

Aus dem Institut für Arbeitshygiene (Direktor: Prof. Dr. BRANDT), der Akademie für Sozialhygiene, Arbeitshygiene und ärztliche Fortbildung in Berlin-Lichtenberg (Rektor: Prof. Dr. med. habil. REDEZKY, Prorektor: Prof. Dr. med. habil. HOLSTEIN)

## Grundsätzliches zu Licht und Beleuchtung am Arbeitsplatz

Von

G. WILDNER, Berlin

Mit 8 Textabbildungen

(Eingegangen am 15. Februar 1960)

Arbeitsverrichtungen als bewußte, zweckbestimmte, zeitlich und räumlich vielfältig koordinierte Körperbewegungen bedürfen der Hilfe des Auges, erfordern gutes Sehen und Erkennen der Arbeitsobjekte, des Arbeitsplatzes und seiner Umgebung. Produktionstechnisch notwendige Arbeiten in abgedunkelten oder völlig lichtlosen Arbeitsräumen, bei denen der Tastsinn das Sehen ersetzen muß, gehören zu den Ausnahmen und betreffen nur einen kleinen Teil der Gesamtzahl aller Werktätigen.

Bei ungenügendem Tageslicht und mangelnder künstlicher Beleuchtung im Arbeitsraum und am Arbeitsplatz wird die Sehleistung herabgesetzt und das Sehvermögen bald überanstrengt.

Ein erheblicher Teil aller Arbeitsunfälle ist auf unzureichende oder fehlende Beleuchtung zurückzuführen. Bei Klagen über vorzeitige Ermüdung, Sehstörungen und Kopfschmerzen sollte man immer untersuchen, ob die Beschwerden mit Mängeln der Belichtung und Beleuchtung zusammenhängen. Schlechte Lichtverhältnisse zwingen auch oft zu ungünstiger Arbeitshaltung, verhindern einen flüssigen Arbeitsablauf und mindern die Produktionsleistung nach Menge und Qualität.

Eine *optimale Belichtung und Beleuchtung* ist somit *aus arbeitshygienischen und wirtschaftlichen Gründen* zu fordern.

Neben der optisch-physiologischen Bedeutung, die dem Komplex „Licht und Arbeit“ zukommt, darf auch die psychische Komponente nicht übersehen werden. Der Gesamteindruck eines Arbeitsraumes, seine Wirkung auf den darin tätigen Menschen, wird wesentlich durch die Lichtverhältnisse bestimmt. Dunkle Arbeitsräume schaffen eine gedrückte unfreundliche Atmosphäre; Lichtmangel und Dämmerung wirken ermüdend und einschläfernd. Helligkeit wirkt dagegen anregend und hebt die Arbeitsfreudigkeit. In hellen Arbeitsräumen können die hygienischen Verhältnisse günstiger gestaltet werden. Schmutz und Unsauberkeit nisten sich leicht in schlecht belichteten Arbeitsräumen ein. Wer ständig in solchem Milieu arbeiten muß,

stumpft allmählich ab und vernachlässigt Ordnung und Sauberkeit, weil es in dieser Umgebung zwecklos erscheint, für Reinlichkeit zu sorgen.

### Grundgrößen und Einheiten der Lichttechnik

Um eine einwandfreie Verständigung, auch international zu gewährleisten, sind Größen, Einheiten und Bezeichnungen der Lichttechnik genormt worden. Die wichtigsten Grundbegriffe, die zum Verständnis lichttechnischer Fragen notwendig sind, werden nachfolgend unter Hinweis auf das Normenblatt DIN 5031 kurz erläutert.

*Leuchtdichte.* Stilb, sb und Apostilb, asb. Der Helligkeitseindruck, den eine Lichtstrahlung im Auge hervorruft, wird durch die Dichte des Lichtstromes, die Leuchtdichte bestimmt.

Die Einheit der Leuchtdichte ist das Stilb, Zeichen: sb. 1 Stilb ist  $\frac{1}{60}$  der Leuchtdichte des bei der Erstarrungstemperatur des Platins strahlenden Schwarzen Körpers (Hohlraumstrahlers). Zur Messung der meist geringen Leuchtdichten bei nicht selbstleuchtenden sondern lichtreflektierenden Flächen hat man eine kleinere Untereinheit der Leuchtdichte, das Apostilb, Zeichen: asb, eingeführt. Es hat die Größe von  $\frac{1}{\pi} \cdot 10^{-4} \text{ sb} = 0,32 \cdot 10^{-4} \text{ sb}$ . Große Leuchtdichten bewirken Blendung, deshalb werden bekanntlich starke Lichtquellen in zweckmäßig gestalteten Leuchten durch lichtstreuende Medien (Trüb- oder Opalglas, Raster usw.) oder durch Reflektoren bzw. durch teilweise Umkleidung mit lichtundurchlässigen Blenden gegen das Auge abgeschirmt.

*Einheitsraumwinkel.* Steradian sr. Zur einheitlichen Darstellung der Strahlungsverhältnisse benutzt man aus der sphärischen Geometrie die Begriffe Einheitskugel und Einheitsraumwinkel.

Die Einheitskugel ist eine gedachte Kugel mit dem Radius 1 m. Ein von einer punktförmigen Lichtquelle im Mittelpunkt dieser Kugel ausgehendes Strahlenbündel umgrenzt auf der Oberfläche eine bestimmte Fläche. Die Größe dieser Fläche in Quadratmeter gilt als Maßzahl für den Raumwinkel. Umreißt also das Strahlenbündel auf der Oberfläche der Einheitskugel eine Fläche von genau 1 m<sup>2</sup>, so ist der Raumwinkel = 1. Er wird Einheitsraumwinkel oder Steradian genannt, Zeichen: sr. Der Raumwinkel ist eine dimensionslose Größe. Der größte Raumwinkel beträgt  $4\pi$ , denn er umfaßt die gesamte Oberfläche der Einheitskugel, die  $4\pi \text{ m}^2$  groß ist.

*Lichtstärke.* Candela, cd. Die Lichtstärke ist das Maß für die Intensität des von einer Lichtquelle ausgestrahlten Lichtes. Die Angabe der Lichtstärke bezieht sich immer auf eine Strahlungsrichtung. Die Einheit der Lichtstärke ist die Candela, Zeichen: cd. (candela lat. = Kerze, bisher Neue Kerze NK, frühere Einheiten Hefnerkerze, HK u. a.).

Die Lichtstärke 1 cd hat eine Fläche von 1 cm<sup>2</sup> in senkrechter Richtung, wenn sie die Leuchtdichte 1 sb besitzt.

*Lichtstrom.* Lumen: lm. Der Lichtstrom ist die von einer Lichtquelle ausgestrahlte Lichtleistung oder Strahlungsenergie. Diese Lichtleistung darf nicht etwa mit der von einer elektrischen Lichtquelle, z. B. einer Glühlampe, aufgenommenen elektrischen Leistung gemessen in Watt verwechselt werden.

Die Einheit des Lichtstromes ist das Lumen, Zeichen: lm.

Der Lichtstrom 1 lm ist vorhanden, wenn eine Lichtquelle Lichtstärken von 1 cd gleichmäßig in den Raumwinkel 1 sr strahlt.

*Beleuchtungsstärke.* Lux, lx und Phot, ph. Wir sehen und erkennen die Dinge unserer Umwelt, weil sie durch Tages- oder Kunstlicht beleuchtet werden, d. h.

Lichtstrahlung empfangen und in unser Auge zurückwerfen. Die Ermittlung der Beleuchtungsstärke im Arbeitsraum oder am Arbeitsplatz ist zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen wichtig. Die Beleuchtungsstärke ist die Dichte des auf eine Fläche auftreffenden Lichtstromes, bezogen auf die bestrahlte Fläche.

Die Einheit der Beleuchtungsstärke ist das Lux, Zeichen: lx.

Die Beleuchtungsstärke 1 lx ist vorhanden, wenn der Lichtstrom 1 lm auf eine Fläche von 1 m<sup>2</sup> gestrahlt wird.

Für sehr hohe Beleuchtungsstärken wird als größere Maßeinheit das Phot, Zeichen: ph, verwendet.

Die Beleuchtungsstärke 1 ph ist vorhanden, wenn der Lichtstrom 1 lm auf die Fläche von 1 cm<sup>2</sup> gestrahlt wird, d. h. 1 Phot = 10<sup>4</sup> lx.

Zur Messung der Beleuchtungsstärke werden in Lux oder Phot geeichte Geräte verwendet, bei denen ein lichtempfindliches Sperrschicht-Photoelement die Lichtenergie in elektrische Energie umwandelt und mittels einer Drehschule anzeigt.

**Lichtausbeute.** Lumen je Watt, lm/W. Die Lichtausbeute ist das Verhältnis zwischen dem von einer Lichtquelle abgestrahlten Lichtstrom und der zu seiner Erzeugung aufgewendeten Leistung. Die Lichtausbeute ist ein Maß für den lichttechnischen Wirkungsgrad und dient zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Lichtquelle. Für elektrische Lichtquellen wird die Lichtausbeute in Lumen je Watt angegeben. Die Lichtausbeute 1 lm/W ist vorhanden, wenn eine Lichtquelle mit 1 W Leistungsaufnahme den Lichtstrom 1 lm abgibt.

Die **Lichttechnik** beruht auf den physikalischen Gesetzen der *Optik* und den Erkenntnissen der *Physiologie* über das Sehen, insbesondere Bau und Funktion des Auges, der Nervenleitung und der zugehörigen Gehirnteile.

### Physiologie des Sehens

Nach der Quantentheorie von PLANCK ist die Lichtabstrahlung von einem leuchtenden Körper als ein nicht stetiger, sprunghafter Vorgang, der sich in bestimmten Energiebeträgen, den Lichtquanten vollzieht, aufzufassen. Hinsichtlich

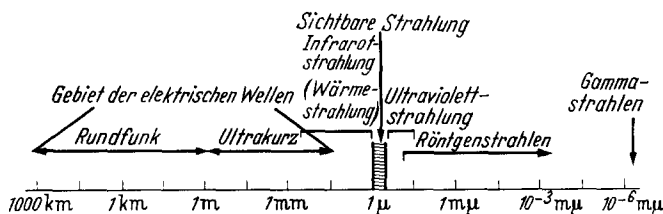


Abb. 1. Wellenlänge elektromagnetischer Strahlung. (Nach NELL und NEUMANN)

seiner Ausbreitung verhält sich das Licht wie eine elektromagnetische Schwingung. Dies gilt auch bei Durchgang durch Hornhaut, Kammerwasser, Linse und Glaskörper. Die Lichtempfindung aber wird ausgelöst durch Absorption von Lichtquanten im Auge. Das sichtbare Licht, von dem das Sehorgan des Menschen erregt wird, umfaßt den relativ kleinen Wellenlängenbereich von 360–780 mμ (Millimikron oder nm = Nanometer = 10<sup>-9</sup> m) des elektromagnetischen Spektrums, dessen ungeheure Ausdehnung am Schema Abb. 1 dargestellt ist. Da aber die Empfindlichkeit des Auges im oberen und unteren Grenzbereich des sichtbaren

Spektrums nur ein Tausendstel des Maximalwertes beträgt, rechnet die Lichttechnik mit einem Bereich von 400—750  $m\mu$ . Trifft Lichtstrahlung aus dem genannten Wellenlängenbereich unser Auge, so ruft sie außer Helligkeitsempfindung auch eine Farbwahrnehmung hervor. Jede Wellenlänge „erzeugt“ gleichsam eine bestimmte Farbe (s. Schema, Abb. 2). Strahlung aus dem gesamten Bereich, wie sie z. B. im Sonnenlicht vorliegt, empfinden wir als weißes Licht. Dieses enthält, wie vom Regenbogen oder aus dem einfachen Versuch der Lichtbrechung an einem Prisma jedermann bekannt ist, die gesamte Farbenskala.

Die eigentliche *Lichtaufnahme* im Auge erfolgt durch die nach ihrer Form Zapfen und Stäbchen genannten, mit photochemisch wirksamen Sehstoffen ausgerüsteten lichtempfindlichen Sinnesorgane, die sich auf der Netzhaut (Retina) befinden. Die farbempfindlichen Zapfen vermitteln das Sehen bei größerer Helligkeit, das sog. Tagessehen; die nahezu farblunempfindlichen, auf geringe Lichtreize ansprechenden, bei starkem Lichtreiz aber ausgeschalteten Stäbchen ermöglichen das Dämmerungs- oder Dunkelsehen. Das Auge besitzt die Adaption genannte Fähigkeit, sich verschiedenen Helligkeiten vom Tagessehen im direkten

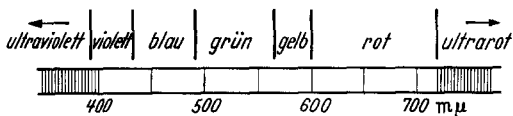


Abb. 2. Wellenlängen der Farben des sichtbaren Lichtes.  
(Nach K. WAHL)

Sonnenlicht bis zum Dämmerungssehen anzupassen. Das geschieht einerseits durch Verengen und Erweitern der Pupille in der Regenbogenhaut (Iris) und andererseits durch Veränderung der Lichtempfindlichkeit der Elemente der Netzhaut, psychophysiologische Adaption genannt. Die schnell vorsichtige Verengung der Pupille schützt die Netzhaut bei plötzlichem starken Lichteinfall. Noch wichtiger für die vielseitige Leistung unseres Sehorgans ist die psychophysiologische Adaption. Das Adaptionsvermögen der Zapfen ist geringer als das der Stäbchen, geht aber schneller vor sich, in etwa 1—2 min, als die Stäbchenadaption, die erst nach etwa 40—60 min abgeschlossen ist. Die Adaption erfordert aber nicht nur eine gewisse Zeit, sondern sie ist auch eine starke Anstrengung für das Sehorgan, wenn sie plötzlich und häufig erfolgt. Durch zweckmäßige Belichtung und Beleuchtung der Arbeitsräume müssen deshalb große Helligkeitsunterschiede im Sehbereich vermieden werden. Die Empfindlichkeit des Auges ist für die verschiedenen Wellenlängen des sichtbaren Spektrums unterschiedlich groß. Bei helladaptiertem Auge besitzt die Netzhaut die größte Empfindlichkeit für Lichtstrahlen der Wellenlänge  $\lambda = 555 m\mu$  (gelb-grün) bei dunkeladaptiertem dagegen für  $\lambda = 505 m\mu$  (blau-grün). Dies erklärt die von PURKINJE entdeckte Tatsache, daß bei dunkeladaptiertem Auge (Dämmerungssehen) Licht der kurzen Wellenlängen (grün, blau, violett) heller erscheint als solches der längeren Wellen (gelb, orange, rot). Diese spektrale Helligkeitsverschiebung muß die praktische Lichttechnik berücksichtigen.

Im Normenblatt DIN 5031 sind die international vereinbarten Werte des von der Wellenlänge abhängigen Hellempfindlichkeitsgrades  $v_\lambda$  bei helladaptiertem Auge für die verschiedenen Wellenlängen angegeben. Der vorgenannte Maximalwert bei  $\lambda = 555 \text{ nm}$  (Nanometer) ist gleich 1 gesetzt. Wir wissen aus der alltäglichen Erfahrung, daß der Helligkeitseindruck, den wir bei Betrachtung eines Gegenstandes empfinden, außer von seiner eigenen Helligkeit (Leuchtdichte oder Beleuchtungsstärke) auch davon abhängt, ob er sich in heller oder dunkler Umgebung befindet oder wie er sich von seinem Hintergrund abhebt. Diese gegenseitige Beeinflussung optischer Eindrücke bezeichnen wir als Kontrastwirkung.

*Kontraste* spielen eine wesentliche Rolle beim Sehen und Erkennen. Ihre Wirkung erstreckt sich nicht nur auf die Helligkeitswahrnehmung, sondern auch auf das Farbsehen. Jede Farbe erscheint in Gegenwart ihrer Komplementärfarbe kräftiger und leuchtender als in andersfarbiger Umgebung. Die praktische Nutzenanwendung hat dies bei der Verwendung der Komplementärfarben rot und grün für Signallichter gefunden. Bei geringen Kontrasten im Blickfeld muß die Beleuchtung heller sein als bei starken Kontrasten, um gleich gutes Erkennen zu ermöglichen. Der Kontrast ist definiert als der Unterschied in der Leuchtdichte zweier benachbarter Flächen.

Untersuchungen über die Kontrastempfindlichkeit des Auges, d. h. über die Wahrnehmung kleinster Leuchtdichtenunterschiede haben ergeben, daß diese am größten ist, wenn eine möglichst gleichmäßige Leuchtdichte im gesamten Gesichtsfeld vorhanden ist. Ob ein Gegenstand für den Betrachter gut erkennbar ist, hängt bekanntlich auch von der Objektgröße ab. Die physiologische Lichttechnik benutzt zur Darstellung der Sehschärfe den Sehwinkel, da mit ihm Größe und Entfernung des Gegenstandes vom Auge gleichzeitig erfaßt werden. Beim normalen Auge muß der Sehwinkel eines Gegenstandes mindestens  $1'$  betragen, um ihn noch deutlich wahrnehmen zu können. Dieser kleinste Sehwinkel ergibt für 1 m Augenabstand eine Gegenstandsgröße von  $\frac{3}{100}$  mm.

Trifft Lichtstrahlung höherer Leuchtdichte als die Adaptionsleuchtdichte, auf die das Auge eingestellt ist, die Netzhaut, so tritt die als *Blendung* bezeichnete Störung oder Ausschaltung des Sehvermögens ein. Leuchtdichten über 20 Stilb rufen absolute Blendung hervor, z. B. Hineinsehen in unabgeschirmte Lichtquellen. Die Blendungsstärke ist außerdem abhängig von der räumlichen Ausdehnung des Lichtstrahlers, d. h. vom Sehwinkel, unter dem wir ihn wahrnehmen. Starke Leuchtdichtenunterschiede in Teilen des Gesichtsfeldes sind ebenfalls unerträglich, und wir bezeichnen dies als relative Blendung. Schon Blendung geringen Grades verhindert deutliches Sehen. Daß bei der Blendung nicht nur absolute Helligkeitswerte eine Rolle spielen, sondern auch der jeweilige Adaptionszustand des Auges, ist jedermann bekannt. Ein Fahrzeugscheinwerfer bei Nacht, also bei dunkeladaptiertem Auge, blendet uns völlig, wohingegen er uns bei hellem Sonnenschein nur als schwache Lichtquelle erscheint. Blendung wird aber nicht nur durch Lichtquellen als sog. Direktblendung hervorgerufen, sondern tritt auch als Reflexblendung durch Lichtrückwurf von beleuchteten Flächen auf. Blenden uns Lichtquellen, die sich genau in Blickrichtung (Mitte des Gesichtsfeldes) befinden, deren Strahlung das Sehzentrum der Netzhaut trifft, so sprechen wir von Infeld-Blendung, dagegen besteht Umfeld-Blendung, wenn die Blendquelle am Rande des Gesichtsfeldes liegt und periphere Netzhautzonen gereizt werden. Die Vermeidung jeder Art der Blendung ist wohl die wichtigste arbeitshygienische Forderung an die Lichttechnik.

Ähnlich wie die Blendung ist auch das Phänomen der sog. *Nachbilder*, d. h. die Empfindung eines Lichteindrucks noch nach seinem Erlöschen oder Verschwinden, vom Adaptionszustand des Auges und der Stärke der aufgenommenen Lichtreize abhängig. Bei hohen Leuchtdichten (Sonne, nicht abgeschirmte Lampe) kann die Nachbilddauer, d. h. Zeitspanne bis zum Verschwinden des Nachbildes, stark ansteigen und sich sehr störend für das Sehen auswirken. Je nachdem, ob das Nachbild hell oder dunkel erscheint, spricht man von positiven oder negativen Nachbildern. Überwiegend einfarbige Lichtreize erzeugen meist Nachbilder in der Komplementärfarbe. Die bereits zur Vermeidung der Blendung und störender Kontraste gestellte Forderung, für möglichst gleichmäßige Leuchtdichte oder Beleuchtungsstärke im Gesichtsfeld zu sorgen, gilt auch für die Verhütung störender Nachbilder.

### Tageslicht

Fensterlose, ausschließlich künstlich beleuchtete und klimatisierte Arbeitsräume gibt es bereits in größerer Anzahl. Unabhängig vom jahreszeitlichen Wechsel und den Tagesschwankungen des Umweltklimas ein stets gleichbleibendes Betriebsklima zu gewährleisten, bietet sicherlich, produktionstechnisch gesehen, mancherlei Vorteile, insbesondere, wenn mit Rücksicht auf das herzustellende Produktionsgut bestimmte konstante Temperaturen, Luftfeuchtigkeitsgehalte und Reinheitsgrade der Raumluft eingehalten werden sollen. Mit den Mitteln der Lichttechnik ist es zweifellos möglich, solche Arbeitsstätten in einer allen arbeitshygienischen Forderungen genügenden Weise zu beleuchten. WEIST („Betriebsärztliche Erfahrungen mit der fensterlosen Fabrikbauweise“, Das Deutsche Gesundheitswesen Nr. 22, 1958) und KOCH („Fensterlose Arbeitsräume und Arbeitsschutz“, Z. Arbeitsschutz Nr. 3, 1959) haben überzeugend dargelegt, welche hohen Anforderungen an solche Beleuchtungsanlagen zu stellen sind und daß auch eine jederzeit betriebsbereite, bei Versagen der Beleuchtung automatisch sich einschaltende, Notbeleuchtung vorhanden sein muß.

Ob aber die künftige Entwicklung im Industriebau vorwiegend das fensterlose Gebäude bevorzugen wird, ist noch nicht abzusehen. Schon aus wirtschaftlichen Erwägungen wird aber der hohe Kostenaufwand für Klimatisierung selbst in Großbetrieben nicht immer tragbar sein. Für Mittel- und Kleinbetriebe kommt der fensterlose Arbeitsraum wohl kaum in Betracht. Für den größten Teil aller Arbeitsstätten wird deshalb Tageslicht zu fordern sein. Die Belichtung muß hell genug, örtlich gleichmäßig, blendungsfrei und zweckmäßig schattengebend sein.

Unsere natürliche Lichtquelle ist die Sonne. Bei direkter Einstrahlung haben wir Sonnenlicht, bei bedecktem Himmel oder Schattenlage Himmelslicht als Tageslicht. Dem Lichteinfall dienen Fenster in den Wänden und im Dach oder der Raumdecke, Oberlichte genannt. Beide Belichtungsarten kommen getrennt, aber auch kombiniert zur Anwendung. Lage, Größe und Form der Lichteinlaßöffnungen in einem Gebäude werden beim Entwurf vom Architekten den Anforderungen an die Tagesbeleuchtung entsprechend gestaltet.

Im Normenblatt DIN 5034 „*Leitsätze für Tagesbeleuchtung*“ sind Mindestforderungen für die Beleuchtungsstärke in Arbeitsräumen aufgestellt worden. Da das Tageslicht im Raum abhängig ist vom Licht im Freien und mit diesem verhältnismäßig zu- und abnimmt, muß man sich auf dieses beziehen. Als Richtwert wurde eine mittlere Beleuchtungsstärke im Freien von  $E_a = 3000 \text{ Lx}$  (zerstreute Beleuchtung vom bewölkten Himmel als ungünstiger, aber in unseren Breiten häufigster Fall) zugrunde gelegt, bei der Räume noch genügend Tageslicht erhalten sollen.

Die Nutzbeleuchtungsstärke am Arbeitsplatz ( $E_n$ ) wird entweder in Lux (lx) oder als Verhältnis zur gleichzeitig herrschenden horizontalen Beleuchtungsstärke

im Freien ( $E_a$ ) angegeben. Dieses Verhältnis ( $T$ ) wird als Tageslichtquotient oder Tageslichtkennzahl, gemessen in Prozent, bezeichnet.

$$T = \frac{\text{Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz } (E_n)}{\text{Beleuchtungsstärke im Freien } (E_a)} \cdot 100 \text{ in } \%$$

DIN 5034 fordert bei  $E_a = 3000 \text{ lx}$  folgende Mindestwerte für Arbeitsplatzbeleuchtung:

Tabelle 1

Art der Arbeit	Mindestwert der Beleuchtungsstärke	
	$E_n$ in lx	Tageslicht- kennzahl in Prozent
Grob . . .	40	1,33
Mittelfein .	80	2,66
Fein . . .	150	5
Sehr fein .	300	10

Diese Mindestbeleuchtungsstärken gelten im allgemeinen für Arbeitsplätze. Sie werden bei Seitenfenstern in 2 m Abstand von der Mittelsenkrechten der Fenster, bei Glasdächern (Oberlichte) in Raummitte, und zwar stets 1 m über dem Fußboden gemessen. Für die Beleuchtung der Verkehrswege in Gebäuden gilt der für grobe Arbeiten genannte Wert.

Die Tagesbeleuchtung in Räumen ist außer von der im Freien herrschenden Beleuchtung im wesentlichen abhängig von der *Fenstergröße und -form*, vom Lichtdurchlaß des Glases, von der Größe des Raumwinkels der unmittelbaren Lichteinstrahlung und vom Lichtrückwurf von den Wänden und der Raumdecke. Der Beleuchtungsanteil durch reflektiertes Licht ist relativ gering im Vergleich zum unmittelbar eingestrahlt Himmelslicht. Für Arbeitsräume ist deshalb immer zu fordern, daß jedes Fenster direktes Tageslicht erhält, wie auch möglichst von jedem Arbeitsplatz ein Stück des Himmels zu sehen sein soll. Da farbige Flächen nur denjenigen spektralen Anteil des auffallenden Lichtes zurückstrahlen, der ihrer Farbe entspricht, sollen Wände und Decken in Arbeitsräumen einen hellen Anstrich erhalten. Leichte Farbtönungen zur Belebung im Sinne der Farbdynamik sind damit nicht ausgeschlossen.

Helle Außenwände mit großem Lichtrückwurf, besonders bei Innenhöfen größerer Fabrikgebäude, sind aus dem gleichen Grunde zweckmäßiger als dunkle, da so die Beleuchtung vornehmlich in den unteren Stockwerken erheblich verbessert wird. Bei der Bemessung der Fenster ist zu berücksichtigen, daß große Glasflächen zwar reichlichen Lichteinfall gewährleisten, im Winter aber Kühlflächen sind, die erhöhte Heizung erfordern und im Sommer bei direkter Sonneneinstrahlung unerträgliche Raumerwärmung bewirken. Zu große Fensterflächen sind daher ebenso nachteilig wie zu kleine. Für manche Zwecke können

Glasbausteine vorteilhaft verwendet werden, so z. B., wenn man den Lichteinfall von einem Raum in den benachbarten unter Wahrung der baulichen Abtrennung ermöglichen will. Vor Übertreibungen bei der Verwendung von Glas als Baustoff für Außenwände von Arbeitsstätten aber sollte man sich hüten. Die meisten Menschen wollen ebensowenig im Glaskasten arbeiten, wie sie darin wohnen möchten. Die Abgeschlossenheit eines Arbeitsraumes gegen die Außenwelt darf nicht verlorengehen, wenn nicht die Konzentration auf die Arbeit leiden soll. Fenster sollen aus möglichst farblosem Klarglas bestehen und den Blick nach außen gestatten. Hinter Milch- und Mattglasscheiben fühlen wir uns eingesperrt. Ornamentglas ergibt leicht Blendung und ist deshalb

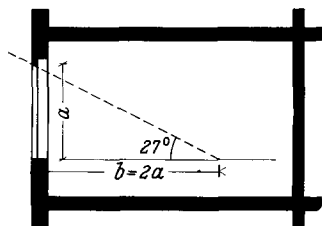


Abb. 3. Der Elevationswinkel.  
(Nach DIN 5034)

auch wenig zu empfehlen. Die vorgenannten Glasarten sollen nur verwendet werden, wenn man den Einblick in Räume von außen verhindern will, wie z. B. bei Wasch- und Umkleieräumen, Aborten, Sanitäräumen u. dgl.

Für die Anordnung der Fenster eines Gebäudes sind dessen örtliche Lage, die Himmelsrichtung der Fensterwände, Abstand und Höhe der Nachbarbauten und anderer schattender Objekte, z. B. Baumgruppen, Bahndämme usw. bestimmend. Um ausreichenden Lichteinfall zu gewährleisten, muß der Abstand eines Gebäudes von einem gegenüberliegenden etwa doppelt so groß sein wie dessen Höhe.

Nach DIN 5034 dürfen bei Räumen mit einseitiger Belichtung durch Seitenfenster die am tiefsten im Raum gelegenen Arbeitsplätze höchstens doppelt so weit vom Fenster entfernt sein, wie der Abstand zwischen Fenstersturz und Tischhöhe beträgt. Das entspricht einem Elevations- oder Einfallswinkel von  $27^\circ$  (Abb. 3). Zur Berücksichtigung der Verschattung durch gegenüberstehende Bauten fordert CORDS-PARCHIM einen Öffnungswinkel für den unmittelbaren Lichteinfall von der Himmelskuppel von mindestens  $4^\circ$ , d. h. der Verbauungswinkel muß mindestens  $4^\circ$  kleiner sein als der Einfallswinkel (Öffnungswinkel  $\gamma$  = Einfallswinkel  $\varepsilon$  — Verbauungswinkel  $\alpha \geq 4^\circ$ ) (Abb. 4).

Für das Verhältnis „Gesamtfensterfläche (Rohbaumaße) zur Fußbodenfläche“ sind aus der Erfahrung geschöpfte Richtwerte aufgestellt worden, z. B.

Werkstätten für feine Arbeiten . . . . .	1:5
Werkstätten für grobe Arbeiten . . . . .	1:7
Lagerräume . . . . .	1:10

Diese Erfahrungswerte geben aber nur einen Anhalt und genügen kaum als Grundlage für einen Bauentwurf. Dagegen können sie zur überschlägigen Kontrolle der Gesamtfensterfläche immerhin von Nutzen sein. Zur genaueren Bestimmung der notwendigen Fensterflächen sind rechnerische und zeichnerische Ermittlungsverfahren entwickelt worden (BURCHARD, KÜSTER, BÜNING-ARNDT, FRÜHLING, MEYER u. a., s. CORDS-PARCHIM, Technische Bauhygiene), die unter Berücksichtigung des Lichtrückwurfs von Decke und Wänden dem Architekten eine zweck-



mäßige Konstruktion der Fenster nach Größe und Form für die jeweils gestellten Anforderungen ermöglichen.

Fenster sollen das Tageslicht möglichst ungehindert in den Raum lassen. Rund- und Spitzbogenfenster sind für Arbeitsräume unzuweckmäßig. Tiefe Fensterleibungen behindern den Lichteinfall. Sind sie baulich nicht zu umgehen, sollen sie gut abgeschrägt werden. Bei gleicher Glasfläche sind hohe und schmale Fenster günstiger als niedrige und breite, da die erstgenannten das Licht tiefer in den Raum fallen lassen. Fenster sollen in der Wand so hoch wie möglich angeordnet werden. Nach DIN 5034 soll der Abstand des Fenstersturzes von der

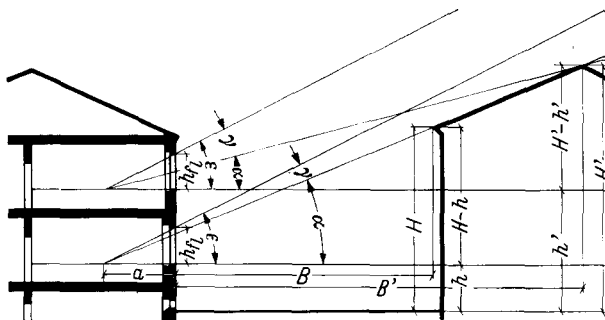


Abb. 4. Einfalls-, Verbauungs- und Öffnungswinkel. (Nach CORDS-PARCHIM)

Raumdecke 30 cm nicht übersteigen. Die Fensterbank soll etwa in Tischhöhe (Arbeitsebene) liegen. Herunterziehen der Fenster bis zum Fußboden ist im allgemeinen nicht vorteilhaft, da Lichteinfall durch diesen Fensterteil unter Umständen Blendung hervorruft. Fensterrahmen sollen, um den Mauerdurchbruch nicht unnötig zu verkleinern, nicht breiter sein, als es für die Festigkeit erforderlich ist. Holz als Baustoff ergibt breiteres Rahmenwerk als Gußeisen, Stahl oder Leichtmetall, die deshalb für Industriebauten zu bevorzugen sind. Je kleiner das Fenster, um so größer der Lichtverlust durch den Rahmen. Viele kleine Fenster sind lichttechnisch ungünstiger als wenige große. Im Hinblick auf gleichmäßige Lichtverteilung in Arbeitsräumen ist aber eine bestimmte Mindestzahl von Fenstern notwendig, die sich aus der Raumgröße ergibt.

Fenster mit direkter Sonneneinstrahlung sollen Blendungsschutz erhalten. In Büroräumen, Zeichensälen, Werkstätten der Leichtindustrie aller Art, auch Nahrungs- und Genußmittelindustrie und vielen anderen Wirtschaftszweigen sind als Blendschutz helle, dichtgewebte Fenstervorhänge ohne Querbehang anzubringen, die in zurückgezogenem Zustand die ganze Fensterfläche freigeben. Gegen die Wärmeeinstrahlung (Treibhauseffekt) können Markisen oder schräggestellte Stab-

jalousien außen vor den Fenstern, wie sie in südlichen Ländern gebräuchlich sind, einen gewissen Schutz bieten. Wo die Eigenart des Betriebes und die Größe sowie Höhe der Werkhallen Fenster-  
vorhänge nicht gestatten, muß durch geeignete Abschirmungen (Jalousien, klappbare Blenden u. dgl.), Mattierungen oder teilweisen Anstrich der Glasflächen, Sonnenblendung gemildert werden.

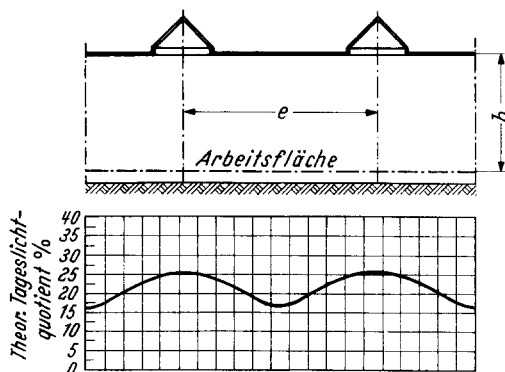


Abb. 5. Sattel- oder raupenförmige Glasdächer. (Nach DIN 5034)

stern kann zwar die Belichtung von Räumen, in die infolge starker Verbauung das Tageslicht in sehr kleinem Winkel einfällt, verbessert werden. Diese Maßnahmen sind aber nur berechtigt, um vorhandene ungünstig gelegene Räume noch

Vorbauten, wie Balkone, Loggien, Schmucksimse u. dgl. behindern den Tageslichteinfall und sind deshalb bei Arbeitsräumen zu verwerfen. Durch die Anbringung von Spiegeln und lichtstreuenden Prismen (Luxferprismen) vor den Fenstern kann zwar die Belichtung von Räumen, in die infolge starker Verbauung das Tageslicht in sehr kleinem Winkel einfällt, verbessert werden. Diese Maßnahmen sind aber nur berechtigt, um vorhandene ungünstig gelegene Räume noch verwendbar zu machen. Keinesfalls sollten sie bei Neubauten zugrunde gelegt werden.

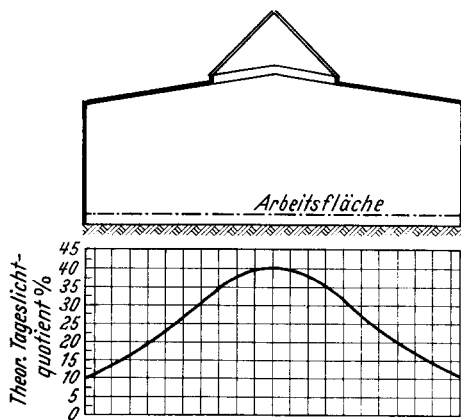


Abb. 6. Firstglasdächer. (Nach DIN 5034)

Eingeschossige Bauten, insbesondere ausgedehnte Werkhallen, die durch Seitenfenster allein nicht genügend erhellt werden, aber auch Dachgeschosse in Hochbauten und Räume ohne Seitenfenster erhalten Tageslicht durch Oberlichte.

Nach der Anordnung der Leiteinlaßöffnungen im Dach unterscheidet man 4 Hauptformen:

a) *Sattel- oder raupenförmige Glasdächer*, Abb. 5 (nach DIN 5034). Die Längsachse des Glasdaches verläuft senkrecht zur Firstrichtung (Längsachse) des Gebäudes. Um möglichst gleichmäßige Raumbelichtung zu erzielen, soll der Achsenabstand ( $e$ ) nicht größer sein als die Höhe ( $h$ ) von der Arbeitsebene bis zur Unterkante der Raumdecke. Diese Glasdächer werden bevorzugt bei Anordnung der höheren, also schattengebenden Werkstatteinrichtungen, Maschinen, Werkstücke usw. in Längsrichtung der Hallen.

b) *Firstglasdächer*, Abb. 6 (nach DIN 5034). Die Längsachse des Glasdaches läuft parallel zur Längsachse des Gebäudes. Firstglasdächer sind geeignet für lange, hohe und nicht zu breite Hallen, deren Arbeitsplätze sich überwiegend in der Mitte unter dem Glasdach befinden.

c) *Mansardglasdächer*, Abb. 7 (nach DIN 5034). Bei Mansardglasdächern liegt ein durchlaufendes Glasband zwischen Längsaußenwand und dem oberen, undurchsichtigen Teil der Dachhaut. Diese Dachform ist besonders geeignet für Hallen, deren Arbeitsplätze überwiegend an den Außenwänden liegen.

d) *Säge- oder Sheddächer*, Abb. 8 (nach DIN 5034). Bei diesen sägeförmigen Satteldächern hat die verglaste Seite meist 60° Neigung und die undurchsichtige 30° gegen die Horizontale. Die Glasflächen sind möglichst nach Norden anzuordnen, um direkte Sonneneinstrahlung zu verhindern. Diese Glasflächen geben gleichmäßige Belichtung auch bei niedrigen Hallen.

Durch Kombination von Seitenfenstern mit den verschiedenen Formen der Oberlichte, lassen sich gute Tageslichtwerte auch in großen Werkhallen erreichen. Wichtig ist, daß durch hellen Anstrich der lichtundurchlässigen Unterseite der Dachflächen der Lichtrückwurf optimal gestaltet wird. Alle Glasflächen (Seitenfenster, Oberlichte, Glasbausteine usw.) müssen regelmäßig von innen und außen gereinigt werden. Bei Seitenfenstern normal hoher Arbeitsräume bietet dies keine Schwierigkeiten. Für hohe Werkhallen aber müssen zu diesem Zweck sichere Leitern, fahrbare Arbeitsbühnen oder Hängegerüste zur Verfügung stehen. Glasdächer müssen über Laufstege sicher zugänglich sein, damit sie ebenfalls gefahrlos gereinigt werden können. Stark verschmutzte Glasflächen verschlucken bis zu 90% des auffallenden Lichtes. Abgesehen von allgemeinhygienischen Belangen müssen auch zur Gewährleistung ausreichenden Lichtrückwurfs die Außenwände

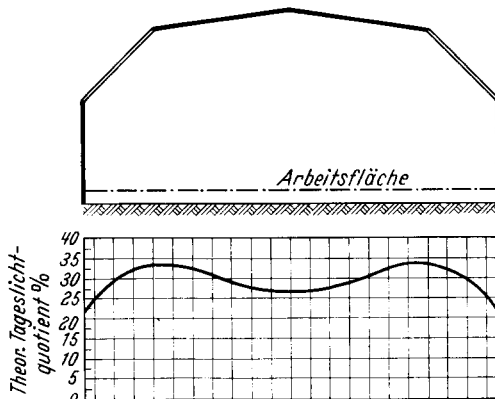


Abb. 7. Mansardglasdächer. (Nach DIN 5034)

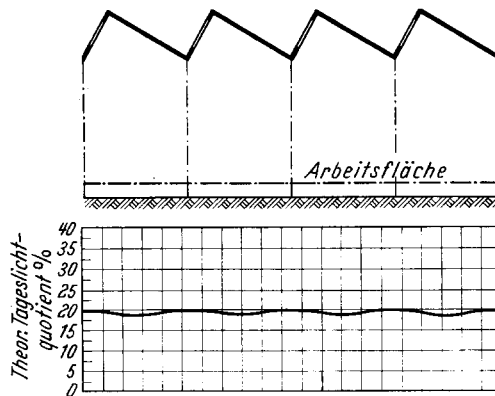


Abb. 8. Sagedächer. (Nach DIN 5034)

von Arbeitsräumen, besonders bei Höfen und Lichtschächten, von Zeit zu Zeit gereinigt und Anstriche gegebenenfalls erneuert werden.

### Künstliche Beleuchtung

Für Arbeitsräume muß schon wegen der klimatisch bedingten erheblichen Schwankungen der Tageslichtstärke stets eine künstliche Beleuchtung vorgesehen werden. Das Arbeiten in Spät- und Nachtschichten wird durch sie überhaupt erst ermöglicht. Die für das Tageslicht in Arbeitsräumen aufgestellten arbeitshygienischen Grundforderungen — hell genug für die jeweiligen Arbeiten, möglichst gleichmäßige und blendungsfreie Lichtverteilung und zweckmäßige Schattengebung — gelten auch für die künstliche Beleuchtung. Es kommt noch hinzu, daß keine Helligkeitsschwankungen durch Pendeln der Leuchten oder Flackern der Lichtquellen auftreten dürfen. Außerdem muß die spektrale Zusammensetzung des Lichtes, seine Farbe, den Arbeitsansprüchen genügen.

Nachdem Jahrtausende hindurch der Menschheit nur primitive künstliche Lichtquellen wie Fackeln, Öllampen, Kerzen u. dgl. zur Verfügung standen, hat erst die moderne Technik mit dem Gasglühlicht und der elektrischen Beleuchtung vielseitig brauchbare und wirtschaftliche *Lichtquellen* entwickelt. Alle unsere technischen Lichtquellen sind entweder *Temperaturstrahler*, d. h. Stoffe, die infolge Erwärmung glühen oder verbrennen und dabei Lichtstrahlung aussenden (freibrennende Flammen, Gasglühkörper, elektrische Glühlampe) oder *Elektro-Lumineszenzstrahler*, auch Entladungslampen genannt, bei denen das Licht ohne wesentliche Temperaturerhöhung beim Anlegen einer elektrischen Spannung an eine Gastrecke infolge elektrostatischer Anziehung von Elektronen und Ionen mit oder ohne Strahlungsumwandlung in Leuchtstoffen entsteht (Metaldampflampen, Leuchtstofflampen, Leuchtröhren). Chemo-Lumineszenz kommt wegen der geringen Lichtausbeute für Beleuchtungszwecke ebensowenig in Frage wie Leuchtcondensatoren, die sich zur Zeit noch in der Entwicklung befinden.

Da die Begriffe und Bezeichnungen der Beleuchtungstechnik im allgemeinen Sprachgebrauch häufig nicht sinngemäß und gleichlautend angewandt werden, hat der Fachnormenausschuß Lichttechnik im DNA die einschlägigen Begriffe, Größen und Einteilungen in einigen Normenblättern, siehe z. B. DIN 5039 und 5040, festgelegt. Unter *Lichtquellen* verstehen wir Sender elektromagnetischer Strahlung des sichtbaren Gebietes unbeschadet gleichzeitiger Strahlung im Ultravioletten und Ultraroten. *Lampen* sind technische Ausführungsformen von künstlichen Lichtquellen, die in erster Linie leuchten oder beleuchten sollen. Fackeln, Kerzen, Leuchtstoffe u. dgl. werden nicht als Lampen bezeichnet. Bei den Lampen unterscheidet man: a) Verbrennungslampen, die chemische Energie von festen, flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen unmittelbar (Flamme) oder mittelbar (Glühkörper) in Licht umformen; b) elektrische Lampen, die elektrische Energie in Licht umwandeln. *Leuchten* sind Geräte, die zur Verteilung, Filterung und

Richtung des Lichtes von Lampen dienen, einschließlich der zur Befestigung, zum Schutz oder auch zum Betrieb der Lampen notwendigen Bestandteile.

Als künstliche Lichtquelle für Arbeitsräume haben heute Leuchtgas (sog. Stadtgas), Flüssiggas (Propan, Butan), Acetylen, Petroleum, Spiritus, Rüböl usw. keine Bedeutung mehr gegenüber der elektrischen Beleuchtung. Für Arbeitsplätze im Freien, auf Baustellen, im Verkehrswesen und in noch nicht erschlossenen Gebieten ohne Stromversorgung finden jedoch die vorgenannten Energieträger zum Betrieb von Verbrennungslampen noch Verwendung. Außerdem hat sich die Gas-Straßenbeleuchtung besonders in Großstädten und in Industriegebieten, wo Leuchtgas billig anfällt, aus wirtschaftlichen Gründen und dank der Entwicklung moderner, allen Anforderungen genügenden Leuchten mit Erfolg neben der elektrischen Beleuchtung behaupten können. Im Bergbau unter Tage sind gemäß den besonderen Anforderungen an eine tragbare Grubenlampe neben den durch elektrischen Akkumulator gespeisten Hand- oder Kopfleuchten, deren Reflektor an der Bergmannskappe getragen wird, noch Acetylen- und Benzingrubenleuchten (Davysche Sicherheits- und Wetterprüflampe) im Gebrauch. Für Gruben ohne elektrische Stromversorgung sind Sonderleuchten entwickelt worden, bei denen ein kleiner Druckluft-Turbogenerator mit der zu speisenden Glühlampe als geschlossenes Aggregat im Leuchtengehäuse untergebracht ist. Eine Kombination von Akku- und Druckluftleuchte ist die Druckluft-Akku-Verbundleuchte, die wahlweise den Betrieb mit Akku oder mit Druckluft gestattet und damit als Weg- und Arbeitsplatzleuchte benutzbar ist.

Ein wesentlicher Vorteil der elektrischen Beleuchtung ist es, daß sie nicht wie alle Gas- und Öllampen der Raumluft Sauerstoff entzieht und diese nicht durch Abgabe von Verbrennungsgasen verschlechtert. Schon aus diesem Grunde sind elektrische Lampen allen anderen Lichtquellen zur Raumbeleuchtung vorzuziehen. Feuer- und explosionsgefährdete Arbeitsräume können aus Sicherheitsgründen überhaupt nur elektrisch beleuchtet werden. Wegen ihrer dominierenden Stellung soll nachstehend nur auf die elektrische Beleuchtung näher eingegangen werden. Die für sie aufgestellten Grundsätze haben auch für alle anderen Beleuchtungsarten Gültigkeit.

*Elektrische Lampen. Glühlampe.* Die meistbenutzte Lichtquelle für elektrische Beleuchtungen ist zur Zeit noch die Glühlampe, in deren kugel- oder birnenförmigem Glaskolben ein Wolframdraht (Wendel oder Doppelwendel) infolge Widerstandserhitzung bei Stromdurchgang bis zur Weißglut erwärmt, Lichtstrahlung aussendet.

Der Lampenkolben ist entweder luftleer gepumpt, sog. Vakuumlampen, oder nach der Evakuierung mit einer geringen Menge eines Edelgases (meist Argon, aber auch Krypton) gefüllt, sog. Gasfüllungslampen. Der Gasdruck verzögert die

Verdampfung der Wendel, gestattet eine höhere Glühtemperatur und damit eine größere Lichtausbeute bei gleicher Lebensdauer der Lampe. Bei den sog. K-Lampen wird als Füllgas Krypton verwendet, dessen Atomgewicht doppelt so groß ist, wie das des Argons. Dementsprechend sind Glühdrahttemperatur und Lichtausbeute der K-Lampe höher als bei der Argonlampe. Die Lichtstrahlung der Glühlampen besitzt ein kontinuierliches Spektrum. Die Lichtfarbe der Normal- oder Allgebrauchslampen ist überwiegend gelblich-rot. Andere Lichtfarben sind nur durch Verwendung farbigen Glases für den Lampenkolben oder durch Farbfilter in den Leuchten zu erzielen. Diese Farbfilterung ist mit einem erheblichen Lichtverlust verbunden, der z. B. beim Blauglas für Tageslichtglühlampen 45% beträgt. Glühlampen dürfen nur mit ihrer Nennspannung betrieben werden. Bei Überspannung sinkt ihre Lebensdauer (Brenndauer) stark, bei Unterspannung ist ihre Lichtstrahlung völlig unzureichend. Die Wendel der Glühlampe besitzt eine hohe Leuchtdichte, 200—1500 sb bei klarem Kolben, 5—40 sb bei mattiertem. Man soll deshalb niemals „nackte“ Glühlampen als Beleuchtung verwenden. Glühlampen gehören auf jeden Fall in eine zweckmäßige Leuchte, welche Blendung ausschließt, den Lichtstrom in der gewünschten Weise verteilt und auf die Arbeitsfläche lenkt. Glühlampen werden in Normalausführung für Spannungen von 2—265 V und Leistungsaufnahmen von 0,5—2000 W hergestellt. Darüber hinaus sind zahlreiche Sonderlampen entwickelt worden, wie Großglühlampen (bis 50000 W), Illuminations- und Kerzenlampen, Soffitten-, Scheinwerfer- und Projektionslampen, Lampen für optische Geräte, für Fahrzeuge, für Arbeits- und Prüfgeräte, für medizinische Instrumente u. a. m.

In der Glühlampe werden nur 10% der zugeführten elektrischen Energie in Lichtstrahlung, aber 90% in Wärme umgesetzt. Energetisch gesehen ist die Glühlampe keine ideale Lichtquelle.

*Lumineszenzstrahler* dagegen sind „kalte“ Lichtquellen ohne wesentliche Wärmeabgabe. Seit sie im letzten Jahrzehnt zu hochwertigen und betriebssicheren Lampen entwickelt worden sind, machen sie der Glühlampe mehr und mehr ihre Vormachtstellung streitig. Alle Entladungslampen oder Lumineszenzstrahler, mit Ausnahme der Bogenlampen, die sowohl Temperatur- als auch Lumineszenzstrahler sind, enthalten in evakuierten Glasröhren oder Glaskolben geringe Mengen von Edelgasen und Metaldämpfen, die bei Stromdurchgang (elektrostatische Entladungsvorgänge) zur Lichtstrahlung angeregt werden.

Je nach dem verwendeten Gas oder Metaldampf entsteht Lichtstrahlung bestimmter Wellenlänge und damit bestimmter Farben. Die Lumineszenzlampen besitzen im Gegensatz zum kontinuierlichen Spektrum der Temperaturstrahler ein Linienspektrum. Leuchtstofflampen, Leuchtröhren und Metaldampflampen werden in zunehmendem Maße für die Beleuchtung von Arbeitsräumen verwendet. Die zu den Entladungslampen gehörenden Glimmlampen und farbigen Werbeleuchtröhren dienen Sonderzwecken und kommen für normale Raumbeleuchtung ebenso wenig in Betracht wie die Kohlenbogenlampen, die aber wegen ihrer hohen Leuchtdichte für Scheinwerfer aller Arten, für Bildprojektion und -reproduktion große Bedeutung haben.

Den meist erheblichen Anteil an ultravioletter Strahlung, der bei fast jeder Entladungslampe auftritt, hat man in den Leuchtstofflampen durch die Anwendung von Leuchtstoffen, die UV-Strahlung in sichtbares Licht umwandeln, nutzbar gemacht.

Die normalen *Niederspannungs-Leuchtstofflampen* werden als gerade oder u-förmig gebogene (seltener ringförmige) Rohre hergestellt.

An beiden Enden ist das Glasrohr mit Glühelktroden versehen, die mit den Kontaktstiften für einen Spezialsockel zur Befestigung in einer Leuchte verbunden sind. Bei Wechselstrombetrieb ist jede Elektrode abwechselnd Anode oder Kathode. Die Glühelktrode ist eine Doppelwendel aus Wolframdraht, deren Oberfläche zur besseren Elektronenemission mit einer dünnen Schicht eines Alkalioxyds abgedeckt ist, sog. aktivierte Glühkathode. In das luftleer gepumpte Glasrohr werden eine geringe Menge des Edelgases Argon und ein Tropfen Quecksilber eingebracht und auf seiner Innenwandung der Leuchtstoff als pulverförmige Substanz aufgeschlämmt. Bei der elektrischen Entladung in der Argongas-Quecksilberdampf-Atmosphäre wird neben sichtbarer überwiegend unsichtbare Strahlung (UV) erzeugt, die vom Leuchtstoff in sichtbares Licht umgewandelt wird. Die genaue Zusammensetzung der Leuchtstoffe wird von den Lampenherstellern mehr oder minder geheimgehalten. Im allgemeinen werden Silikate, Borate und Wolframate des Zinks, Calciums, Kadmiums und Magnesiums in einer Zusammensetzung benutzt, die durch elektromagnetische Strahlung im Bereich der Quecksilberlinie (254 nm) zu einer möglichst intensiven Eigenstrahlung im sichtbaren Bereich angeregt werden.

Durch Verwendung entsprechender Leuchtstoffe kann fast jede gewünschte Lichtfarbe erzeugt werden. Für Beleuchtungszwecke werden im allgemeinen nur weiße Farbtönungen gewählt. Handelsüblich sind die Farbtypen: neutralweiß (mischbar mit natürlichem Tageslicht ohne Zwielichterscheinungen); gelblichweiß (glühlampenähnlich); tageslichtweiß (genaue Farbwiedergabe); rötlichweiß (blaudämpfend, rötlich betonend); warmton (gelb betonend). Für Arbeitsräume sind neutralweiß und gelblichweiß zu bevorzugen. Die Leuchtdichte und damit die Blendwirkung der Leuchtstofflampe ist infolge ihrer großen Abstrahlungsfläche weit geringer (0,35—0,6 sb) als die der Glühlampe.

Niederspannungs-Leuchtstofflampen können ohne Transformator an das normale 220 V-Wechselstromnetz angeschlossen werden. Jede Lampe benötigt aber eine Vorschalt-Drosselspule zur Begrenzung des Betriebsstromes, des Aufheizstromes der Glühelktroden und zur Erzeugung der Zündspannung. Ferner ist ein sog. Starter mit Glimmzünder zum Einschalten des Aufheizstromes und selbsttätigen Abschalten nach bestimmter Heizzeit erforderlich. (Anstelle von Glimmzündern finden auch Thermostarter oder Magnetstarter Verwendung.) Diese Geräte bilden mit der Lampe eine Wirkungseinheit und müssen deshalb aufeinander abgestimmt sein. Der Startprozeß wird durch Vorheizen der Glühelktroden eingeleitet und durch einen Zündspannungsstoß (Induktionsspannung aus der Drosselspule bei selbsttätigem Abschalten des Glimmzünder-Starters) abgeschlossen. Danach geht der Entladungsprozeß automatisch weiter. Wegen der hohen Belastung der Glühelktroden bei der Zündung ist eine geringe Schalthäufigkeit für die Lebensdauer der Leuchtstofflampe günstiger als ständig wiederholtes Ein- und Ausschalten bei kurzzeitigem Betrieb. Sollen Leuchtstofflampen mit Gleichspannung betrieben werden, so sind zusätzliche Vorschaltgeräte erforderlich, die etwa die Hälfte der zugeführten elektrischen Leistung aufzehren, wodurch die Lichtausbeute erheblich verringert und die ganze Anlage unwirtschaftlich wird. Auch müssen die Lampen nach 5—8 Std umgepolt werden, um ein Nachlassen der Lichtausstrahlung infolge Verarmung des positiven Elektrodenraumes an Quecksilberatomen zu verhüten.

Niederspannungs-Leuchtstofflampen werden in Längen von 470—1500 mm hergestellt und strahlen bei Leistungsaufnahmen von 15—50 W Lichtströme von 400—2000 Lumen aus. Ihre Lichtausbeute ist etwa dreimal so groß als die normaler Glühlampen. Lichttechnisch noch günstiger sind die Langstab- oder Slim-line-Lampen mit Längen bis 2440 mm. Wegen ihrer über der Netzspannung liegenden Betriebsspannung müssen sie über Streufeldtransformatoren angeschlossen werden.

Ohne Zweifel sind Leuchtstofflampen eine der modernsten Lichtquellen und werden mit Recht wegen ihrer erheblichen Vorteile in steigendem Maße auch zur Beleuchtung von Arbeitsräumen benutzt. Anfangs wurden Leuchtstofflampen als absolut blendungsfrei angesehen und vorwiegend freistrahlend ohne jede lichtstreuende Abschirmung aufgehängt. Abgesehen davon, daß meist eine Lenkung des Lichtstromes auf die Arbeitsfläche erwünscht ist und schon deshalb die Lampen zweckmäßigerweise in Reflektorleuchten unterzubringen sind, wurde auch mehr und mehr erkannt, daß Leuchtstofflampen blenden können, wenn ihre Leuchtdichte größer ist als die allgemein im Sehbereich herrschende, was häufig der Fall ist. Wenn solche Blendung zu befürchten ist, sollten Leuchtstofflampen durch lichtstreuende Glasplatten, Kunststoff-Folien oder Raster entblendet werden.

*Hochspannungs-Leuchtröhren und -Leuchtstoffröhren* werden über ihre ursprüngliche Verwendung als Werbeleuchten hinaus auch zur Raumbeleuchtung benutzt. Die erforderliche Hochspannung (maximal zulässig 6000 V) wird ihnen über Transformatoren zugeführt. Sie kommen in erster Linie dort in Betracht, wo man große Räume mit ununterbrochenen Lichtbändern ausleuchten oder ausgesprochene Lichtarchitektur anwenden will, wie z. B. in Bahnhofshallen, großen Verkaufsräumen und Kulturstätten aller Art. Für reine Zweckbeleuchtung in Montagehallen und Werkstätten werden vorwiegend Einheitslängen von 2 m verwendet.

Als Entladungslampen für normalen Netzanschluß sind weiterhin die *Quecksilberdampf-Hochdrucklampen* und die *Natriumdampflampen* zu nennen.

*Quecksilberdampf-Hochdrucklampen* erzeugen die Lichtstrahlung in einem Argon und Quecksilber enthaltenden Brenner aus Quarzglas, der in einem glühlampenähnlichen oder röhrenförmigen Glaskolben eingeschlossen ist. Jede Lampe besitzt eine besondere Zündelektrode und einen hochohmigen Widerstand, die im Glaskolben untergebracht sind. Quecksilberdampflampen werden über Drosselspulen an das Netz geschaltet. Die Lichtfarbe ist bläulich-weiß. Farben erscheinen bei diesem Licht, das als kalt und zu blau empfunden wird, stark verändert.

Quecksilberdampflampen sind gut geeignet für Außenbeleuchtung, für Raumbeleuchtung nur, wenn auf natürliche Farbwiedergabe verzichtet werden kann. Ihre Lichtausbeute ist dreimal so hoch, ihre Lebensdauer doppelt so groß wie die der Glühlampe.



*Natriumdampflampen* sind ähnlich gebaut wie die Quecksilberdampflampen. Als Leuchtsystem dient ein u-förmiger Brenner aus natriumdampfbeständigem Glas, der etwas Edelgas (meist Neon) und Natrium enthält, welches nach dem Aufheizen durch die Gasentladung verdampft. Die Lampen werden über Drossel oder Trafo betrieben. Sie strahlen ein ausgesprochen gelbes Licht (Wellenlänge 589 nm) aus, das zwar ein Erkennen von Farben nicht gestattet, jedoch die Sehschärfe erhöht, da es der optimalen Augenempfindlichkeit nahe kommt.

Aus diesem Grunde werden Natriumlampen zur Oberflächenprüfung von Werkstoffen und Werkstücken auf feine Strukturfehler und Risse benutzt. Ihre Lichtausbeute übertrifft noch die der Quecksilberlampe. Wenn sie trotzdem fast nur zur Außenbeleuchtung verwendet werden, so ist dies auf ihre monochromatische Lichtfarbe zurückzuführen.

Die für Sonderzwecke entwickelten *Gas- und Metaldampfentladungslampen*, wie Analysen-Quarzlampen, medizinische Bestrahlungslampen, Spektrallampen für optische Messungen, Lichtblitzröhren, Edelgas-Höchstdrucklampen usw. kommen für Raumbeleuchtung nicht in Frage und brauchen hier nicht besprochen zu werden.

Eine Kombination von Entladungslampe und Glühlampe stellen die *Verbundlampen* dar, bei denen die Leuchtsysteme beider Lampenarten in einem Glas kolben unlösbar vereinigt sind. Das so erzeugte Mischlicht ist tageslichtähnlich. Verbundlampen sind sehr empfindlich gegen Schwankungen der Netzspannung. Man verwendet deshalb vielfach an Stelle der Verbundlampen je eine Quecksilberhochdrucklampe und eine normale Glühlampe in gemeinsamer Leuchte, der sog. Mischlicht-Leuchte.

*Beleuchtungsarten.* Bei der künstlichen Beleuchtung im Arbeitsraum unterscheiden wir *Allgemeinbeleuchtung*, die den gesamten Raum erhellt und *Arbeitsplatzbeleuchtung*, die höhere Lichtansprüche an einzelnen Arbeitsplätzen befriedigt. Bei reiner Allgemeinbeleuchtung muß überall im Arbeitsraum genügende Helligkeit für die zu verrichtenden Arbeiten gewährleistet sein.

Nach DIN 5035 wird hinsichtlich der örtlichen Gleichmäßigkeit der Beleuchtung verlangt, daß bei reiner Allgemeinbeleuchtung das Verhältnis der kleinsten Beleuchtungsstärke  $E_{\min}$  zur mittleren Beleuchtungsstärke  $E_m$  (in Lux) die in der nebenstehenden Tabelle angegebenen Werte nicht unterschreitet (Tabelle 2).

Werden Arbeitsplätze, Maschinen und Geräte zusätzlich beleuchtet, so braucht die Raumbeleuchtung nur zum gefahrlosen Verkehr und ungestörten Arbeitsablauf auszureichen, wobei keine krassen Unterschiede zwischen den Beleuchtungsstärken einzelner Raumzonen vorhanden sein dürfen. Ausschließliche Arbeitsplatzbeleuchtung ohne

Allgemeinbeleuchtung ist abzulehnen, da hierbei zu große Unterschiede im Beleuchtungsniveau auftreten, die durch häufige Umadaptierung das Sehen erschweren und das Auge ermüden. Aus dem gleichen Grunde

Tabelle 2

Verhältnis $E_{\min}:E_m$	Ansprüche an die Beleuchtung
1:2,5	sehr gering gering
1:1,5	mäßig hoch sehr hoch

dürfen auch benachbarte Räume sowie Gänge und Treppen, die im ständigen Verkehrsbereich liegen, in ihrer Beleuchtungsstärke keine zu großen Unterschiede aufweisen. Plötzlicher Übergang von hellen Räumen in schlecht beleuchtete hat häufig zu Unfällen durch Stolpern oder Nichterkennen von Weghindernissen geführt.

Für die *Mindestbeleuchtungsstärken*, die je nach den Anforderungen an die Sehleistung notwendig sind, gibt das Normenblatt DIN 5035 — Leitsätze für Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht — die folgenden Werte an:

Tabelle 3. *Richtwerte für Innenbeleuchtung mit künstlichem Licht nach DIN 5035 (1953)*

Art der Ansprüche an die Beleuchtung	Allgemein- beleuchtung allein. Mittlere Beleuchtungs- stärke	Platzbeleuchtung mit zusätzlicher Allgemeinbeleuchtung		Art der Arbeit
		Platz- beleuchtung	Zusätzliche Allgemein- beleuchtung	
	Lux	Lux	Lux	
Sehr gering . . . . .	30	—	—	grob mittelfein fein sehr fein
Gering . . . . .	60	—	—	
Mäßig . . . . .	120	250	20	
Hoch . . . . .	250	500	40	
Sehr hoch . . . . .	600	1000	80	
Außergewöhnlich . . .	—	4000	300	

Den Werten der Allgemeinbeleuchtung ist ein mittlerer Reflexionsgrad der Raumbegrenzungsflächen von 30%, der Platzbeleuchtung ein mittlerer Reflexionsgrad des Arbeitsgutes von 25% zugrunde gelegt. Die Beleuchtungsstärken werden im allgemeinen waagrecht in 1 m Höhe über dem Fußboden gemessen, sonst in der jeweiligen Arbeitsebene. Für die Empfindungsgeschwindigkeit und die deutliche Wahrnehmung von Formen, Farben und Bewegungen spielt außer der horizontalen Beleuchtungsstärke auch die Leuchtdichte aller im Sehbereich vorhandenen Gegenstände, ihr Lichtrückwurf oder ihre Lichtdurchlässigkeit und das Verhältnis der einzelnen Leuchtdichten zueinander eine große Rolle. Zur Erkennung kleiner Objekte bei geringen Reflexionsgraden und schwachen Kontrasten — z. B. Nähen von schwarzem Stoff mit schwarzem Faden —, muß die Beleuchtungsstärke größer gewählt werden als die Richtwerte nach DIN 5035 angeben. Besondere Eigenarten der Werkstätten und der einzelnen Arbeitsplätze hinsichtlich ihrer Anforderungen an die Sehleistung sind bei der Projektierung von Beleuchtungsanlagen und bei der arbeitshygienischen Beurteilung vorhandener Einrichtungen zu berücksichtigen.

Unter diesem Gesichtspunkt sind ausgehend vom Lichtrückwurf (Reflexionsgrad  $\rho$ ) des Arbeitsgutes, der dessen Leuchtdichte mitbestimmt, die in der nachstehenden Tabelle enthaltenen Werte für die Beleuchtungsstärken bei Arbeitsplatzbeleuchtung mit zusätzlicher allgemeiner Raumbeleuchtung aufgestellt worden.

*Arbeitshygienische Güte und Wirtschaftlichkeit* einer Beleuchtung hängen außer von der Art der verwendeten Lampen (Glühlampen oder Entladungslampen) in erster Linie von den Leuchten ab, welche eine zweckmäßige und blendungsfreie Lenkung und Verteilung des Lichtstromes gewährleisten müssen.

Tabelle 4. *Anhaltswerte für Platzbeleuchtung mit zusätzlicher Allgemeinbeleuchtung* (nach WAHL, Lichttechnik)

Art der Arbeit	Platzbeleuchtung für			Zusätzliche Allgemeinbeleuchtung (lx)
	helles Arbeitsgut $\zeta = 0,7-0,35$ (lx)	mittelhelles Arbeitsgut $\zeta = 0,35-0,15$ (lx)	dunkles Arbeitsgut $\zeta = 0,15-0,05$ (lx)	
Grob . . . . .	50—100	100—200	250—500	5—10
Mittelfein . . . .	100—200	200—400	500—1000	10—20
Fein . . . . .	200—400	400—800	1000—2000	20—40
Sehr fein . . . .	400—1500	800—3000	2000—7500	40—100

Nach DIN 5039 und 5040 werden alle Leuchten entsprechend dem Lichtstromanteil, den sie in den oberen und unteren Halbraum ausstrahlen, in 5 Hauptgruppen unterteilt. Diese Einteilung entspricht den in der praktischen Lichttechnik üblichen Benennungen und wird im deutschen und internationalen Schrifttum weitgehend verwendet. Man unterscheidet danach:

Direkt-Leuchten: oberer Lichtstromanteil (LA) 0—10%.

Vorwiegend-Direkt-Leuchten: oberer LA 10—40%.

Gleichförmig-Leuchten: oberer LA 40—60%.

Vorwiegend-Indirekt-Leuchten: oberer LA 60—90%.

Indirekt-Leuchten: oberer LA 90—100%.

Außer nach der Lichtverteilung, der sicherlich arbeitshygienisch wichtigsten Eigenschaft, unterscheidet man die Leuchten: 1. nach den Lichtquellen, für die sie bestimmt sind, z. B. Leuchten für elektrische Lampen oder für Verbrennungslampen; 2. nach ihrer Schutzart, z. B. staubgeschützt, feuchtigkeitsgeschützt, druckwassergeschützt, explosionsgeschützt usw.; 3. nach den Baustoffen, aus denen sie im wesentlichen hergestellt sind, z. B. Metalleuchten, Porzellanleuchten, Isolierstoffleuchten; 4. nach Art der Anbringung, z. B. Deckenleuchten, Hängeleuchten, Wandleuchten usw.; 5. nach dem Verwendungsort, z. B. Außenleuchten, Innenleuchten, Fahrzeugleuchten usw. Für den jeweiligen Bedarf geeignete Leuchten können aus Katalogen und Werbeschriften der Herstellerfirmen ausgewählt werden. Abbildung und Beschreibung bestimmter Leuchten ist hier begreiflicherweise nicht möglich.

Je nach Wahl der Leuchten kann direkte oder indirekte Beleuchtung oder eine Kombination beider Arten mit verschiedenem Lichtstromanteil im oberen und unteren Halbraum erzielt werden.

*Direkte Beleuchtung* durch tief-, breit- oder schrägstrahlende Leuchten, findet Anwendung für Außenbeleuchtung (Straßen-, Verkehrs- und Industrieanlagen, Baustellen und sonstige Arbeitsplätze im Freien) sowie für hohe Werkhallen und Arbeitsräume mit geringem Lichtrückwurf von Raumdecke, Dachunterseite und Wänden, ferner für Werkstätten mit Oberlichtern. Die Lampen in Direktleuchten müssen durch lichtundurchlässige Reflektoren so abgeschirmt sein, daß möglichst unter einem Blickwinkel von 60°, mindestens aber 30°, gemessen von der Waagerechten, eine Blendung des Auges durch direkten Lichteinfall vermieden wird. Direkte Beleuchtung ergibt relativ harte Schlagschatten. Eine genügende Anzahl von Leuchten ist deshalb so anzuordnen,

daß die Lichtkegel sich in Höhe der Arbeitsebene, normalerweise etwa 1 m über dem Fußboden, überschneiden und keine größeren Flächen im Arbeitsbereich unbeleuchtet bleiben. Da in Werkhallen laufende Kräne den Lichtstrom der über ihnen hängenden Tiefstrahler verdecken und den Arbeitsbereich unter dem Kran beschatten, sind am Kran selbst Leuchten anzubringen, welche diesen Lichtverlust ausgleichen. Bei der Beleuchtung von Arbeitsplätzen im Freien ist besonders auf Blendungsfreiheit zu achten. Leider wird diese wichtige arbeitshygienische Forderung oft nicht erfüllt. Um mit wenigen Leuchten große Flächen zu erhellen, werden freistrahkende oder breitstrahlende Leuchten bevorzugt, die entweder mit größeren Glühlampen oder wegen der höheren Lichtausbeute mit Quecksilberdampf-, Natriumdampf- oder Mischlichtlampen bestückt sind. Die stärkere Verwendung von Leuchtstofflampen in geschlossenen Leuchten auch für die Außenbeleuchtung ist unter arbeitshygienischem Aspekt zu begrüßen, weil ihre Blendwirkung geringer ist. Bei der Straßenbeleuchtung ist der witterungsbedingte Wechsel des Lichtrückwurfs der Straßendecke zu berücksichtigen. Die im Normenblatt DIN 5044 (Straßenbeleuchtung) gegebenen Richtlinien sollten im Interesse der Verkehrssicherheit eingehalten werden.

In rauen Betrieben mit erheblicher Luftverunreinigung, z. B. Hütten- und Zementwerke, Gießereien, Formereien usw., sind Direktleuchten auch deshalb anderen Leuchten vorzuziehen, weil stark gerichtetes Licht eine staubige und dunstige Atmosphäre besser durchdringt als diffuse Lichtstrahlung. In diesen Leuchten muß nicht nur die Lampe staubdicht gekapselt sein, sondern auch die Leuchte selbst soll nach Form und Material (glatte Schalen und Glocken mit steil gestellten Flächen) wenig Möglichkeit zur Staubablagerung bieten. Da natürliche Farbwiedergabe in solchem Arbeitsmilieu meist nicht erforderlich ist, können Natriumdampf- oder Quecksilberdampflampen hier auch wirtschaftliche Vorteile bringen. In vielen Betrieben der Textilindustrie, wie Spinnereien, Webereien und Wirkereien, erleichtert direkte Beleuchtung mit Reflektorleuchten das Erkennen feiner Fäden sowie der Web- und Wirkfehler. Vorteilhaft ist hierbei oft schräger Lichteinfall, der Kontraste für plastisches Sehen schafft. Solche Leuchten (Schrägstrahler, Webstuhlleuchten u. dgl.) werden deshalb nicht mitten über den Maschinen sondern seitwärts über den Bedienungsständen angebracht.

Bei *indirekter Beleuchtung* wird der gesamte Lichtstrom von der nach unten abgeschirmten Leuchte in den oberen Halbraum gestrahlt und von dort in den Raum reflektiert. Diese Beleuchtungsart setzt glatt verputzte und helle Decken und Wände mit gutem Lichtrückwurf voraus. Sie ergibt eine sehr gleichmäßige, nahezu schattenfreie Beleuchtung, erfordert aber zur Erreichung der notwendigen Beleuchtungs-

stärke einen hohen Energieaufwand und ist von allen Beleuchtungsarten die teuerste. Das gleiche gilt für die Raumbeleuchtung durch große Leuchtflächen, wie Trübglass- oder Rasterdecken und für die Voutenbeleuchtung, bei welcher die Lampen, der Sicht entzogen, in Hohlkehlen an den Raumwänden unterhalb der Decke angebracht sind. Für Arbeitsräume sind solche Beleuchtungen auch deshalb selten geeignet, weil sie das plastische Sehen erschweren und das Erkennen von Gegenständen geringer Größe fast unmöglich machen. Für große Verkaufsräume, Gaststätten, Kultur- und Versammlungsräume kann indirekte und großflächige Beleuchtung zweckmäßig sein, weil sie dekorativ und raumbetonend wirkt.

Die arbeitshygienisch günstigste Beleuchtungsart, sofern nicht direkte Beleuchtung unumgänglich ist, wird meist die *halbindirekte* sein, bei der ein Teil des Lichtstromes direkt auf die Arbeitsebene gelenkt und ein Teil vom oberen Halbraum zerstreut reflektiert wird. Je nach den verwendeten Leuchten — vorwiegend-direkt, gleichförmig, vorwiegend-indirekt —, wird der obere Lichtstromanteil verschieden groß sein. Man erhält eine gleichmäßige Raumausleuchtung mit weichen Schatten. Guter Lichtrückwurf der Raumbegrenzungsflächen ist auch hierbei vorauszusetzen. Die Betriebskosten (Stromverbrauch) für halbindirekte Beleuchtung liegen zwischen denen direkter und indirekter Beleuchtung. In den meisten Fällen kann bei dieser Beleuchtungsart die zusätzliche Beleuchtung einzelner Arbeitsplätze fortfallen.

Sehr hohe Beleuchtungsstärken, wie sie bei sehr feinen Arbeiten (Uhrmacherei, Gravieren, Ziselieren, Retusche, Lithographie, Kunststopfen, Stahl- und Kupferstich usw.) erforderlich sind, können wirtschaftlich tragbar meist nur durch *zusätzliche Arbeitsplatzbeleuchtung* (Direkt-Leuchten) erzielt werden. Auch an Werkzeugmaschinen wird es manchmal zweckmäßig sein, unabhängig von der Raumbeleuchtung den engeren Arbeitsbereich durch eine auf die wechselnden Arbeitsvorgänge einstellbare Maschinenleuchte besonders zu beleuchten. Hierfür finden gerichtet strahlende Reflektorleuchten Verwendung, die entweder als Gelenkleuchten, Metallschlauch-Leuchten oder Auslegerleuchten in jede gewünschte Richtung einstellbar an der Maschine selbst oder über ihr aufgehängt sind. Sie erfüllen ihre Aufgabe aber nur dann einwandfrei, wenn sie blendungsfrei abgeschirmt und erschütterungssicher befestigt sind. Die Lampen in Maschinenleuchten müssen gegen Verschmutzung durch Öl, Kühlmittel, Späne, Schleifstaub usw. weitmöglichst geschützt werden. Zur Prüfung polierter, glasierter oder spiegelnder Flächen, z. B. Tafelglas, Ofenkacheln, Glasurfliesen, Hochglanzbleche, polierte Metallteile usw., haben sich diffus strahlende Großflächen-Leuchten bewährt.

Entsprechend der großen Bedeutung, die optimaler Beleuchtung im Hinblick auf hohe Arbeitsleistung bei schonendster Beanspruchung des Sehorgans zukommt, sollen Beleuchtungsanlagen für Arbeitsräume bei Neubauten rechtzeitig in die Planung einbezogen und von Architekten und Lichttechnikern gemeinsam projektiert werden, um bauliche Gestaltung und lichttechnische Forderungen aufeinander abstimmen zu können. Ebenso müßte in älteren Betrieben außer der laufenden Instandhaltung der Beleuchtung in längeren Zeitabständen überprüft werden, ob die vorhandenen Anlagen überhaupt noch den heutigen Ansprüchen genügen. Erfahrungsgemäß ist dies meist nicht der Fall, sind doch in den letzten 4 Jahrzehnten die Mindestwerte für die Beleuchtungsstärken im In- und Ausland ständig heraufgesetzt worden. Ausgaben für Verbesserung der Beleuchtung machen sich in kurzer Zeit durch Hebung der Arbeitsfreudigkeit und damit durch erhöhte Produktionsleistungen bezahlt.

Der *Projektiertung von Beleuchtungsanlagen* sollten die Richtwerte der Beleuchtungsstärken nach DIN 5035 als Mindestforderungen zugrunde gelegt werden.

Für die Allgemeinbeleuchtung von Arbeitsräumen ergibt sich der erforderliche Gesamtlichtstrom ( $\Phi$  in Lumen) als Produkt der mittleren Beleuchtungsstärke ( $E_m$  in Lux) und der Größe der zu beleuchtenden Fläche ( $F$  in Quadratmeter) unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades ( $\eta_a$  in Prozent) der Beleuchtung. Dieser ist wiederum abhängig vom Wirkungsgrad der gewählten Leuchten sowie vom Lichtrückwurf der Raumdecken und -wände und von dem Verhältnis der Raumbreite zur Lichtpunkthöhe bzw. zum Deckenabstand der Leuchten bei halbindirekter oder indirekter Beleuchtung.  $\eta_a$  beträgt 25—55%, wie aus zahlreichen Messungen und Versuchen ermittelt wurde. Die allmähliche Abnahme des Lichtstromes der Lampen während ihrer Lebensdauer und den Lichtverlust durch Verstaubung der Leuchten, Decken und Wände berücksichtigt man durch einen Verminderungsfaktor  $v$ , der 0,5—0,8 je nach Betriebsart und Verschmutzungsgrad beträgt. Der Gesamtlichtstrom ergibt sich dann als

$$\Phi = \frac{E_m \cdot F}{\eta_a \cdot v} \cdot 100 \text{ (in Lumen).}$$

Je nach Art der gewählten Beleuchtung, direkt oder halbindirekt und der damit gegebenen Leuchtenart wird man nun Anzahl und Anordnung der Leuchten festlegen können, wobei die Lage der Arbeitsplätze und der Produktionseinrichtungen (Werkbänke, Maschinen, Fließbänder, Fördergeräte, Kräne usw.), der Ablegeplätze für Werkstoffe und Werkstücke sowie der Verkehrswege im Raum zu berücksichtigen sind. Entsprechend der Anzahl ( $z$ ) der Leuchten bzw. Lampen ergibt sich der von jeder aufzubringende Lichtstrom  $\Phi_L = \Phi/z$ . Mit der Anzahl der Lampen ist dann der gesamte Leistungsbedarf der Anlage in Watt bestimmt. Die Lichtstromwerte der Lampen (Glühlampen oder Entladungslampen) und Wirkungsgrade der Leuchten werden von

den Herstellerfirmen in ihren Katalogen angegeben. Die durchschnittlichen Wirkungsgrade der Beleuchtungsart sind für die verschiedenen Raumverhältnisse und Reflexionsgrade in Tabellen niedergelegt. Außer dem vorgenannten Berechnungsverfahren (Lichtstrom- oder Wirkungsgrad-Verfahren) sind noch andere Methoden entwickelt worden, die bei ungewöhnlichen Raumverhältnissen die Gleichmäßigkeit und Schattigkeit der Beleuchtung genauer berücksichtigen. Größere Projekte werden alternativ für verschiedene Lichtquellen (Glühlampen, Leuchtstofflampen, Metalldampflampen usw.) und verschiedene Leuchtenarten durchgerechnet. So kann man die zweckmäßigste und wirtschaftlichste Beleuchtungsanlage ermitteln. Zu bedenken ist immer, daß nicht den einmaligen Anschaffungskosten die größte Bedeutung zukommt sondern den laufenden *Betriebs- und Unterhaltungskosten*. Da durch Verschmutzung der Wirkungsgrad jeder Beleuchtung stark herabgesetzt wird, ist unbedingt für eine *regelmäßige Säuberung* aller Lampen und Leuchten zu sorgen.

Zur überschlägigen Ermittlung der für Raumbeleuchtung mit Glühlampen bei 220 V Netzspannung *erforderlichen elektrischen Leistung* werden auch folgende auf Erfahrungswerten beruhenden Faustformeln benutzt:

a) Wattformel nach MEYER: Die für 25 m<sup>2</sup> zu beleuchtende Fläche erforderliche elektrische Leistung beträgt das 4—5fache der erwünschten mittleren Beleuchtungsstärke in Lux.

b) Wattregel nach HEYCK und HÖGNER: 10 W Leistungsaufnahme ergeben auf 1 m<sup>2</sup> zubeleuchtende Fläche eine mittlere Beleuchtungsstärke  $E_m = 65$  Lux bei direkter oder halbindirekter Beleuchtung und heller Raumdecke.

Die *Aufhängenhöhe* der Leuchten über der Arbeitsebene (Lichtpunkthöhe genannt) und der Abstand derselben voneinander sowie bei anteiliger Strahlung in den oberen Halbraum der Lichtrückwurf der Decke und Wände bestimmen die Gleichmäßigkeit und Schattigkeit der Beleuchtung. In Innenräumen mit halbindirekter Beleuchtung soll der *Leuchtenabstand* nicht mehr als die doppelte Lichtpunkthöhe betragen, während der *Wandabstand* nicht größer als der halbe Leuchtenabstand zu wählen ist. Wenn auch größere Lampentypen eine höhere Lichtausbeute besitzen als kleinere (z. B. 500 W-Lampe = 17 Lumen pro Watt, 60 W-Lampe = 10 Lumen pro Watt) und insofern die Verwendung weniger großer Lampen wirtschaftlicher ist als die vieler kleiner, so sollte man doch Arbeitsräume niemals mit nur einer Leuchte ausrüsten, sondern mindestens 2—3 Lichtquellen vorsehen. Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung ist so besser gewährleistet und der Ausfall einer Lampe wird dann nicht die Sicherheit der Beschäftigten gefährden und nicht bis zur Ersatzbeschaffung zur Arbeitseinstellung zwingen. *Gute Beleuchtung ist auch ein sicherheitstechnischer Faktor ersten Ranges.*

Eine von der allgemeinen Raumbeleuchtung unabhängige *Notbeleuchtung*, die bei Ausfall der ersteren die Verkehrswege genügend

erhellte, die Ausgänge kennzeichnet und ein schnelles Verlassen des Raumes im Gefahrenfall ermöglicht, sollte in allen größeren Arbeitsräumen vorgesehen werden, auch dort, wo es Bauordnung, Polizeiverordnungen oder Arbeitsschutzbestimmungen nicht ausdrücklich vorschreiben.

Wie die Arbeitsräume müssen auch alle Nebenräume in den Betrieben zweckmäßig belichtet und beleuchtet werden. Dies gilt besonders für Wasch- und Umkleieräume sowie Abortanlagen bei denen eine gute Beleuchtung schon aus hygienischen Gründen zu fordern ist, denn auch sie dienen der Gesunderhaltung der Werktätigen. In diesem Zusammenhang sei auch auf eine zweckmäßige Beleuchtung der Treppen hingewiesen, die bisweilen noch vernachlässigt wird. Leuchten sind so anzuordnen, daß die Kanten der waagerechten Trittstufen gut zu erkennen sind, während die senkrechten Setzstufen weniger Licht erhalten sollen.

Bei der *Beleuchtung von Innenräumen mit Leuchtstofflampen* ist zu beachten, daß diese nicht wie Glühlampen nach allen Seiten nahezu gleichmäßig Licht ausstrahlen sondern vorwiegend senkrecht zur Röhrenachse. Leuchtstofflampen sind deshalb stets so aufzuhängen, daß ihre Hauptstrahlung die auszuleuchtende Fläche deckt. Bevorzugt werden Leuchtstofflampen horizontal als ununterbrochene Lichtbänder aneinandergereiht, entweder in Reflektorleuchten direkt strahlend oder als Deckenleuchten halbindirekt strahlend. Entsprechend der Raumtiefe werden zwei oder mehr Leuchtenreihen oder Lichtbänder parallel angeordnet. In Montagehallen, Kraftfahrzeug-Reparaturwerkstätten u. dgl. hat sich auch die zusätzliche vertikale Anordnung von Leuchtstofflampen an Pfeilern und Wänden bewährt, weil dadurch die oft arbeitsbehindernden Hand- und Stativleuchten, die dort notwendig sind, wo von oben einfallendes Licht der Raumbeleuchtung nicht hingelangt, als Arbeitsplatzleuchten entbehrlich sind. Der Boden bleibt so frei von störenden Anschlußkabeln beweglicher Leuchten. Wenn Leuchtstofflampen über Fenstern oder an Oberlichtern angebracht werden, um den Lichteinfall dem Tageslicht anzugleichen, so kann nur bei gutem Lichtrückwurf von Decken und Wänden und bei relativ hoher Lichtleistung (Stromkosten!) in nicht zu breiten Räumen ausreichende Beleuchtungsstärke erzielt werden. Die Verwendung der Farbtype „tageslichtweiß“ ist hierbei nicht zu empfehlen, da Tageslichtlampen im Verhältnis zu dem viel helleren natürlichen Tageslicht nur ein fahles, dämmerungsähnliches Licht ergeben. NELL und NEUMANN haben darauf hingewiesen, daß neutralweißes oder gelblichweißes Leuchtstofflampenlicht bei gleichem Energieaufwand den Raum heller und angenehmer beleuchtet erscheinen lassen. Je tageslichtähnlicher die Kunstlichtfarbe gewählt wird, um so größer muß die Beleuchtungs-



stärke sein. Bei Tageslicht-Leuchtstofflampen ist die doppelte Beleuchtungsstärke wie bei neutralweißer oder gelblichweißer Lichtfarbe vorzusehen, mindestens aber 250 Lux! Vor wahlloser Verwendung der Tageslichtlampen ist zu warnen. Sie sollen nur dort installiert werden, wo absolut naturgetreue Farbwiedergabe erforderlich ist. Niemals sollte man Leuchtstofflampen verschiedener Lichtfarbe in buntem Durcheinander im gleichen Raum verwenden. Die Einheitlichkeit der Lichtfarbe muß unbedingt gewahrt werden.

Da der Lichtstrom (Intensität der Strahlung) einer Leuchtstofflampe in der Frequenz der Wechsellspannung (normal 50 Hz) schwankt, kann bei Bewegungsvorgängen im Blickfeld ein störendes *Lichtflimmern* sich bemerkbar machen. Besonders an rotierenden Maschinenteilen, die mit 50 Umdrehungen in der Minute oder einem Vielfachen davon umlaufen, kann dieser „stroboskopische“ Effekt den Stillstand der Maschine vortäuschen (Unfallgefahr). Zur Unterdrückung des Flimmereffektes werden alle Leuchtstofflampen einer Raumbelichtung auf 2 oder 3 Phasen des Drehstromnetzes gleichmäßig verteilt geschaltet oder je 2 Lampen in sog. Duo-Schaltung (eine Lampe mit Kondensator zur anderen Lampe in Serie geschaltet) betrieben, wodurch die Lichtstromschwankungen sich ausreichend überdecken.

SCHOBER hat nachgewiesen, daß bisweilen vorgebrachte *Klagen über gesundheitliche Nachteile des Leuchtstofflampenlichtes*, die angeblich auf dessen spektrale Zusammensetzung zurückzuführen seien, objektiv nicht berechtigt sind. Die in der Lampe erzeugte UV-Strahlung wird weitgehend vom Leuchtstoff in sichtbare umgewandelt und ein eventuell verbleibender UV-Rest vom Glasrohr absorbiert, so daß physiologisch wirksame Mengen von UV nicht abgestrahlt werden. Die gegenüber den bisher üblichen Leuchten für „punktförmige“ Lichtquellen andersartige Lichtverteilung der Leuchtstofflampe als „linienförmige“ Lichtquelle, die weicheren Schatten bei veränderter Form und die häufig von dem gewohnten Glühlampenlicht abweichende Lichtfarbe ergeben insgesamt neuartige Lichtverhältnisse, an die sich manche Menschen erst nach einiger Zeit gewöhnen können. So wird subjektive Ablehnung des Ungewohnten psychisch überbewertet im Sinne einer Unverträglichkeit. Grobe beleuchtungstechnische Fehler, wie zu geringe Beleuchtungsstärke im Arbeitsbereich, Direkt- oder Reflexblendung und ungleichmäßiges Beleuchtungsniveau im Raum infolge falscher Leuchtenanordnung, müssen selbstverständlich behoben werden. Auch ist zu beachten, daß bei sehr feiner Arbeit ausreichende Kontraste die Erkennung sehr kleiner Arbeitsobjekte ermöglichen müssen. Eine völlig schattenlose Beleuchtung ist deshalb nicht zweckmäßig. Zu bedenken ist ferner, daß bei Tätigkeiten, die ständiges Nahsehen erfordern, Fehlsichtigkeit, die durch Augengläser nicht korrigiert ist, vom Betroffenen

stärker empfunden wird als außerhalb der Berufsarbeit. Andererseits sind infolge des höheren Anteils kurzwelliger Strahlung bisweilen Nahbrillen, die bei Glühlampenlicht angepaßt wurden, zu „stark“, und eine „Arbeitsbrille“ für Leuchtstofflampenlicht ist erforderlich. Bei Klagen über Sehstörungen bei diesem Licht empfiehlt SCHÖBER, augenärztlich prüfen zu lassen, ob „absorbierende Augengläser im Grenzgebiet der sichtbaren und unsichtbaren Strahlung (Hygal, Ultrax, Ultrasin usw.) in solchen Fällen zu verordnen sind“. Erwähnt sei, daß die Gefährdung durch Leuchtstoffe beim Zerbrechen von Leuchtstoffröhren relativ gering ist. Seit berylliumhaltige Leuchtstoffe kaum noch Verwendung finden, ist bei Röhrenbruch die Inhalation von berylliumhaltigen Stäuben wie auch deren Eindringen in Schnittwunden (böartige Granulome) wenig zu befürchten. Selbstverständlich sind unbrauchbar gewordene und im Betrieb zerbrochene Lampen unter Vermeidung von Schnittverletzungen (Schutzhandschuhe) und Leuchtstoffverstäubung (feucht kehren) zu beseitigen.

### Literatur

CORDS-PARCHIM, W.: Technische Bauhygiene. Leipzig: B. G. Teubner 1953. — KOCH, H.: Taschenbuch des Sicherheitsingenieurs, 61. Berlin SW: Engel 1958. — NELL, W., u. E. NEUMANN: Beleuchtungstechnik mit Leuchtstofflampen und Leuchtröhren. Leipzig: Fachbuchverlag 1952. — SCHÖBER, H.: Das Sehen. Leipzig: Fachbuchverlag 1957/58. — WAHL, K.: Lichttechnik. Leipzig: Fachbuchverlag 1944.

Dipl.-Ing. G. WILDNER,  
Berlin-Lichtenberg, Nöldnerstr. 40—42