteln soll, wird man allerdings nirgendwo lesen können.

Muss man gleich einen ganzen Raum beleuchten, um ein Objekt darin sichtbar zu machen? Üblicherweise würde man das Objekt beleuchten, das man erkennen möchte. Und die Beleuchtungsstärke darauf könnte man genau wie im Labor messen. Das Sehobjekt direkt zu beleuchten, scheint sinnvoll. Dass es sinnvoll ist, kann man an unzähligen Beispielen vorführen. Es gibt aber ebenso unzählige Beispiele, wo es falsch ist, z.B.:

Das Objekt glänzt: Jedes einseitig gerichtet einfallende Licht auf das Objekt kann die wichtigen Details vor dem Betrachter eher verstecken, als es sie ihm sichtbar macht. Wenn man den Raum beleuchtet und das Objekt ausspart, kann man häufig viel besser sehen. Die Ausleuchtung des Objekts übernimmt das von dem Raum reflektierte Licht. Dies ist sinnvoll, wenn man nicht gerade darauf aus ist, den Glanz zu betonen.

Bild 1 Verteilungsunabhängigkeit der Beleuchtungsstärke: Für die Berechnung ist unerheblich, ob das Licht aus einer einzigen Richtung (Quelle) einfällt oder aus allen Richtungen, sofern sich der gleiche Wert ergibt (oben). Ob das halbe Dach eines Stadions leuchtet, oder das Licht aus nur zwei Masten einfällt, ist ebenso unerheblich (unten)



Es gibt nicht nur ein Objekt: Anstelle der Beleuchtung des einzelnen Objekts, kann man das Licht an viele Stellen richten. Warum dann nicht gleich überall hin? So wurde einst die sog. Allgemeinbeleuchtung für alle von manchen Experten begründet.

Wenn man gar den Raum ausleuchten will und nicht bestimmte Objekte in diesem, wird man das Licht an viele Stellen richten müssen.

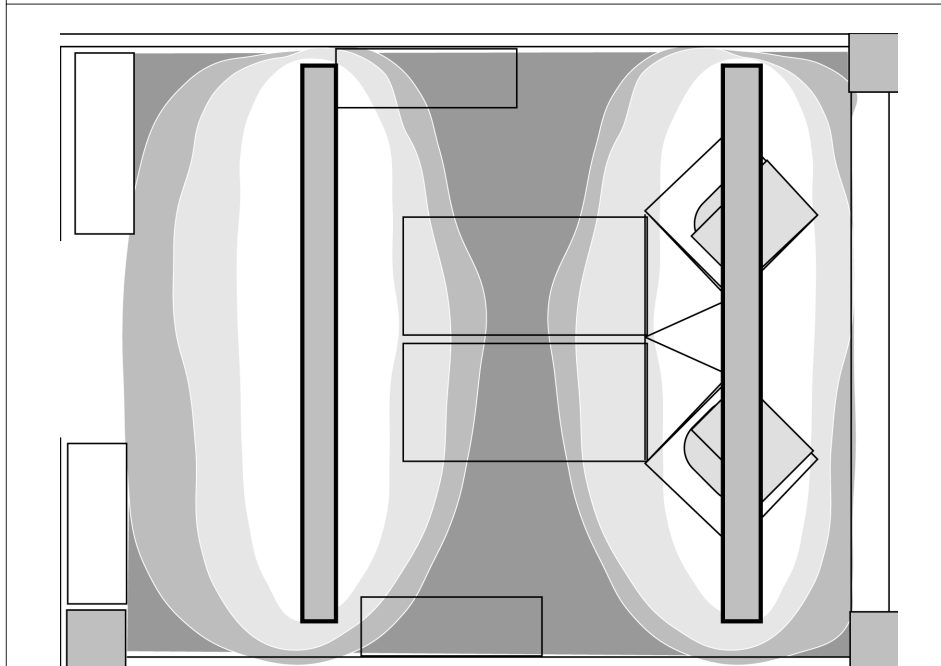
Wo das Objekt sein wird, weiß man noch nicht: Bei einer Planung eines Gebäudes, dessen Nutzung (z.B. Besiedlung eines Großraumbüros) noch nicht feststeht, macht es wenig Sinn, das Licht auf bestimmte Stellen zu lenken. Ergo man beleuchtet den ganzen Raum, damit später alle eingebrachten Sehobjekte erkannt werden können. Dies war eine weitere, wohl die am häufigsten vorgebrachte Begründung für eine Allgemeinbeleuchtung - allerdings dachten die militanten Anhänger der Allgemeinbeleuchtung an etwas anderes.

Für Hallen ohne vorbestimmten Verwendungszweck trifft die Vorstellung zweifellos zu. Muss man dann aber auch Zellenbüros (über 80% des Büroraumbestands in Deutschland) deswegen mit Allgemeinbeleuchtung überziehen?

Schließlich füllt man Räume bei ihrer Erstellung nicht mit Stühlen, weil man nicht weiß, wo man später sitzen wird. Die Fragwürdigkeit der Vorstellung wird besonders dadurch deutlich, wenn man in solchen Räumen die Beleuchtungsstärke tatsächlich misst (Bild 2). Sie ist dort höher, wo die Sehobjekte nicht sind, und nicht an derjenigen Stelle des Arbeitsplatzes, wo der Benutzer Licht brauchen könnte. Dadurch wird es dort, wo der Benutzer lesen soll, dunkler, weil mehr Licht in der Umgebung eher stört denn nützt, insbesondere, wenn es den Bildschirm beleuchtet, anstelle es möglichst auszusparen.

Es ist also eine Frage des beabsichtigten Nutzens, ob man eine Allgemeinbeleuchtung benutzt - und die Beleuchtungsstärke dementsprechend misst - oder nicht.

Bild 2 Verteilung der Beleuchtungsstärke in einem üblichen Büroraum mit Bildschirmarbeitsplätzen. Der Bereich, in dem Papierbelege gelesen werden, ist der dunkelste Teil des Arbeitstisches, während sich die Bildschirme in dem hellsten Bereich befinden.



Die Beleuchtung des Sehobjekts allein erzielt nicht die beste Sehleistung: Wenn das Sehobjekt und dessen Umgebung unterschiedliche Leuchtdichten aufweisen, muss sich das Auge bei jedem Blickwechsel anpassen. Dies führt einer landläufigen Vorstellung nach zur Ermüdung des Auges. Zwar ist es bis heute niemandem gelungen, eine Augenermüdung nachzuweisen, dennoch hält sich die vor etwa 80 Jahren entstandene Mär hartnäckig und zieht sich durch die gesamte lichttechnische Literatur durch. Wie jede Sage hat sie allerdings einen wahren Kern: Bereits etwa 1920 hat F.W. Leffingwell herausgefunden, dass zu dunkle Tische gegenüber dem darauf liegenden Papier ein Unwohlsein erzeugten. Er empfahl, diesen Unterschied relativ gering zu halten. Daraus entstand die

Faustformel 10:3:1 zwischen den Leuchtdichten des Sehobjekts, dessen Umgebung und der weiteren Umgebung. Sie lässt sich bis zum Jahr 1947 zurückverfolgen, als in dem ersten Handbuch von IES (jetzt IESNA, 1947, zitiert in Köhler, 1952) diese Werte empfohlen wurden. In der letzten Ausgabe von DIN 5035-1 vom Jahre 1990 waren die Werte auch vorhanden.

Tatsächlich kann man feststellen, dass diese Faustformel funktioniert (Çakir, 2006). Das Gegenteil, Beleuchten des Sehobjekts bzw. der relevanten Sehobjekte, funktioniert zwar für Ausstellungen oder Schaufenster, jedoch nicht in Räumen, in denen man arbeiten oder leben möchte.

Die Sehleistung leidet unter Leuchtdichteunterschieden: Bereits in den 1930er Jahren war man der Meinung, dass (zu große) Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld die Sehleistung herabsetzen (was unter bestimmten Umständen auch stimmt), und damit auch die Arbeitsleistung (was wohl niemand je nachweisen werden wird). Daher wurde angestrebt, möglichst gleiche Leuchtdichten überall zu erzielen - ergo überall die gleiche Beleuchtungsstärke. Anfang der fünfziger Jahre hatten US-amerikanische Blendungsforscher wie S.K. Guth Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld oberhalb von 1:5 gar in den Rang einer Blendung erhoben.

Wie dem auch sei, bereits in den 30er Jahren hatte sich die Vorstellung durchgesetzt, man müsse alle Arbeitsbereiche gleichmäßig beleuchten, um die beste Arbeitsleistung zu erzielen. Dies kann man nicht nur bei Sewig (1938) lesen, sondern häufig in der Literatur der Büroorganisatoren. In den 40er Jahren machte die Deutsche Arbeitsfront (DAF) sogar einen Slogan daraus „Gleiches Licht für alle Volksgenossen“!

Bedauerlicherweise sehen auch Fachleute den Unterschied in den Konzepten nicht. „Gleiches Licht für alle Volksgenossen“ sollte bedeuten, dass an jedem Arbeitsplatz die gleichen visuellen Bedingungen herrschen sollten, sofern die Arbeitsaufgaben und damit auch die Sehaufgaben gleich waren. Hiergegen kann niemand erfolgreich argumentieren. Man kann allenfalls verlangen, dass die Beleuchtung so flexibel sein sollte, dass jeder Mitarbeiter die gleiche (möglichst geringe) visuelle Belastung hätte. Dass aus dem Slogan eine gleichmäßige Beleuchtung für große Räume abgeleitet wurde, hängt mit praktischen Erwägungen zusammen: Wenn Arbeitsplätze umziehen, muss man die Beleuchtung nicht ändern.

Anders hingegen argumentierten diejenigen, die das gesamte Umfeld des Menschen mit der gleichen Leuchtdichte versehen wollten. Sie glauben, dass Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld zur Umadaptation der Augen und hierdurch zur Ermüdung führen würden (s. auch Plarre, 1932). „Allgemeinbeleuchtung“ ist daher nicht ein schlüssiges Konzept, sondern Ergebnis zwei unterschiedlicher Ansätze. Leider leiten Fachleute auch noch zwei unterschiedliche technische Konzepte daraus ab: Für manche bedeutet „Allgemeinbeleuchtung“, dass überall im Raum die gleiche Qualität der Beleuchtung herrscht (s.

Hentschel, 1972), während sie für andere schlicht die gleiche Beleuchtungsstärke überall bedeutet. Ein himmelweiter Unterschied! Diese simplifizierte Vorstellung von Beleuchtungsqualität, die sich seit den 1980er Jahren gegenüber der ganzheitlicheren Vorstellung der deutschen Beleuchtungsnormen mit ihren ehemaligen sechs Gütemerkmalen durchgesetzt hat, kann im Zuge der Bemühungen um Energieeffizienz von Gebäuden den größtmöglichen Schaden anrichten, weil die unangenehmsten Möglichkeiten der Erzielung einer vorgegebenen Beleuchtungsstärke (stark gerichtetes Licht, schlechte Farbwiedergabe, ungünstige Lichtfarbe) bei bester Ausnutzung der Energie zugleich die scheinbar günstigsten sind.

Während man die Allgemeinbeleuchtung im Sinne von „Gleiche Lichtqualität für gleiche Arbeitsplätze“ durchaus vertreten kann, muss man das zweite Konzept, „Gleiche Leuchtdichte im Gesichtsfeld“, sehr argwöhnisch betrachten. Es führt nämlich nicht nur zu der von vielen zitierten „Lichtsoße“. Man kann auch nachweisen, dass alles Licht, das nicht zum Sehen des Sehobjektes dient, auch eine Art Blendung bedeutet. Dieser früher „Umfeldblendung“ genannte Effekt lässt sich sehr schön demonstrieren. Er wird aber in vielen Publikationen den Phänomenen der sog. „optischer Täuschungen“ zugeordnet. In der Arbeitswelt war der Effekt bereits um 1920 bekannt, was dazu führte, dass man von zu hellen Tischen bei der Büroarbeit abriet (Leffingwell, 1927). Er ist mit ein Grund für die Begrenzung von Reflexionsgraden von Möbeloberflächen, wie sie z.B. in DIN 5035-1 empfohlen wurde. Im Prinzip soll das Sehobjekt die hellste Stelle im gesamten Gesichtsfeld bilden, während es darum herum nicht zu dunkel oder zu hell sein darf. Dieses Prinzip lässt sich mit der Natur des Menschen als phototrophes (zum Lichte strebend) Wesen begründen.

Viele Augenmediziner halten nichts von der Angleichung von Leuchtdichten, weil das Auge nach ihrer Meinung häufig umadaptieren sollte. Am deutlichsten hat dies ein Autor ausgedrückt, dessen Arbeiten zu den meist zitierten der lichttechnischen Literatur gehören, Weston. Leider wird seine Kritik an der Allgemeinbeleuchtung zu selten zitiert: *„Befürworter des in Mode gekommenen Helligkeits-Engineering haben empfohlen, dass ideale visuelle Bedingungen dann herrschen, wenn eine gleichförmige Helligkeit im Gesichtsfeld hergestellt wird. Es gibt nichts in der Physiologie, was diese Vorstellung unterstützt. (...) Es gibt eine inhärente Eigenschaft der modernen künstlichen Beleuchtung, die nicht anstrebenswert ist. Das ist ihre Konstanz - eine vielgelobte Eigenschaft, von der behauptet wird, sie begründe die Überlegenheit der künstlichen Beleuchtung gegenüber der wechselhaften natürlichen Beleuchtung. Jedoch, auch wenn Konstanthaltung von Bedingungen für einige kritische Sehaufgaben anstrebenswert ist, Konstanz ist eine nervtötende und abstumpfende Eigenschaft der künstlichen Beleuchtung.“* (Weston, 1954)

Das Konzept der Allgemeinbeleuchtung hat sofort einen Feind gefunden, den Architekten. Dieser liebt das Wechselspiel von Hell und Dunkel, Lichtinseln statt Lichtsoße, Ungleichmäßigkeit statt Gleichheit. Auch Künstler wie Filmemacher

haben ihn dabei unterstützt (s. die berühmte Büroszene aus King Viders Film „The Crowd“ aus 1928, Bild 3). Selbst die geballte Staatsmacht in der Form des „Amtes für Schönheit der Arbeit“ mit dem politisch mächtigsten Architekten seiner Zeit (Albert Speer) konnte den Graben zwischen der Lichttechnik und der Architektur nicht zuschütten. In Billy Wilders Film „Das Apartment“ vom Jahre 1959 sitzt der Hauptdarsteller in einem ähnlichen Raum mit ähnlich gesichtslosen Angestellten wie 1928, bis er befördert wird und ein Büro mit Fenster bekommt. Nur war der reale Großraum von 1959 nicht mehr so düster wie anno dazumal (s. Büroraum aus Union Carbide Headquarters, aus dem Jahre 1959, Bild 4). „Alles hell, alles gleich hell“ war endlich Architektur geworden. Und auch „Norm“: Die US-amerikanische Lichttechnische Gesellschaft IESNA hatte ihre Empfehlungen für die Beleuchtung von leichten Leseaufgaben von 300 lx auf 1000 lx mehr als verdreifacht, und für die von schwierigen Sehaufgaben gleich das Vierfache empfohlen (2000 lx anstelle von 500 lx).

Bild 3 Berühmtes Bürobild aus dem Film „The Crowd“ von King Vidor 1928



Im Jahre 1961 verkündete das „Deutsche Lichtinstitut“, ein eingetragener Verein, die „1000 lx-Bewegung“. Die Norm für Innenraumbeleuchtung (DIN 5035 vom Jahre 1963) machte diese „Erkenntnisse“ zum Stand der Technik. So (allerdings ohne die Gänsefüßchen) beschreibt das Jubiläumsbuch einer lichttechnischen Firma die Historie. „1000 lx überall“! Einen bestimmten Wert an einem bestimmten Ort könnte man schon verstehen, wieso aber im ganzen Raum? Die diversen Gründe hierfür sind oben dargestellt worden. Schlüssig sind sie indes nicht.

Aus dem Dargestellten geht hervor, dass der Begriff „Beleuchtungsstärke“ ein Laborbegriff ist, und damit so weit brauchbar, wie er zur Bezeichnung ähnlicher Situationen benutzt wird (Beispiel: Strahler beleuchtet Bild). In der Art, wie das Wort in der Beleuchtungstechnik benutzt wird, wird es für die meisten Betroffenen weitgehend unverständlich bleiben.

Bild 4 Großraumbüro erbaut 1959 (Hauptsitz der Firma Union Carbide). Dieses Gebäude war für viele Jahre das Mekka der Bürohausarchitekten (Klein, J.G., 1982)



Die Benutzung eines Laborbegriffs für einen Sachverhalt, für den er nicht zutrifft, hat handfeste Folgen. So scheint ein Raum wie z.B. in Bild 7 (s. Seite 24) nicht ausreichend beleuchtet, wenn über große Flächen (z.B. Tischkombinationen) oder gar über den gesamten Raum gemittelt wird, obwohl mehr als genug Licht existiert. Schlimmer noch: Bei der Berechnung der Beleuchtungsstärke wird das Ergebnis erhöht, je mehr Licht in die Fläche fällt, wo sich der Bildschirm befindet! Gerade dort sollte aber möglichst wenig Licht sein, weil es stört.

Die vermutlich unverständlichste Vorstellung wurde mit DIN 5035-7 realisiert: In dieser Norm wird nicht nur über Tischflächen gemittelt, sondern auch über alle Flächen, auf denen sich der Benutzer bewegen kann. Wenn man bei der Planung diese Flächen nicht kennt, muss man über die gesamte Raumfläche mitteln! Es ist ein langer Weg von einem Punkt, an dem man die sichtbare Strahlung misst, zur Mittelung des Lichtflusses über alle Flächen, an denen sich ein Mensch aufhalten kann bzw. könnte. Unlängst wurde im Rahmen eines Schiedsverfahrens beim DIN beschlossen, u.a. diese Vorstellung für eine Änderung der geltenden Beleuchtungsnorm EN 12464-1 einzubringen.

4 Steigerung von „Lux-Werten“

Wie in diesem Beitrag weiter unten dargestellt wird, hat es nicht an Versuchen gefehlt, die Anforderungen, die man an die Beleuchtung stellt, wissenschaftlich zu untermauern. Wie fragwürdig und zuweilen erfolglos die hierbei angewendeten Methoden auch gewesen sein mögen, man darf sie zwar kritisieren, aber nicht etwa ablehnen, da Wissenschaft immer Neuland sucht und deswegen immer nur teilweise erfolgreich sein kann. Dass ihre Methoden später fragwürdig erscheinen, ist ebenso üblich, weil Wissenschaft durch ihr Tun selbst lernt - am erfolgreichsten sogar am Misserfolg. Soweit so gut.

Weniger überzeugend indes fallen die „Methoden“ aus, mit deren Hilfe man zu normativen Aussagen kommt. Wenn sich heute ein deutscher Büromitarbeiter an seinen Arbeitgeber wendet, weil die vor drei Jahren erstellte Beleuchtung seines Bildschirmarbeitsplatzes irgendwie nicht in Ordnung sei, und dieser die Sache sehr ernst nimmt, wird die Sicherheitsfachkraft des Unternehmens wahrscheinlich feststellen, dass an dem Arbeitsplatz nicht einmal halb so viel Licht installiert ist, wie die aktuelle Norm (DIN EN 12464-1) verlangt. Wie kommt sie dazu? Was hätte sie erfahren, wenn sie den Mitarbeiter vor der Messung gefragt hätte, was denn der Grund der Beschwerde ist? Was passiert, wenn die Sicherheitsfachkraft die Verdoppelung der Beleuchtungsstärke durchsetzt? Nachfolgend einige Annahmen, die auf der Basis unserer langjährigen Erfahrungen in der Praxis aufgestellt wurden:

Grund für „zu wenig Licht“ am Arbeitsplatz: Mit etwa 60 bis 75% Sicherheit arbeitet der Beschwerdeführer in einem befensterten Raum, wofür die ehemals zuständige Norm (DIN 5035-2) eine Nennbeleuchtungsstärke von 300 lx empfohlen hat. Hierfür hätte man bei ordnungsgemäßer Planung einen Neuwert von 375 lx installiert. Heute darf die Beleuchtungsstärke an seinem Arbeitsplatz nie unter 500 lx sinken (so nach DIN EN 12464-1), wofür man mindestens einen Neuwert von 750 lx installieren muss. In Räumen mit Raucherlaubnis muss sogar 1.000 lx installiert werden (gemäß Empfehlung des Arbeitsschutzes in BGI 856 (VBG, 2003) bzw. gemäß DIN 5035-7).

Grund für die Beschwerde: Welchen Grund der Mitarbeiter für seine Beschwerde wohl genannt hat, kann jeder leicht erraten, wenn er an seine eigene Arbeitsumgebung denkt. Die Wahrscheinlichkeit, dass die beanstandete Beleuchtung „zu hell“ erscheint, liegt etwa bei 70% bis 80%, während stets weniger als 20% die Beleuchtung für „zu dunkel“ empfinden.

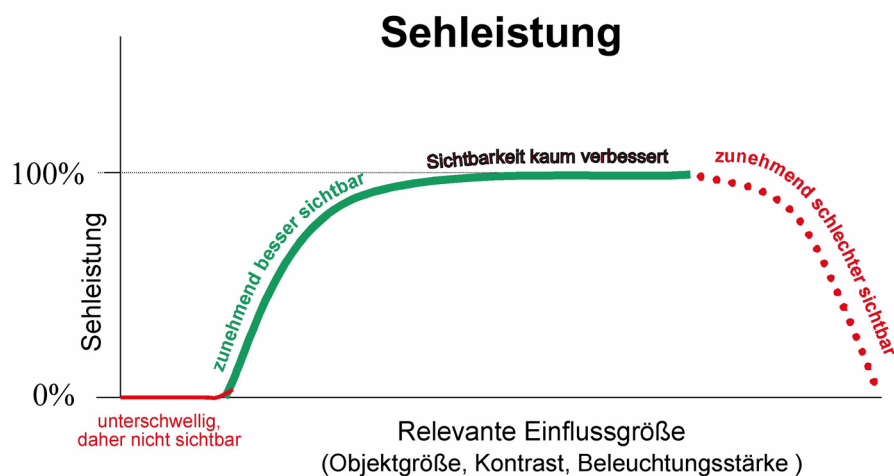
Ergebnis nach der Beseitigung des festgestellten Mangels: Wenn es der Sicherheitsfachkraft gelingen sollte, die Herstellung der „normgerechten“ Beleuchtungsstärke durchzusetzen, wird er vermutlich die Sache nie wieder freiwillig erwähnen. Woher man die Sicherheit nimmt, eine solche Prognose zu wagen? Zum Beispiel aus dem Bericht der größten Studie im deutschsprachigen Raum zu Thema Sick-Building Syndrome (Bischof u.a. Expositionen und gesund-

heitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden, 2003): Im Rahmen eines groß angelegten interdisziplinären Projekts wurde den in der Literatur festgestellten Gesundheitsbeeinträchtigungen durch die Beleuchtung in Arbeitsstätten nachgegangen. Zunächst wurde festgestellt, dass in etwa der Hälfte der untersuchten Gebäude die Nennbeleuchtungsstärke von 500 lx nicht erreicht wurde. Im Rahmen einer darauf folgenden Interventionsstudie wurde in einem Gebäude die Zahl der Leuchtstofflampen verdoppelt. Das Ergebnis lautet: „Anschließend wurden die Ergebnisse vor und nach der Intervention gegenübergestellt, verglichen und diskutiert. Die daraus abgeleiteten Empfehlungen und Schlussfolgerungen wurden ... in einem Interventionsbericht zusammengeführt und dem Gebäudebetreiber zur Verfügung gestellt.“ Wenn sich ein Forscherteam über das Ergebnis einer Studie schweigt, während es die restlichen Ergebnisse in einem über 300 Seiten starken Bericht ausführlich darlegt, kann man sich gut vorstellen, was nach der Verdoppelung der Beleuchtungsstärke passiert ist.

Ungeachtet der jederzeit wiederholbaren Ergebnisse dieser Studie hat man im Jahre 2003 für einen Großteil der im Büro beschäftigten deutschen Arbeitnehmer die Anforderungen an die Beleuchtungsstärke verdoppelt. Wie berechtigt war aber die frühere Anforderung? Zwei anerkannte Lichttechniker, beide Professoren dieses Fachs, haben diese Frage unabhängig voneinander und im Abstand von etwa 40 Jahren beantwortet: Nach Bodmann (1961) steigt die Sehleistung bei Leseaufgaben oberhalb von ca. 100 lx nicht mehr wesentlich an, nach Boyce (2004) kann man allenfalls 100 lx mit Sehaufgaben begründen. (Allerdings haben beide sinngemäß ausgesagt, dass Räume, die nach dieser Anforderung beleuchtet würden, einfach zu dunkel und trostlos erscheinen würden.)

Die Kunst, aus wenigen Lux sehr viel mehr zu machen, wird in geschlossenen Zirkeln ausgeübt, in die Außenstehende kaum Zugang haben. Das nötige Insiderwissen hat sich über 80 Jahre kaum verändert: *Mehr Licht im Raum ist besser, weil es draußen auch mehr gibt.* Dummerweise hat sich die Arbeitswelt allein in den letzten 25 Jahren durch den Computer bis zur Unkenntlichkeit verändert, was sich z.B. auf die Beleuchtungsanforderungen dadurch auswirkt, dass ein Teil der Arbeitsmittel durch Licht mehr oder weniger stark gestört werden (alle Bildschirme, Displays, aktive Anzeigen, Folien etc.) und der Teil, der Licht benötigt, Papierunterlagen, eine noch nie dagewesene optische Qualität erreicht hat. Dennoch arbeiten die High-Lux Befürworter mit Argumenten aus einer Vergangenheit, geprägt durch Bleistift und Kohlepapier, in der man froh war, etwas Licht zum Sehen erzeugen zu können. Als die Argumente für höhere Beleuchtungsstärken entstanden sind, befand man sich im Übergangsbereich zwischen unsichtbar und gerade sichtbar (s. Bild 5, links). So betrug die Beleuchtungsstärke sogar in Setzereien für Bleisatz nur ein paar Lux. Im Büro arbeitete man mit Schreibmaschinen mit abgenutzten Farbbändern und mit dem fünften Durchschlag, erstellt mit verbrauchtem Kohlepapier. Und heute?

Bild 5 Prinzipielle Beziehung zwischen der Sehleistung und den relevanten Einflussgrößen. Wenn die Größe des Objekts, dessen Kontrast oder Helligkeit zu gering sind, sieht das Auge nichts. Bei Verbesserungen, z.B. Vergrößern der Schrift, wird das Objekt besser sichtbar, allerdings nicht gleichermaßen. Ab einer bestimmten Größe sind alle Objekte gleich gut sichtbar.



5 Wie viel Lux brauchen arbeitende Menschen wirklich? - Eine Historie der Ableitungen

5.1 Neue Wertigkeit für die Beleuchtungsstärke

Die Werte für Beleuchtungsstärke, die man getreu dem Konzept „Gleiches Licht für Alle“ überall verschrieben hat, wurden verschiedentlich begründet. Es lohnt sich diese Begründungen, die allesamt in Vergessenheit geraten sind, zu analysieren, weil man auch künftig vernünftige Begründungen brauchen wird, wenn man die Beleuchtungstechnik endlich zu dem machen muss, was dem Gründer des FNL, des Fachnormenausschusses Lichttechnik, vorgeschwebt hat. Seine Vorstellungen hat er 1952 wie folgt dargelegt: *„Der Beleuchtungstechniker kann seine Aufgaben nicht ohne Kenntnis und Berücksichtigung der Physiologie, vor allem aber der Psychologie (der Lehre, welche die Lebensvorgänge erforscht, die der inneren Wahrnehmung zugänglich sind), der seelischen Beeinflussung des Menschen durch Licht, wirklich zufriedenstellend zu lösen, und dies gilt bei der richtigen Beleuchtung am Tage.“* (Köhler, 1952)

Vorerst muss sich der Mensch des 21. Jahrhunderts mit einer Größe beschäftigen, die man bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts schon als ziemlich irrelevant (und daher möglichst schnell zu ersetzen) angesehen hatte: *„Für den Seheindruck ist nicht die Beleuchtungsstärke, sondern die Leuchtdichte des Gegenstandes maßgebend. Sie ergibt sich aus der Beleuchtungsstärke und der Reflexion ... des Gegenstandes.“* (DIN 5035, 1935). Während man 1935 sieben Gütemerkmale festgelegt hatte, die man tunlichst gemeinsam betrachten und realisieren sollte, sagen die neuen Normen: *„Für die Umsetzung einer guten Beleuchtung sind zusätzlich zu erforderlichen Beleuchtungsstärke weitere quantitative und qualitative Merkmale* zu berücksichtigen.“* (DIN EN 12464-1 vom 2001, *Anm.: hier steht zwar „Gütemerkmale“, das Original der Norm enthält aber diesen Begriff nicht.)

Im Jahre 2001 wurde die Beleuchtungsstärke somit offiziell zur wichtigsten Größe in der Beleuchtungstechnik gekrönt. Die Sachlage hat sich aber seit 1935 nicht geändert. Damals hieß es: *„Physiologisch betrachtet ist also die Horizontalbeleuchtung auf der Gebrauchsebene für die Beurteilung einer Raumbeleuchtung häufig von geringerer Bedeutung.“* (Hagemann, 1938). Was heute gilt, drückt eine jüngst veröffentlichte Studie von DIAL wie folgt aus: *„Für den Eindruck der Helligkeit eines Raumes ist nicht die horizontale Beleuchtungsstärke ausschlaggebend, sondern die Beleuchtung auf vertikalen Wandflächen; in größeren Räumen auch auf Deckenflächen.“* (DIAL, 2003) Was dort nicht steht, ist, dass bei vielen Arbeitsumgebungen nur dieser Eindruck bedeutsam ist und schon lange nicht mehr die Sehleistung. Bei nicht wenigen Arbeitsplätzen macht man die Beleuchtung sogar aus, wenn man besser sehen will (z.B. an CAD-Arbeitsplätzen, bei der Bearbeitung von Grafiken, Filmen und Fotos etc.).

Überall, wo das Farbensehen auf dem Bildschirm von Bedeutung ist, stellt die Beleuchtung eher eine Störung dar.

Offensichtlich werden Dinge, die man sogar mit rein physikalischem Wissen ableiten kann, nicht verstanden, auch wenn sie immer wieder durch Studien belegt werden. Die Frage ist, ob mangelndes Können oder gewolltes Unvermögen hierfür verantwortlich ist.

5.2 Festlegung der Beleuchtungsstärke nach „Sehleistung“

Die wohl am besten verstehbare Begründung für Beleuchtungsstärkewerte lieferte Blackwell. Nach seiner Meinung würde ein Sehobjekt mit einer Größe von 4 Bogenminuten (das ist etwa ein Fünftel der Größe eines Großbuchstaben auf einem gut lesbaren Bildschirm) die typische Sehaufgabe repräsentieren bzw. simulieren helfen. Für diese Sehaufgabe bestimmte er dann den erforderlichen Schwellenwert (Blackwell, 1946). Da man bei der Arbeit möglichst nicht an der Grenze der Leistungsfähigkeit eines Organs arbeiten sollte, musste dieser Schwellenwert mit einem gewissen „Praxisfaktor“ multipliziert werden. Im Prinzip ist dagegen nichts einzuwenden, da man sehr häufig so vorgeht, z.T. um den Menschen zu schonen, häufig aber auch um die Qualität des Arbeitsergebnisses zu erhöhen. Aber auch das letztere Vorgehen kommt dem arbeitenden Menschen zugute, weil Fehler oder andere Mängel der geleisteten Arbeit nicht nur den Arbeitgeber belasten. Während dieser sich gegen Fehler durch entsprechende Vorkehrungen (z.B. Endprüfung) schützen oder finanzielle Folgen auffangen kann, belasten Mängel in der geleisteten Arbeit den Arbeitnehmer mehrfach, so auch durch Verlust an Selbstwertgefühl oder Sicherheit des Arbeitsplatzes. Die richtige Wahl der Beleuchtung nur mit dem Ziel einer besseren Sehleistung wäre somit in mehrfacher Sicht vorteilhaft für den Mitarbeiter, allerdings sofern die Sehleistung relevant ist und eine höhere Sehleistung auch eine bessere Arbeitsleistung zur Folge hat.

Obwohl man den Praxisfaktor gut begründen kann, fehlt ein Nachweis dafür, dass er mit 15 (d.h. ein für eine Tätigkeit ermittelte Wert wird mit 15 multipliziert angewendet) richtig gewählt ist. Warum nicht 2,5 oder 7,5 oder 10? Die Antwort wird man in der Literatur vergeblich suchen. Wie vielen Untersuchungen in der Lichttechnik fehlt auch den sich über mehrere Jahrzehnte erstreckenden Studien von Blackwell die Validierung, d.h., man weiß nicht, was die Ergebnisse bedeuten sollen. Darf man aus Untersuchungen solcher Qualität Schlussfolgerungen für alle Arbeitsplätze ableiten? Und diese auch noch ohne Rücksicht auf Ländergrenzen, Arbeitskulturen u.ä. weltweit normen? Man tat es.

Dabei hatte Blackwell ursprünglich nur bestimmte „Arbeitsplätze“ im Hinterkopf, als er seine Studien zur Sehleistung mit dem Ziel der Bestimmung an der Schwelle der Wahrnehmung durchführte, die der Nachtbomberpiloten. Hierfür hatte er nach dem Krieg eine gemeinsame Auszeichnung von der US-Army und

Navy erhalten. Für diesen Zweck war der Ansatz mit Sicherheit gerechtfertigt, da Nachtbomber über abgedunkeltem Gebiet operieren mussten und meist kein „Radarauge“ besaßen. Später wurde allgemein bezweifelt, dass Untersuchungen an der Sehschwelle überhaupt brauchbare Ergebnisse für überschwelliges Sehen liefern können (s. hierzu z.B. Rea und Ouelette, 1988).

Was von dem hier besprochenen Ansatz zu halten ist, kann man verstehen, ohne viel zu lesen: Einer der erfahrensten Fachleute auf dem Gebiet der Lichttechnik, Peter R. Boyce, titulierte seinen Artikel zum Thema so „Illuminance Selection Based on Visual performance - and Other Fairy Stories“. In diesem Artikel wird der Ansatz schlicht zum Märchen erklärt und auch als solches entlarvt. Boyce versucht, die altherwürdige Illuminating Engineering Society dazu zu überreden, sich den Märchen zu entledigen oder die nötigen Konsequenzen zu ziehen, die da wären: Sich auf die Rolle als eine technische Interessenorganisation zurückzuziehen und die Festlegung der tatsächlich zu installierenden Beleuchtung dem Markt und den politischen Kräften zu überlassen. Ob dieser Rat beiden Feierlichkeiten des 100jährigen Bestehens der IESNA in Januar 2006 diskutiert wurde, wäre interessant zu wissen. Es ist bemerkenswert, dass sich eine Gesellschaft, die sich „The Lighting Authority“ nennt, von einem profilierten Fachmann aus eigenen Reihen Märchenerzählerei vorhalten lässt. Hierbei geht es nicht etwa um die Störung des Schlafs einer verwöhnten Prinzessin durch eine Hülsenfrucht, sondern um wahrlich märchenhafte Energiemengen, die nutzlos verpuffen. Licht schluckt immerhin bis etwa 40% des im Büro verbrauchten Stroms!

5.3 Festlegung der Beleuchtungsstärke nach „Unterschiedsempfindlichkeit“

Die Unterschiedsempfindlichkeit ist ein mögliches Kriterium, wonach man Seheleistung bestimmen kann. Sie stellt das Auflösungsvermögen des Auges für Leuchtdichtekontraste dar. Je höher die Unterschiedsempfindlichkeit, desto kleiner der Kontrast, den das Auge wahrnehmen kann. Sie hängt im Wesentlichen von der Leuchtdichte im Gesichtsfeld und von der Größe des Sehobjekts ab. Will man die erforderliche Beleuchtungsstärke für eine bestimmte Sehaufgabe ermitteln, muss man zunächst festlegen, wie groß das Detail sein wird, das noch gesehen werden soll. Danach ist anhand des Sehobjekts und der Aufgabe des Nutzers zu bestimmen, wie groß bzw. klein der kleinste noch zu erkennende Kontrast sein soll. Auf dieser Basis kann man anhand physiologischer Kurven, die die betreffenden Abhängigkeiten beschreiben, das Leuchtdichtenniveau ermitteln, das erforderlich wäre. Hätte man in der Beleuchtungstechnik generell die sog. Leuchtdichtetechnik eingeführt, die seit Jahrzehnten gefordert und in der Außenbeleuchtung schon längst realisiert ist, hätte man bereits die zu realisierende Größe. Da man aber immer noch mit Beleuchtungsstärken hantiert, muss man noch einen Reflexionsgrad für die Sehaufgabe annehmen, um endlich die erforderliche Beleuchtungsstärke zu ermitteln.

Geht man bei all diesen Annahmen und Vorgaben den wissenschaftlichen Gepflogenheiten entsprechend vor, d.h. beispielsweise dadurch, dass man die Annahmen validiert, wäre dies ein nachvollziehbarer Weg, gesicherte Ergebnisse aus physiologischen Erkenntnissen zu ziehen.

Dieser Weg wurde von mehreren Autoren begangen. Das Ergebnis wird sowohl den interessierten Laien als auch den erfahrenen Ingenieuren wundern, da z.B. ein Autor zu Werten zwischen 1,6 lx bis 10.000 lx gekommen ist. Verwunderlich ist dies indes überhaupt nicht. Wenn man nämlich analoge Experimente mit akustischen Größen anstellen würde, würde man zu noch größeren Differenzen kommen. Trotzdem ist es interessant zu wissen, dass man aus ein und demselben Experiment Anforderungen ableiten kann, die Kosten der Realisierung um mehrere Zehnerpotenzen unterschiedlich ausfallen können.

Als Beispiel sei eine Arbeit von A.A. Kruithoff und A.M. Kruithoff angeführt, bei der man Beleuchtungsstärken für unterschiedliche Kontraste und Detailgrößen ermittelt hat (Tab. 2). Als weiterer Parameter haben die Autoren die „relative Leistung“ angeführt, den Prozentsatz der maximal möglichen. Eine solche Unterscheidung macht Sinn, da man z.B. bei unterschiedlicher Dauer der Arbeit unterschiedlich hohe Leistungsfähigkeit benötigt.

Tab. 2 Erforderliche Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit von Kontrast und Detailgröße (Schwierigkeit der Sehaufgabe) und relative Leistung (nach Kruithoff und Kruithoff)

Kontrast c		0,1	0,2	0,4	0,8
Detailgröße	Relative Leistung				
1'	0,98	–	10.000	6.300	4.000
	0,95	–	8.000	4.000	2.000
	0,90	–	5.000	2.500	1.000
	0,80	–	4.000	1.600	500
1,5'	0,98	10.000	6.300	4.000	1.600
	0,95	8.000	4.000	2.000	800
	0,90	5.000	2.500	1.000	320
	0,80	4.000	1.600	500	100
3'	0,98	6.300	4.000	1.600	500
	0,95	4.000	2.000	800	160
	0,90	2.500	1.000	320	50
	0,80	1.600	500	100	12,5

Tab. 2 Erforderliche Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit von Kontrast und Detailgröße (Schwierigkeit der Sehaufgabe) und relative Leistung (nach Kruithoff und Kruithoff)

Kontrast c		0,1	0,2	0,4	0,8
Detailgröße	Relative Leistung				
6'	0,98	4.000	1.600	500	100
	0,95	2.000	800	160	25
	0,90	1.000	320	50	6,3
	0,80	500	100	12,5	1,6

Bis hierher entspricht das Vorgehen einem üblichen Experiment in der Physik oder Akustik. 10.000 lx oder 1,6 lx? Beides lässt sich begründen, und auch alle Werte dazwischen. Da die Initiatoren der Experimente der oben beschriebenen Art mit Sicherheit nicht die Wissenschaft im Hinterkopf hatten, als sie den Auftrag formulierten, sind die schlussendlich gezogenen Schlussfolgerungen sehr aufschlussreich. Tatsächlich wurde in der Lichttechnik einst über Beleuchtungsstärken bis 10.000 lx diskutiert, wohlgerne im Innenraum und künstlich erzeugt. Man argumentierte, dass die Werte in der Natur viel höher seien und bekanntlich vom Menschen akzeptiert würden. Der Unterschied sei, dass man mit technischen Mitteln die Natur besser nachbilden kann: „Im Übrigen, für viele Aktivitäten im Innenraum kann das Tageslicht nach Quantität und Qualität besser durch künstliches Licht nachgebildet werden.“ (H.J. Hentschel, Obmann des Fachnormenausschusses Innenraumbeleuchtung, 1989, in dem Film Zwielicht - Die Ökologie der künstlichen Helligkeit)

Anders als der Laie vermutet und der Wissenschaftler fordert, setzt man sich in Normenausschüssen mit solchen Daten nicht sorgfältig auseinander. Wie sollte man denn auch? Das Interesse der Allgemeinheit an solchen Themen geht gegen Null, während staatliche Stellen, die Projekte vergeben, kaum Interesse zeigen, ob nun der kritische Kontrast für die Arbeit in Spinnereien 0,4 oder 0,8 beträgt. Bei den letzten Weltkongressen des internationalen Verbandes der Ergonomie Gesellschaften (IEA) gab es unter 1700 (in Tampere) und 2200 (San Diego) Vorträgen keinen einzigen Beitrag zu Licht und Beleuchtung. Was tun, wenn sich die Ergonomen der Welt um ein angeblich (und tatsächlich) wichtiges Problem der Arbeitswelt nicht scheren? So bleiben Lichttechniker unter sich, und die meisten von Ihnen werden von Lampen- bzw. Leuchtenherstellern beschäftigt.

Wenn diese ihre Ergebnisse den Umständen entsprechend sorgfältig deuten, kommt eine Erkenntnis wie unten heraus (Wittig, 1951). Die Tabelle (Tab. 3) hat der Autor nach Auswertung der Untersuchungen von Kruithoff und Kruithoff und der eigenen Ergebnisse aufgestellt:

Tab. 3 Abgeleitete Beleuchtungsstärken nach Kruithoff und Kruithoff und Wittig als Vorschlag für DIN 5035 (alle Autoren waren Mitarbeiter von Leuchten- und Lampenherstellern)

Art der Arbeit	Beleuchtungsstärken (lx) nach	
	Kruithoff und Kruithoff	Vorschlag für Neufassung DIN 5035
grob	25 ... 800	50 ... 500
mittel	160 ... 2000	100 ... 1000
fein	800 ... 4000	200 ... 2000
sehr fein	2000 ... 8000	400 ... 8000

Die abgeleiteten Beleuchtungsstärken unterscheiden sich jeweils um mehr als eine Zehnerpotenz! Und das soll man einem Bauherrn klar machen! Dabei sind diese Daten nicht einmal absichtlich falsch abgeleitet worden, wie ein Blick auf die Kurven der Unterschiedsempfindlichkeit des menschlichen Auges zeigt (Bild 6). Würden Beleuchtungsnormen nur Bereiche angeben, wie oben darge-

Bild 6 Unterschiedsempfindlichkeit für vier Objektgrößen in Abhängigkeit von der Leuchtdichte (der aus heutiger Sicht relevante Bereich durch Autor hervorgehoben) (Handbuch für Beleuchtung)

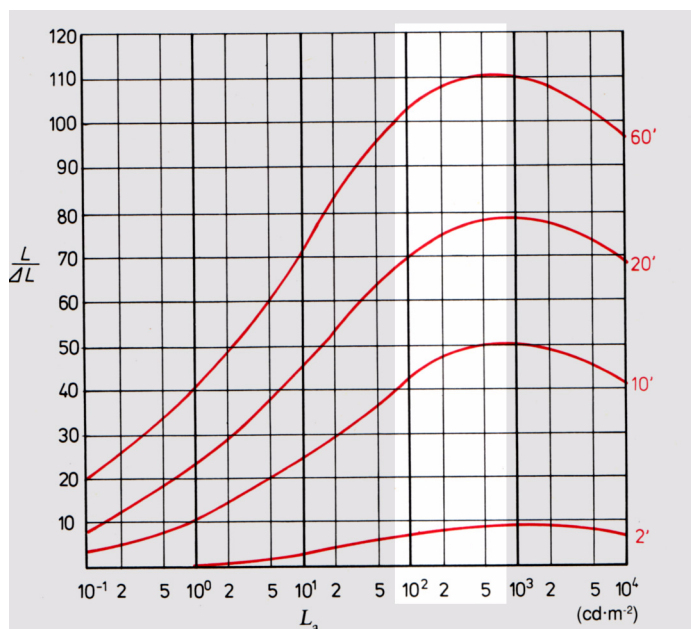


Abb. I-2/8 Unterschiedsempfindlichkeit $L/\Delta L$ für vier verschiedenen große Sehobjekte $2' \dots 60'$ in Abhängigkeit von der Gesichtsfeld-Leuchtdichte L_a (Adaptationsleuchtdichte)

stellt, kann man die „wissenschaftliche“ Begründung akzeptieren. Tatsächlich gab es sie, z.B. in der Norm ISO 8995 vom Jahre 1989. Danach konnte in üblichen Büros die Beleuchtungsstärke zwischen 300 und 750 lx gewählt werden. Nach der Norm mit der gleichen Nummer vom Jahre 2002 darf ein Mittelwert von 500 lx selbst an CAD-Arbeitsplätzen nie unterschritten werden!

Der hell hervorgehobene Teil der Kurven entspricht unserer üblichen Umgebung (z.B. hat weißes Papier unter 500 lx eine Leuchtdichte von rund 125 cd/ m²), bei der eine Steigerung der Leuchtdichte die Sehleistung kaum noch verbessert. Daher die großen Spannen in der obigen Tabelle.

So nimmt es nicht Wunder, dass der Stil der Verhandlungen über die Festlegung von Beleuchtungsstärken nicht gerade an wissenschaftliche Diskurse erinnert, um es vornehm auszudrücken. Weniger vornehm würden allerdings Arbeitnehmer reagieren, wenn sie wüssten, dass die auf diese Art und Weise entstehenden Werte von staatlichen Stellen als Stand der Wissenschaft und Technik in Regelwerken berücksichtigt werden. Kurz danach brüsten sich manche Hersteller damit, dass ihre Normen nunmehr „Gesetz“ seien. Falls sich jemand über die Beleuchtung seines Arbeitsplatzes so erfolgreich beschwert, dass die Sache vor einem Gericht landet, wird das Urteil vermutlich auf der Basis der Norm entschieden. So schafft man mit dürren Fakten Recht. Ob es den 38 Millionen Arbeitnehmern in Deutschland auch Recht ist?

5.4 Festlegung der Beleuchtungsstärke nach Erkennbarkeit von Gesichtern

Einen besonderen Ansatz verfolgte Fischer (Fischer, 1972). Er stellte im Experiment fest, dass man menschliche Gesichter bei einer Leuchtdichte von 240 cd/ m² gut erkennen kann. Auf der Basis der Reflexionsgrads eines menschlichen Gesichts leitete er ab, wie hoch die Beleuchtungsstärke betragen müsse (Tab. 4). Da er stets die Horizontalbeleuchtungsstärke im Auge behielt, hat er daraus die für einen Raum empfohlene Beleuchtungsstärke zu 2000 lx bestimmt.

Tab. 4 Optimale Beleuchtungsstärken im Büro nach Fischer nach dem Kriterium Erkennbarkeit von menschlichen Gesichtern (aus Gall, 1974)

Kriterium	Gesichtsleuchtdichte	E (lx)	Anwendung
I optimal	240 cd/m ²	2.000	Optimalwert in Arbeitsräumen
II befriedigend erkennbar	17 cd/m ²	200	Minimale Beleuchtung im Arbeitsraum
III gerade erkennbar	1 cd/m ²	20	Für Flure und Nebenräume

Die Idee ist eigentlich nicht so schlecht, hat doch jeder Mensch das Recht, die Kolleginnen und Kollegen in richtigem Licht zu sehen. Sie ist nur erheblich zu kurz gedacht. Zum einen entsprechen die Werte etwa einer guten Bühnenbeleuchtung, die man bestimmt nicht mit einem Lichteinfall von oben realisieren wird, weil man damit Gesichter nicht unbedingt besser erkennbar macht, wie Bühnenbeleuchter es kennen. Zum zweiten möchte wahrscheinlich niemand ständig unter Bühnenbeleuchtung arbeiten. Die auf der Bühne gesehen werden wollen, nehmen in Kauf, dass sie ihre Umwelt nur noch schemenhaft erkennen können, weil geblendet. Sie leisten aber nicht täglich 8-10 Stunden Seharbeit.

Die größte Schwachstelle allerdings hängt mit den Aufgabe für die Beleuchtung zusammen: Während Objekte, die auf der Bühne beleuchtet werden sollen, eine feste bzw. von Regisseur im Voraus festgelegte Position haben und eine berechenbare Beobachterposition, ist im Büro weder das eine noch das andere vorbestimmbar. Ergo: Das Licht müsste in allen möglichen Richtungen abgestrahlt werden, was eine physikalisch kaum lösbare Aufgabe darstellt.

Wie sich der Autor eine Beleuchtung in anderen Ländern vorstellt, wo nicht alle Menschen die gleiche Hautfarbe haben wie in Mitteleuropa, ist nicht überliefert. Da auch Mitteleuropäer ihre Hautfarbe saisonal bedingt erheblich ändern, müsste man die Bürobeleuchtung folgerichtig anpassen. Oder?

Das hier diskutierte Beispiel demonstriert nicht nur wegen der fraglichen Realisierbarkeit eine erschreckend einseitige Denkweise. Wenn man das Gewünschte mit allerlei Aufwand in die Realität umsetzt, so zum Beispiel mit leuchtenden Wänden u.ä., erstellt man eine erstklassige Quelle für Umweltverschmutzung, weil das ganze Gebäude seine Umgebung ordentlich bestrahlt. Wieso man aus einer Betrachtung, die die Ausleuchtung eines vertikal angeordneten Objekts zum Ziel hat, zu einer Empfehlung für die Beleuchtungsstärke in der horizontalen Ebene ableiten darf, wurde in der Veröffentlichung nicht diskutiert.

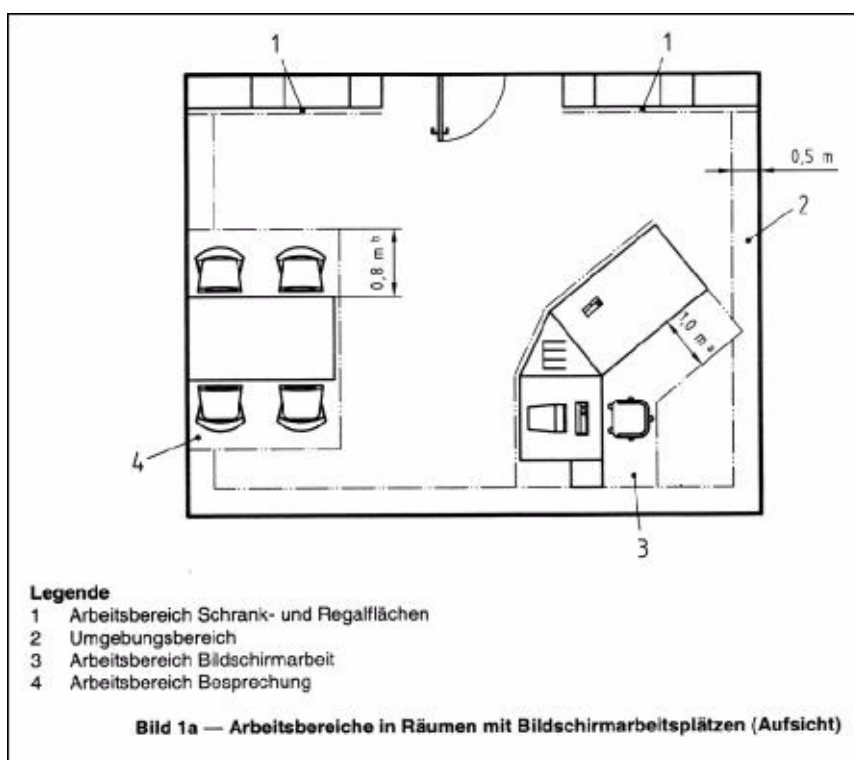
Der Autor hat die Sinnlosigkeit seines Ansatzes wohl selbst eingesehen und einen reduzierten Wert von 17 cd/m^2 noch als befriedigend akzeptiert. Daraus hat er dann die Forderung abgeleitet, dass alle ständig besetzten Arbeitsplätze mit mindestens 200 lx beleuchtet werden sollten. Ob sich die heute noch als gültig angesehene Anforderung in genau dieser Höhe für alle ständig besetzten Arbeitsplätze von dieser Arbeit ableitet, ist nicht dokumentiert.

Wer denkt, dass diese Denke in die Vergangenheit gehört, irrt sich. Eine neue Norm, DIN 5035-7, verlangt eine - diesmal zylindrische - Beleuchtungsstärke von 175 lx im gesamten Bereich „Bildschirmarbeit“ (s. Bild 7, DIN 5035-7, Bild 1a)), d.h. auch über dem gesamten Tisch mit folgender Begründung: „Eine angenehme visuelle Kommunikation ist abhängig von der Erkennbarkeit der Gesichtszüge der anwesenden Personen. Eine zu deren Beschreibung geeignete photometrische Größe ist die zylindrische Beleuchtungsstärke E_z “.

ANMERKUNG 1 Für eine gute Erkennbarkeit von Gesichtern werden Gesichtsluxdichten im Bereich von etwa 15 cd/m^2 bis 20 cd/m^2 als ausreichend angesehen. Diesen Luxdichten entspricht ein Bereich der zylindrischen Beleuchtungsstärke von 150 lx bis 200 lx ."

Der gleiche Wert soll auch im Bereich „Besprechung“ (Bild 7) gelten.

Bild 7 Der Raum, für den die Vorstellungen von DIN 5035-7 (Entwurf, Oktober 2001) entwickelt worden ist. Bei maßstabsgerechter Vergrößerung beträgt die Fläche etwa 80 m^2 . (Anm.: vergrößert nach der Länge von 1 m am Arbeitstisch)



Wie nahe ein solches Konzept an der Realisierbarkeit liegt, kann man nicht nur an relativ unanschaulichen Größen wie der zylindrischen Beleuchtungsstärke ablesen. Es genügt eine maßstabsgerechte Vergrößerung des Bildes bzw. eine Bestimmung der Länge und Breite des Raums anhand des maßstabsgerecht eingezeichneten Tisches. Der Raum hat eine Fläche von ca. 80 m^2 (Ungenauigkeit bedingt durch Vergrößerung) und ist mit einem einzigen Arbeitsplatz besetzt. Solche Räume gibt es allenfalls für Vorstände der Top 20 der deutschen Wirtschaft. Staatssekretären stehen max. 48 m^2 zu, während sich Normalsterbliche glücklich schätzen, wenn ihr Reich 12 m^2 misst. In manchem Call Center müssen auf der Fläche von 80 m^2 10 bis 25 Personen arbeiten. Wieso man einen Wert, der mit der Sichtbarkeit von Gesichtern begründet wird, über Tischflächen mittelt, wäre auch eine Überlegung wert.

Die endgültige Fassung der Norm hat die Fläche zwar etwa halbiert, aber nur auf dem Papier. Denn das Konzept der Norm war eben auf dem oben angegebenen Niveau entwickelt worden. (Anm.: Auch die erste Fassung von DIN 5035 vom Jahre 1988 hatte im Entwurf einen Raum enthalten, der das Konzept darstellen sollte, aber nicht realisierbar war. Dem damaligen Einspruch wurde nicht etwa durch Ändern des Konzepts entsprochen, sondern durch Entfernen des Bildes.)

Konzept oder Wolkenkuckuckheim mangels Realitätssinn?

5.5 Festlegung der Beleuchtungsstärke nach „Art des Raumes bzw. der Tätigkeit“

Seit längerem werden Beleuchtungsstärkewerte in Normen in einem hohen Detaillierungsgrad angegeben, so z.B. in DIN 5035-2 vom Jahre 1979. Diese Werte sind für die Bundesrepublik Deutschland deswegen von besonderer Bedeutung, weil sie zu einem erheblichen Teil in die Arbeitsstättenrichtlinie 7/3 übernommen worden sind. Bemerkenswert ist der vorausseilende Gehorsam der zuständigen Stellen, da die vom Arbeitsministerium herausgegebene Richtlinie ein früheres Datum trägt als die zitierte Norm selbst.

Wie man zu etwa 250 Werten auf acht Druckseiten Tabelle gekommen ist, verrät die Norm leider nicht. Man kann aber trotzdem eine Vorstellung von der Präzision der vermutlich angewandten Methode gewinnen, wenn man das Nachfolgeprodukt (EN 12464-1) betrachtet. Es sollte nach der ursprünglichen Intention der Initiatoren dieser Norm eigentlich dieselbe Tabelle enthalten, allerdings europaweit gelten. Die neue Tabelle ist doppelt so lang wie die alte! Ob man seit 1979 für die doppelte Anzahl von Arbeitsplätzen die wissenschaftliche Begründung für Beleuchtungsstärken nachgeliefert hat?

Der entscheidende Unterschied liegt aber woanders begraben: Die deutsche Ursprungsnorm hatte sog. „Nennbeleuchtungsstärken“ angegeben. Da der Begriff recht undurchsichtig war, und vor allem eigentlich so gut wie nie „gerichtsverwertbar“ nachweisbar, benutzt man ihn in neueren Normen nicht mehr. An dessen Stelle ist der „Wartungswert“ der Beleuchtungsstärke getreten. Dieser darf zu keiner Zeit unterschritten werden, die Nennbeleuchtungsstärke durfte man aber unterschreiten. Und zwar um 20% im Mittel und um 40% an einem einzelnen Arbeitsplatz im Raum. Ergo: 1 lx Wartungsbeleuchtungsstärke ist nicht 1 lx Nennbeleuchtungsstärke. Sie ist mindestens 20%, häufig 25% und zuweilen 50 - 100% höher. Was würde man tun, um den gesicherten Stand der Wissenschaft und Technik einzuhalten? Richtig wäre: Die Werte korrigieren. Da, wo 500 lx stand, sollte jetzt 400 lx geschrieben werden. Fehlanzeige! Man möchte niemandem zumuten, sich an neue Zahlen gewöhnen zu müssen. Ergo: Die Zahlen bleiben, die Zahlenden müssen mehr installieren, damit der nunmehr neue „Stand der Wissenschaft und Technik“ in die Realität umgesetzt wird. Sie ist nicht durch Wissenschaft entstanden, sondern durch die besondere Technik des Umdefinierens.

Der Vorgang ist ziemlich einmalig: Durch eine philosophische Änderung der Bedeutung eines Wortes „Beleuchtungsstärke“ werden praktisch alle Arbeitsplätze in einem Industrieland für potenziell zu dunkel erklärt. Einen derartigen Umgang mit dem Begriff „Stand der Wissenschaft und Technik“ hat es vermutlich noch nie gegeben.

Die neuen „Erkenntnisse“ beschränken sich aber nicht nur auf diese geschickt eingefädelte Erhöhung von „gesicherten“ Werten. Viele sind auch numerisch erhöht worden. Daher haben viel Kunden im Laufe des letzten Jahre freundliche Erinnerungen von ihrem Lieferanten bekommen, die besagen, dass ihre Beleuchtung nicht mehr hell genug ist, weil ...: *„Seit März 2003 gilt eine neue Vorschrift für die Berechnung der Beleuchtungsstärke für Arbeitsplätze. ... Diese jetzt gültige Vorschrift enthält wesentliche Änderungen, die vom Elektroplaner/ Architekten zu beachten sind und dokumentiert werden müssen. Angefangen bei der Neufestlegung der Beleuchtungsstärken an den jeweiligen Arbeitsplätzen, bis hin zur Forderung der Mindestbeleuchtungsstärken und Errechnung eines Wartungsfaktors (früher: Verminderungsfaktor). ... Für den Fall, dass kein Wartungsfaktor ermittelt werden kann, hat sich die deutsche Leuchten-Industrie ab 1.10.2003 auf einen Referenz-Wartungsfaktor von 0,67 festgelegt. ...“* (Aus der Informationsbroschüre eines Leuchtenherstellers, Dezember 2003) Im Übrigen wird der von der Leuchtenindustrie „festgelegte“ Wartungsfaktor in EN 12464-1 nicht spezifiziert.

Wieso sich die Leuchtenindustrie auf einen Referenzfaktor festlegen kann und diese dem Kunden als „Vorschrift“ präsentiert, sollte genauestens geprüft werden. Der Referenzfaktor entspricht dem ehemaligen Planungsfaktor, der meistens mit 1,25 angewendet wurde. D.h., um eine Nennbeleuchtungsstärke von 1 lx zu erreichen, wurde ein Neuwert von 1,25 lx installiert. Damit konnte der Lichtplaner dem Kunden dokumentieren, dass die von ihm installierte Anlage den normativen Vorgaben entsprechen wird. Der Referenzfaktor gibt an, um welchen Faktor der in einer Norm vorgegebene Wert erhöht werden muss, damit man sicher gehen kann, dass an einem Messort die Beleuchtungsstärke nie unter diesen sinken kann. Ein Referenzfaktor von 0,67 bedeutet, dass der Neuwert um den Faktor 1,5 über dem Wartungswert liegen muss. Somit ergibt sich eine „automatische“ Erhöhung der Beleuchtungsstärke. Man könnte dahinter eine Folge von neuen Erkenntnissen vermuten. Es ist nicht nur so, dass diese nicht vorliegen. Vielmehr kann festgestellt werden, dass dem Referenzfaktor Alterungseigenschaften von Leuchten zu Grunde gelegt worden sind, die in den 1970er Jahren, also vor mehr als drei Jahrzehnten ermittelt worden sind.

Die unten angegebene Tabelle (Tab. 5) stellt einen Auszug aus der Tabelle des o.g. Herstellers dar, wobei die gleich gebliebenen Werte nicht getrennt aufgeführt worden sind. Für bestimmte Arbeiten werden (nominal) geringere Beleuchtungsstärken verlangt. Da es sich hierbei um Wartungswerte handelt, kann das Ergebnis sein, dass sich nichts ändert. Was die Tabelle nicht enthält, ist die Erhöhung der Beleuchtungsstärke für fensternahe Arbeitsplätze im Büro. Für

diese galt eine Nennbeleuchtungsstärke von 300 lx bzw. ein Minimalwert von 240 lx. Nunmehr müssen 500 lx Wartungswert installiert werden, d.h. etwa 109% mehr. (Die Zunahme errechnet sich aus dem Verhältnis des neuen Wartungswertes und dem alten Äquivalent von 80% des Nennwertes (Spalte I). Wenn man auf der Basis der erforderlichen Neuwerte rechnet, ergibt sich eine etwas geringere Zunahme. (Spalte II)). Wie die Tabelle zeigt, ergibt sich für die meisten der angegebenen Arbeitsplätze etwa eine Verdoppelung der Beleuchtungsstärke. Was fehlt ist die Begründung. Wo man diese finden könnte, zählt die Norm auf: „Die Werte gelten für übliche Sehbedingungen und berücksichtigen folgende Faktoren: Psychologische und physiologische Aspekte wie Sehkomfort und Wohlbefinden, Anforderungen der Sehaufgabe, visuelle Ergonomie, praktische Erfahrung, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit“ Wie man aus diesem Sammelsurium von zu berücksichtigenden Aspekten zu einer Verdoppelung gegenüber denjenigen Werten kommt, die nach Meinung des zuständigen Ministeriums bis zur Neufassung der Richtlinien der Arbeitsstättenverordnung Stand der Technik sind, würde die Allgemeinheit gerne erfahren. Allein das Wort „üblich“ für die Bezeichnung einer Grundlage für normative Festlegungen ist Grund genug, dieser mit Skepsis zu begegnen. Wie man z.B. Wirtschaftlichkeit, Wohlbefinden und Anforderungen der Sehaufgabe berücksichtigt hat, um just zu dem gleichen Zahlenwert wie einst zu kommen, wäre sehr interessant zu wissen.

Tab. 5 Arbeitsräume, für die EN 12464-1 nach Auskunft eines Leuchtenherstellers höhere Beleuchtungsstärken „vorschreibt“ als DIN 5035-2

Tätigkeitsbereich	DIN 5035 -2	EN 12464-1	Real +% von DIN 5035-2 I	Real +% von DIN 5035-2 II
Treppen, Rolltreppen, Fahrbänder, Laderampen, Ladebereiche	100	150	+ 87,5	+ 79
Kontrollräume Haustechnische Anlagen, Schalteräume	100	200	+ 150	+ 139
Versand- und Verpackungsbereiche	200	300	+ 87,5	+ 79
Fahrwege mit Personenverkehr	100	150	+ 87,5	+ 79
Keramik, Fliesen, Glas, Glaswaren Materialaufbereitung, allgemeine Maschinenarbeiten	200	300	+ 87,5	+ 79

Tab. 5 Arbeitsräume, für die EN 12464-1 nach Auskunft eines Leuchtenherstellers höhere Beleuchtungsstärken „vorschreibt“ als DIN 5035-2

Tätigkeitsbereich	DIN 5035 -2	EN 12464-1	Real +% von DIN 5035-2 I	Real +% von DIN 5035-2 II
Schleifen Gravieren, Polieren, Formen kl. Teile, Herstellung von Glasinstrumenten	500	750	+ 87,5	+ 79
Präzisionsmessräume, Laboratorien	300	500	+ 108	+ 99
Elektro-Industrie Montagearbeiten feine z.B. Telefone	500	750	+ 87,5	+ 79
Nahrungs- und Genussmittelindustrie Arbeitsplätze und kritische Zonen in Schlachthöfen, Metzgereien, Molkereien	300	500	+ 108	+ 99
Metallbe- und -verarbeitung Gesensschmieden	200	300	+ 87,5	+ 79
Werkzeug- und Schneidwarenherstellung	500	750	+ 87,5	+ 79
Oberflächenbearbeitung und Lackierung	500	750	+ 87,5	+ 79
Papier und Papierwaren Allgem. Buchbinderarbeiten wie falten, sortieren, leimen, schneiden, prägen	300	500	+ 108	+ 99
Kraftwerke Maschinenhallen	100	200	+ 150	+ 139

Tab. 5 Arbeitsräume, für die EN 12464-1 nach Auskunft eines Leuchtenherstellers höhere Beleuchtungsstärken „vorschreibt“ als DIN 5035-2

Tätigkeitsbereich	DIN 5035 -2	EN 12464-1	Real +% von DIN 5035-2 I	Real +% von DIN 5035-2 II
Nebenräume, z.B. Pumpenräume, Kondensatoren- räume, Schaltanla- gen in Gebäuden	50	200	+ 400	+ 378
Schaltwarten	300	500	+ 108	+ 99
Walz-, Hütten- und Stahlwerke				
Produktionsanla- gen mit gelegentli- chen manuellen Eingriffen	100	150	+ 87,5	+ 79
Holzbe- und -verar- beitung				
Dämpfgruben	100	150	+ 87,5	+ 79
Sägegatter	200	300	+ 87,5	+ 79
Schleifen, Lackie- ren, Modelltischle- rei, Auswahl von Furnierhölzern	500	750	+ 87,5	+ 79
Auswahl von Fur- nierhölzern	500	750	+ 87,5	+ 79
Marketerie, Holz- einlegearbeiten	500	750	+ 87,5	+ 79
Qualitätskontrolle	750	1.000	+ 67	+ 59

Da die Beleuchtungsstärke in einem Raum durch Leuchten erzeugt werden muss, kann eine Verdoppelung dieser Größe entweder durch eine Verdoppelung der installierten Leuchten (Vergrößerung der leuchtenden Fläche) oder durch eine Verdoppelung der Leuchtdichte erzielt werden. Beides erhöht die Blendung, die Erhöhung der Fläche linear, die des Leuchtdichte mit dem Quadrat der Differenz.

Anm.: Die Angaben in EN 12464-1 beziehen sich immer auf den Bereich der Sehaufgabe, der dort leider nicht definiert ist. Wenn man das Konzept folgerichtig umsetzt, kann man theoretisch über alle Arbeitsplätze hinweg günstiger vor allem in energetischer Sicht planen, weil die früheren Werte für den gesamten

Raum galten. Da man aber bestrebt ist, möglichst große Flächen auszuleuchten und dazu den Begriff „Arbeitsbereich“ anstelle des Bereichs der Sehaufgabe verwenden will, entsteht durch diesen Kunstgriff wieder eine Allgemeinbeleuchtung. Wie das vonstatten geht, kann man verstehen, wenn man in Bild 7 die beiden Arbeitsbereiche „Bildschirmarbeit“ und „Besprechung“ ausschneidet und in einen Raum mit üblichen Abmessungen (z.B. 3,60 m x 5,20 m) einleibt. Das und nichts anderes bildet den Grund, warum die lichttechnische Industrie vehement dafür eingetreten ist, eine „deutsche“ Norm für die Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen (DIN 5035-7) zu erstellen.

Viele Änderungen in der Tabelle der Beleuchtungsstärken gegenüber früheren Werten scheinen fraglich, weil in den betreffenden Räumen bestimmt nicht die Sehaufgabe oder visuelle Ergonomie die Änderung bewirkt haben können, so z.B. in Toiletten. Für diese musste nach DIN 5035-2 100 lx Nennbeleuchtungsstärke installiert werden, jetzt 200 lx Wartungswert. Eine Steigerung um 150%!

Bei manchen Änderungen könnte man durchaus nachweisen, dass diese zumindest die Betriebssicherheit einer Anlage gefährden können (Schaltwarten 500 lx Wartungswert anstelle 300 lx Nennwert, d.h. eine Verdoppelung), weil dort elektronische Anzeigen schlechter sichtbar werden. Bei anderen hingegen, trifft keines der theoretisch prüfbareren Gründe wie Sehaufgabe oder Sehkomfort zu, z.B. für CAD-Arbeitsplätze. Diese waren in DIN 5035-2 nicht angeführt, während DIN 5035-7 200 lx für Anwendungen mit Speicherröhren vorgab. Jetzt müssten 500 lx Nennwert bzw. 750 lx Neuwert installiert werden. Ob Erfahrung, visuelle Ergonomie oder Sehkomfort, was man auch als Grundlage für eine Empfehlung nimmt, die meisten CAD-Benutzer ziehen es vor, gar keine Beleuchtung zu haben oder fast ausschließlich Indirektbeleuchtung in geringer Höhe. Dies ist seit mindestens 20 Jahren bekannt, durch diverse Forschungsprojekte ermittelt und veröffentlicht worden. Trotzdem wurden die Werte erhöht.

5.6 Festlegung von Beleuchtungsstärken in den USA - nach Politik und Wirtschaftswachstum

Der hier beschriebene Ansatz, der naturgemäß von allen Betroffenen strikt abgelehnt werden wird, wurde von Peter Boyce auf der Jahreskonferenz der IESNA 1995 vorgetragen. Da der Autor den Artikel immer noch anbieten darf, und zudem das Handbuch der IESNA in seiner letzten Ausgabe vom Jahre 2000 eine offensichtliche Absetzbewegung dokumentiert (IESNA sagt aus, dass man über Jahrzehnte missverstanden worden sei), sollte der Ansatz durchaus ernst genommen werden.

Boyce hat in einer Tabelle die Empfehlungen der IESNA (nach eigenen Angaben „The Lighting Authority“) seit 1947 zusammengefasst (Tab. 6):

Die Nachricht, die Boyce aus seinen Betrachtungen ableitet, lautet: Wenn man so weiter macht wie gehabt, wird IESNA an Bedeutung verlieren. Der Versuch, Beleuchtungsstärken für Arbeitsräume nach Sehleistung festzulegen, ist zum

Tab. 6 Normative Vorgaben der IESNA und die technische und politische Umgebung (LL = Leuchtstofflampe)

IES Hand-book	Sehaufgabe Lesen	Beleuchtungsstärke (lx)	Lampentyp	Ökonomisches/Politisches Umfeld
1947	Normal	300	Glühlampe	Moderates Wachstum
	Schwierig	500		
1954	Normal	300	Glühlampe/LL	Starkes Wachstum
	Schwierig	500		
1959	Normal	1.000	LL	Starkes Wachstum
	Schwierig	2.000		
1966	Normal	1.000	LL	Starkes Wachstum
	Schwierig	1.500		
1972	Normal	1.000	LL	Wachstum
	Schwierig	1.500		
1981	Normal	200-300-500	LL	Nachwehen der Energiekrise
	Schwierig	500-750-1.000		
1987	Normal	200-300-500	LL	Nachwehen der Energiekrise
	Schwierig	500-750-1.000		
1993	Normal	200-300-500	LL	Umweltbedenken
	Schwierig	500-750-1.000		

Scheitern verurteilt, weil Sehleistung nur die notwendige, aber keineswegs die hinreichende Bedingung für die Zufriedenheit mit der Beleuchtung bildet. Eine nicht ausreichende Sehleistung kann zu einer Ablehnung einer Beleuchtung führen, eine hinreichende Sehleistung hingegen bedeutet keineswegs eine Akzeptanz.

Was Boyce nicht gesagt hat: Beleuchtung mindert an vielen Arbeitsplätzen die Sehleistung und wird allein deswegen abgelehnt. So ist es nicht verwunderlich, dass eine jüngst veröffentlichte Studie von DIAL (Deutsches Institut für angewandte Lichttechnik) zu der bemerkenswerten Schlussfolgerung kommt: „... nahezu alle Beleuchtungen, die heute geplant werden, tragen nicht zum Wohlbefinden des Menschen bei.“ (Spitz, 2004). Das interessanteste an dieser Erkenntnis ist nicht etwa der Neuigkeitswert (das ERGONOMIC Institut hat dies ab 1983, im Forschungsbericht „Licht und Gesundheit“ seit 1990 veröffentlicht, letzte Ausgabe Çakir und Çakir, 1998), sondern die Quelle: DIAL ist eine Gründung der deutschen lichttechnischen Industrie und wird hauptsächlich von dieser getragen.

Welche Lehren man in Deutschland aus dem Ganzen gezogen hat, ist eine nähere Betrachtung wert. Das jüngste Regelwerk, das die Beleuchtung von Arbeitsstätten regelt, BGR 131 (Berufsgenossenschaftliche Regel „Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsplätzen“), deren Schlussentwurf im Juli 2006 fertig gestellt wurde (BGR 131, 2006), beruht wie früher auf Beleuchtungsstärken, die nicht nur für den Arbeitsplatz vorgegeben werden, sondern für einen sog. „Arbeitsbereich“. Dieser schließt sogar Lagerflächen ein:

„Der Arbeitsbereich setzt sich zusammen aus

- den Arbeitsflächen,

Flächen in Arbeitshöhe, auf denen die eigentlichen Arbeitsaufgaben verrichtet werden.

- den Benutzerflächen

Diese schließen sich direkt der Arbeitsfläche an. Sie sind so bemessen, dass die natürlichen Bewegungsabläufe des Menschen nicht behindert werden.

Für wechselnde Körperhaltungen, z.B. Sitzen und Stehen, sowie für dynamisches Sitzen (Wechsel zwischen vorgebeugter, mittlerer und zurückgebeugter Sitzposition) ist ausreichend Platz vorhanden.

- und allen, dem unmittelbaren Fortgang der Arbeit dienenden Lagerflächen.“

Für Büroarbeitsplätze wird derselbe Wert wie in DIN EN 12464-1 (500 lx Wartungswert) gefordert und mit folgenden Angaben begründet *„falls aus sehpysiologischen oder produktionsbezogenen Erfordernissen Werte ab 500 Lux erforderlich sind, z.B. Büroarbeitsplätze ...“* Da diese Regel aus gesundheitlichen Gründen empfiehlt, solche Arbeitsplätze in Fensternähe aufzustellen, für die gemäß DIN 5035-2 eine Nennbeleuchtungsstärke von 300 lx vorgesehen waren, muss man 109% mehr Leistung installieren, nimmt man die Regel ernst. Da der größte Teil deutscher Büroarbeitsplätze in Fensternähe sind (Çakir, 1990), soll aus „sehpysiologischen oder produktionsbezogenen Gründen“ der Energieaufwand auf einen Schlag verdoppelt werden.

Ob dieser Mehraufwand tatsächlich eintritt, hängt davon ab, wie der einzelne Planer vorgeht. Plant man in strenger Anlehnung an DIN EN 12464-1, wobei der vorgegebene Wert der Beleuchtungsstärke dort herrscht, wo der Benutzer üblicherweise Licht zum Lesen von Papierunterlagen benötigt, könnte der Mehraufwand begrenzt bleiben. (Anm.: So hat die deutsche Gewerbeaufsicht seit jeher die Beleuchtung gemessen.) Wenn man aber nicht nur den gesamten Tisch, sondern auch noch alle Bewegungsflächen sowie benötigte Lagerflächen beleuchtet, wie die Regel vorgibt, kann erheblicher Mehraufwand entstehen.

Das erstaunliche an dieser Regel ist, dass sie in dem gleichen Jahr erstellt wird, in dem die Energieeinsparverordnung eingeführt werden sollte, auf deren Basis allen Gebäuden eine Energiepass ausgestellt werden soll.

6 Nachts den Tag simulieren?

6.1 Über nicht-visuelle physiologische Wirkungen des Lichts

In den letzten zwei Jahrzehnten hat insbesondere die medizinische Forschung nachgewiesen, dass Licht massive physiologische Wirkungen auf den menschlichen Organismus ausübt, die mit dem Sehen selbst nichts oder wenig zu tun haben. Solche Wirkungen waren zwar auch früher zum Teil bekannt, aber nicht die Tatsache, dass man mit künstlichem Licht selbst die Wirkungen des Tageslichts übertreffen kann.

In der Studie „Licht und Gesundheit“ (Çakir, 1990) wurden die Ende der 1980er Jahre ermittelten starken Wirkungen der Beleuchtung auf Befinden und Gesundheit in Verbindung mit der möglichen Beeinflussung der circadianen Rhythmik gesehen, weil sie nicht nur wesentlich stärker ausfielen als erwartet. Irritierend war seinerzeit, dass die Lichtumgebung des arbeitenden Menschen z.B. die Bewertung des Lärms oder Raumklimas beeinflusste, die nichts mit sehen zu tun haben. Mittlerweile liegen zahlreiche Veröffentlichungen vor, die die seinerzeit ungenügend erklärbaren Feststellungen verstehen helfen. Die Quintessenz der neuen Erkenntnisse besteht darin, dass die Wirkung des Lichts auf die Physiologie des Menschen von der Zeit abhängt, während die Beeinflussung des Sehens zeitlos ist.

6.2 Nachtstimmung tagsüber - Tagesbeleuchtung nachts?

Lichttechnische Normen für die künstliche Beleuchtung gelten für Arbeitsplätze und Arbeitsräume unabhängig von der Tages- und Jahreszeit. Diese spielen in der Technik ja keine Rolle, aber im Lebenslauf des Menschen. Diese als selbstverständlich hingenommene Tatsache begründet sich mit der ursprünglichen Rolle der künstlichen Beleuchtung, die darin bestand, das Arbeitsgut sichtbar sowie relevante Details erkennbar zu machen. Sofern eine Beleuchtung nur für diesen Zweck erstellt wird, stimmt die Logik. Was nicht stimmt, ist die Rolle der künstlichen Beleuchtung - für viele Arbeitsplätze dient sie hauptsächlich zur Beleuchtung der Umgebung, für manche sogar ausschließlich dazu. Die Sehaufgaben kann man besser ohne Beleuchtung wahrnehmen.

Die Norm DIN EN 12464-1 regelt, anders als man es in Deutschland wahrnehmen möchte, nur die Beleuchtung der Sehaufgabe. Die angegebenen Werte gelten für den „Bereich der Sehaufgabe“. Da eine solche Betrachtung ohne die Berücksichtigung der unmittelbaren Umgebung nicht sinnvoll wäre, weil die zu erzielende Sehleistung auch von der Leuchtdichte der Umgebung abhängt, wird mittelbar auch die Beleuchtung der Umgebung geregelt. Und zwar derart, dass diese nicht weit gegen den Bereich der Sehaufgabe abfällt.

Diese Vorstellung entspricht der Physiologie des Auges und der Psychologie des Menschen, der intuitiv nach Licht strebt. Daher ist es nur folgerichtig, wenn die Arbeitsaufgabe den hellsten Punkt des Raums bildet. Wie der restliche Raum hingegen aussehen soll, sagt die Norm nicht. Da frühere Vorstellungen immer eine gleichmäßige Leuchtdichte-Verteilung im ganzen Raum anstrebten, kann man schlussfolgern, dass DIN EN 12464-1 dies ausdrücklich nicht regeln wollte.

Studien zur Chronobiologie des Menschen zeigen, dass eine helle Umgebung in den Abendstunden genauso entgegen seinem biologischen Rhythmus arbeitet wie eine dunkle während des Tages. Während man die helle Beleuchtung in den Nachtstunden sogar im Sinne des Arbeitsschutzes wähnt, gibt es ernst zu nehmende medizinische Studien, nach denen die künstliche Beleuchtung als eine wichtige Ursache für die Krebsbildung in Frage kommt. Wohl gemerkt, die künstliche Beleuchtung in der dunklen Tageshälfte. Die Wirkung erfolgt durch den falschen Zeitpunkt der Lichteinwirkung.

Die Betroffenen haben wohl das Problem lange vor den Experten intuitiv erkannt. So haben viele Menschen am Abend im relativ eng gebündelten Licht von Tischlampen arbeiten wollen, was man früher mit ihrem Bedürfnis nach Konzentration begründet hat. Tatsächlich kann man in der Praxis aber feststellen, dass Menschen die physikalisch gleiche Umgebung während des Tages und der Nacht anders erleben, und das in Räumen ohne Tageslichteinwirkung.

Man kann davon ausgehen, dass die künstliche Beleuchtung der meisten Arbeitsplätze tagsüber, insbesondere am Vormittag, weit davon entfernt ist, den physiologischen Bedürfnissen des Menschen zu entsprechen, weil die Umgebung zu dunkel ist. Je stärker man die Beleuchtung auf die Arbeitsebene konzentriert (BAP-Leuchten, Downlights), desto schlimmer diese Wirkung. Hingegen kann die gleiche Umgebung störend hell sein, wenn sich der Körper auf die Ruhe vorbereitet.

Es scheint unsinnig zu sein, von Beleuchtungsstärken zu reden und dabei den Raum zu meinen. Die nachfolgenden Bilder aus realen Umgebungen, in denen jeweils die in der Norm für erforderlich gehaltenen Werte eingehalten wurden, unterstreichen dies deutlich.

Bild 8 zeigt eine Treppe, die kaum beleuchtet zu sein scheint. Der Schein trügt. Die Beleuchtungsstärke ist höher als erforderlich. Der Reflexionsgrad geht gegen Null. Dass man auf dieser Treppe überhaupt sicher gehen kann, verdankt man nicht der Beleuchtungsstärke, sondern der Kunst des Lichtplaners, der die Leuchtkörper so angeordnet hat, dass sie als Befeuerung fungieren.

Bild 9 zeigt eine Raumdecke aus verspiegelter Material, deren Ausstattung dazu dienen soll, Reflexionen von Leuchten und Lampen in den Bildschirmen zu verhindern. Da das Licht aber nur nach unten gerichtet ist, reflektiert sich in den Rastern die unbeleuchtete Deckenfläche. Egal welche Beleuchtungsstärke in diesem Raum auch vorhanden ist, der Raum sieht stets grau und dunkel aus.

Bild 8 Eine Treppe aus schwarzem Material, die kaum beleuchtet zu sein scheint.



Wenn man die Beleuchtungsstärke in der Arbeitsebene erhöht, wirkt die Decke noch dunkler. Hier herrscht zu jeder Tageszeit Nachtstimmung.

Einen besonders eklatanten Fall zeigt Bild 10. Dieser Raum weist einen hinreichende Beleuchtungsstärke und einen hohen Reflexionsgrad des Bodens auf, dass dieser auch hell erscheint. Da die Decke trotzdem dunkel bleibt und die senkrechten Flächen mit düsteren Farben ausgestattet sind, „glänzt“ der Raum durch eine Einschlafatmosphäre rund um die Uhr.

Wer diese Beispiele für eine Art Betriebsunfall hält, sollte sich die in Bild 11 zusammen gestellten Positivbeispiele ansehen, die eine Berufsgenossenschaft als gute Lösungen veröffentlicht hat.

In all den Räumen, die in Bild 11 dargestellt sind, liegen die Beleuchtungsstärken weit über den Werten, die nach DIN 5035-2 erforderlich gewesen wären. Dass die Räume trotzdem zu dunkel erscheinen, liegt es vorrangig an den Reflexionsgraden. In der Realität werden die abgebildeten Räume wahrscheinlich als zu grell empfunden, weil sich die Leuchten bei jedem Blick nach oben störend bemerkbar machen werden. In der Tageszeit, die hier abgebildet ist (tiefe Nacht), kommt mit Sicherheit die Störung durch die physiologische Fehlanpassung dazu.

Diese Fehlanpassung wird, wenn die BGR 131 unverändert in der jetzt vorliegenden Fassung veröffentlicht wird, sogar gefördert werden, weil dem Unternehmer empfohlen wird, Lampen mit einer Farbtemperatur ab 4.000 Kelvin ein-

Bild 9 Spiegelastrasterdecke mit tiefstrahlenden Leuchten



Bild 10 Düstere Raumstimmung trotz ausreichender Beleuchtungsstärke



zusetzen, weil dies die Vigilanz fördern soll: „Lampen mit neutralweißer und tagelichtweißer Lichtfarbe wirken aufgrund ihrer spektralen Zusammensetzung

Bild 11 Szenarien für Büroräume, die beispielhaft für Planungen im Sinne des Arbeitsschutzes sein sollen. (VBG 2003, download unter www.vbg.de)



positiv auf die Vigilanz (Bewusstseinswachheit) und damit die Leistungsfähigkeit der Versicherten. Daher werden Lampen ab einer Farbtemperatur von 4000 Kelvin empfohlen.“ (BGR 131-2, 2006)

Zu welchen Folgen die falsche Lichtfarbe zur falschen Zeit führen kann, hat das japanische Institut Kyushu Institute of Design, Department of Physiological Anthropology, im Rahmen eines großen Forschungsprogramms zur Wirkung moderner Umgebungen auf die Physiologie des Menschen umfangreich untersucht (Literaturliste beim Autor). Die ermittelten Wirkungen reichen von einer Änderung der Körperkerntemperatur bzw. der Herzaktivitäten bis hin zur Beeinflussung des Geschmacksinns. Die in der BGR 131 angeführte Vigilanzerhöhung gehört ebenfalls zu den ermittelten Wirkungen. Allerdings raten Forscher, die die Idee einst entwickelt hatten, nur bei solchen Tätigkeiten zu ähnlichen Maßnahmen, wo z.B. die Sicherheit der Allgemeinheit eine höhere Rolle spielt als die Gesundheit des Arbeitnehmers.

Somit kann man auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse vorhersagen, dass erhöhte Beleuchtungsstärken, verbunden mit einer kälteren Lichtfarbe, nicht der Sicherheit und Gesundheit des arbeitenden Menschen dienen, sondern eher dem Gegenteil.

7 Bewertung und Schlussfolgerungen

Obwohl die Verfasser der ersten Norm zur Beleuchtung von Arbeitsstätten im Jahre 1935 hervorgehoben haben, dass die Beleuchtungsstärke nur ein Hilfsmaß ist, und zudem sechs weitere gleichberechtigte Gütemerkmale definiert haben, wird in den neuesten Normen nur noch auf diese abgehoben. Es wird zwar noch ausgesagt, dass es noch weitere Merkmale gibt, jedoch wird die Beleuchtungsstärke zur wichtigsten Größe bestimmt. Diese Entwicklung widerspricht dem Trend in den USA, wo die IESNA, die Lichttechnische Gesellschaft für Nordamerika, den Rat von Peter Boyce und anderen Fachleuten ernst genommen hat und versucht, ein Qualitätskonzept für Beleuchtung zu realisieren.

Die über mehrere Jahrzehnte verfolgte Politik, die Festlegung von Beleuchtungsstärken mit objektivierbaren Merkmalen der Sehleistung zu begründen, wurde nicht nur von Peter Boyce als „Märchen“ tituiert, sondern bereits früher als nicht hinreichend bezeichnet (Krochmann und Kirschbaum, 1983). Sie haben experimentell festgestellt, dass für jede Aufgabe optimale Bereiche für die Leuchtdichte (und damit für die erforderliche Beleuchtungsstärke) existieren. Dies bedeutet, dass die Vorstellung hinfällig ist, dass mit höheren Beleuchtungsstärken eine Verbesserung von Sehverhältnissen einhergeht.

Boyce hat dargestellt, dass die Festlegungen eher durch politische und ökonomische Rahmenbedingungen bedingt waren als durch Sehleistung. Auf der Basis der Sehleistung könnte man nach seiner Meinung allenfalls Beleuchtungsstärken in der Größenordnung von 100 lx fordern. Hierdurch entstünden aber dunkle Arbeitsräume.

Da ca. 40% der in Bürohäusern verbrauchten elektrischen Energie für die Beleuchtung aufgewendet wird, müsste man eher nach Wegen suchen, wie man die gleiche Beleuchtungsqualität mit weniger Energieaufwand erreicht. Und nicht die Installation von mehr Licht durch Begriffsänderungen auf dem Papier verlangen. Man sollte dem Rat von Krochmann und Boyce folgend prüfen, wie viel Licht man wirklich braucht.

In der Tat kann man heute übliche Papierdokumente selbst bei 5 lx hinreichend genau und gut lesen, während man bei reiner Bildschirmtätigkeit mit ein paar Lux auf der Tastatur auskommen kann. Eine solche Umgebung möchte aber mit Sicherheit kaum jemand bei Tage in einem Arbeitsraum erleben, nachts schon eher. Tagsüber wünschen sich die meisten Menschen eine helle anregende Umgebung. Diese hat mit den genormten Beleuchtungsstärken, die für die horizontale Arbeitsebene gelten, nur wenig gemein. Der Helligkeitseindruck wird wesentlich durch vertikale Flächen bestimmt. Eine Steigerung der Beleuchtungsstärke in der Horizontalen kann, bei sonst gleichen Bedingungen, den Raum viel dunkler erscheinen lassen. Deswegen geben die einst von der Lichtindustrie favorisierten „BAP-Leuchten“ den Räumen den sog. Höhlen-Look. Die Steigerung

davon ist eine Beleuchtung mit Downlights ausschließlich, die neuerdings sogar von manchen Arbeitsschützern als vorbildlich dargestellt wird.

All diese Probleme wären vermeidbar gewesen, wenn man bei der Planung die sog. „Leuchtdichtetechnik“ zu Grunde gelegt hätte. Diese Technik beruht auf einer Größe, die dem Helligkeitseindruck am nächsten kommt. Die Betonung der Größe der Beleuchtungsstärke war bereits vor 70 und mehr Jahren als falsch anerkannt worden. Dass man immer noch mit der falschen Größe hantiert und die angeblich verfolgten Ziele verfehlt, liegt nicht etwa daran, dass die Vorgehensweise den Interessen der Benutzer besser dienen würde. Vielmehr liegt der Grund beim Hauptvertriebsweg der Leuchtenindustrie, der über den Elektrogroßhandel und Ingenieurbüros läuft.

Diese Studie dokumentiert, dass man versucht hat, die für bestimmte Sehaufgaben erforderlichen Beleuchtungsstärken anhand der Eigenschaften dieser Sehaufgaben festzulegen. Hierfür hat man die sog. Sehleistung herangezogen, freilich ohne diese zu definieren. So haben verschiedene Autoren unterschiedliche Kriterien gewählt, die aber nicht validiert worden sind. Die Literatur zeigt nicht einmal, warum man gerade dieses und nicht ein anderes Kriterium gewählt hat. Je nach Wahl des Kriteriums hätte man 50 lx oder auch 5000 lx verlangen können. Es ist besonders bemerkenswert, dass Richtwerte für Arbeitsstätten, die der Leistungsfähigkeit und der Sicherheit der gesamten Arbeitnehmerschaft dienen sollen, nach einem nicht definierten Kriterium festgelegt werden, um anschließend von offizieller Seite auch noch als „Stand der Technik“ erklärt zu werden.

Die auf diese Art und Weise entstandenen Werte für Beleuchtungsstärken, die sich naturgemäß nur auf das Sehobjekt beziehen können, für den gesamten Arbeitsraum verlangt, z.B. mit der Begründung, dass die Sehleistung gemindert werde, wenn im Raum unterschiedliche Leuchtdichten herrschten. Danach hat man diese Werte in sog. Nennbeleuchtungsstärken umgewandelt, da man sicherstellen wollte, dass die erforderlichen Werte in der Gebrauchsdauer der geplanten Anlage auch verfügbar sind. Der vorerst allerletzte Schritt bestand darin, dass man die Nennbeleuchtungsstärkewerte teils unverändert als Wartungswert genormt hat, wodurch sich der zu planende Neuwert um mindestens 20% erhöht. Teils wurden die Werte drastisch heraufgesetzt, ohne dass es irgendeinen Grund hierfür gibt. Ganz im Gegenteil: Auch für Arbeitsplätze, an denen die Benutzer die Beleuchtung möglichst ausschalten oder irgendwie abschirmen, damit sie vernünftig arbeiten können (z.B. CAD-Arbeitsplätze), wurden die Werte erhöht. Für Schaltwarten in Kraftwerken muss man nach der Norm doppelt so viele Leuchten installieren als vorher, weil die Beleuchtungsstärke praktisch verdoppelt worden ist. Hierdurch kann sogar die Betriebssicherheit gefährdet werden, weil es dort viele aktive Anzeigen mit geringem Kontrast gibt.

Bei schätzungsweise 60% der Büroarbeitsplätze in Deutschland (fensternahe Arbeitsplätze) müsste man jetzt über 100% mehr Beleuchtungsstärke installieren als vorhanden, weil man jetzt 500 lx Wartungswert anstelle von 300 lx Nenn-

wert verlangt. Es gibt mit Sicherheit keine einzige halbwegs brauchbare Studie, die diese Steigerung rechtfertigen könnte. Man kann eher das Gegenteil nachweisen.

Erstaunlich ist, dass Werte, die auf diese Art und Weise entstanden sind, von manchen Fachleuten als „anerkannter Stand der Wissenschaft und Technik“ anerkannt und publiziert werden. Es ist zwar legitim, dass sich Kartelle, Gruppierungen oder Industrieverbände bestimmte Regeln geben und danach verfahren, und hierbei nur sich selbst Rechenschaft schuldig sind. Einen vergleichbaren Fall wie bei der Festlegung von Beleuchtungsstärken für Arbeitsstätten in Normen, deren Durchsetzung dann staatliche Stellen für den Arbeitsschutz übernehmen, gibt es vermutlich nicht.

Bei der Durchsicht der Literatur haben wir keine Publikation gefunden, die zu diesem Zeitpunkt, wo Energieeinsparung zu den wichtigsten Themen der internationalen Politik gehört, nutzlose Erhöhungen des Verbrauchs elektrischer Energie begründen helfen könnte. Weder die Benutzer noch deren Arbeitgeber werden einen Nutzen darin sehen, dass noch mehr Leuchten in den Arbeitsräumen installiert werden, die ihr Licht in eine Ebene lenken, in der es kaum noch wichtige Sehaufgaben gibt. Die Initiatoren und Protagonisten solcher Projekte sollten den Rat von Peter Boyce wirklich ernst nehmen. Oder daran arbeiten, dass die folgende Feststellung einer von Leuchtenherstellern gegründeten und unterstützten Institution nicht mehr stimmt: „... nahezu alle Beleuchtungen, die heute geplant werden, tragen nicht zum Wohlbefinden des Menschen bei.“

8 Literatur

Bischof, W., Bullinger-Naber, M., Kruppa, B., Müller, B.H., Schwab, R.: Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2004

Blackwell, H. R. 1946. Contrast thresholds of the human eye. J. Opt. Soc. Am. 36(11):624-643.

Boyce, P. Illuminance Selection Based on Visual performance - and Other Fairy Stories" (<http://www.lrc.rpi.edu/resources/library/visualperf.asp>), 2004 (Originalarbeit: Illuminating Engineering Society of North America 1995 Annual Conference: Proceedings. IESNA: New York, NY. 562-577.)

Çakir, A.; Çakir, G.: Licht und Gesundheit Eine Untersuchung zum Stand der Beleuchtungstechnik in deutschen Büros, Ergonomic, Berlin, 1998

Çakir, A.; Çakir, G.: Einfluss von optischen Oberflächeneigenschaften von IT-Produkten auf Benutzer, BAuA, Dortmund, in Druck

DIAL: Licht und Mensch. Ergebnisse eines Experiments - Der Einfluss der Lichtverteilung im Raum auf die Akzeptanz des modernen Büroarbeitsplatzes. DIAL GmbH, Lüdenscheid, 2003

Fischer, D. Beleuchtungsstärken, Leuchtdichten und Farben in Innenräumen. (zitiert aus) Gall, D.: Bewertungssysteme in der Lichtanwendung, TH Ilmenau, 1974

Hagemann, W.: Grundlinien der Planung von Raumbeleuchtungsanlagen. In Seewig, R. (Hrsg.) Handbuch der Lichttechnik. Teil 2: Beleuchtungstechnik, Berlin: Springer, 1938

Hentschel, H.-J., Licht und Beleuchtung, Siemens, Erlangen, 1972

IESNA Lighting Handbook, New York, 2000 (frühere Ausgaben ab 1947)

Graf Klein, J., The Office Book, Quarto Marketing Ltd., London, 1982

Köhler, Walter, Lichttechnik - Lichtbewertung Lichterzeugung Lichtanwendung, Helios Verlag, Berlin, 1952

Krochmann, J.; Kirschbaum, C.F., Gerät zur Ermittlung der ergonomisch notwendigen Beleuchtung am Arbeitsplatz, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1983

Kruithof, A.A.; Kruithof, A.M.: (zitiert aus) Wittig, E.: Normung für Beleuchtungsstärken für Arbeitsräume, Licht-Technik III, 1951, S. 52-56

Lange, H. (Hrsg.), Handbuch für Beleuchtung, ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg, 1992

Leffingwell, F.W.: Scientific office management. Chicago 1927

Plarre, H.: Die Bedeutung des „Visuellen Kontrastproblems“ für die Gestaltung von Arbeitsverfahren und Arbeitsplätzen, TH Stuttgart (Diss), 1932

Rea, M.S.; Ouellette, M.J.: Visual performance using reaction times, *Lighting Research and Technology*, 20, 4, 1988, S. 139-153

Sewig, R. Handbuch der Lichttechnik. Teil1: Grundlagen, Lichtquellen, Lichtmessung, Baustoffe; Berlin: Springer, 1938

Sewig, R. Handbuch der Lichttechnik. Teil 2: Beleuchtungstechnik, Berlin: Springer, 1938

Spitz, J., High Light Das Fachmagazin der Lichtbranche, 3/4 2004

VBG (Hrsg.): Beleuchtung im Büro - Hilfen für die Planung von Beleuchtungsanlagen von Räumen mit Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen, Hamburg, 2003

Weston, H.C.: Visual Fatigue, *Illuminating Engineering*, Vol 49(2) (Februar 1954), S. 63-76

Regelwerke

BGR 131-1 Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsplätzen - Teil 1: Handlungshilfe für den Unternehmer, Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Druckvorlage, HVBG Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin, Juli 2006

BGR 131-2 Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsplätzen - Teil 2: Leitfaden zur Planung und zum Betrieb der Beleuchtung, Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Druckvorlage, HVBG Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin, Juli 2006

DIN 5035-1:1990: „Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 1: Begriffe und allgemeine Anforderungen“

DIN 5035-2:1990 „Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 2: Richtwerte für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien“

DIN 5035-7:1988: „Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen und mit Arbeitsplätzen mit Bildschirmunterstützung“

DIN 5035-7:2004: „Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen

DIN EN 12464-1:2003 Licht und Beleuchtung; Beleuchtung von Arbeitsstätten; Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen,