

Lichttechnik

Zusammenfassung
lichttechnischer Begriffe,
Größen und Einheiten.

Achim Scholz e.K.
Dipl.-Ing. A. Scholz
Langenstücken 20
22393 Hamburg
Tel.: 040/600 186-0
Fax: 040/600 186-11
email: info@achim-scholz-ek.de
www.achim-scholz-ek.de

Inhaltsverzeichnis:

1.	Einleitung	3
2.	Grundgrößen und Einheiten	3
2.1.	Lichtstrom	3
2.2.	Lichtausbeute	3
2.3.	Lichtstärke.....	3
2.4.	Beleuchtungsstärke	4
2.4.1.	Boden-Iso-Lux Diagramme.....	4
2.4.2.	Faustformeln zur Beleuchtungsstärkeermittlung	4
2.5.	Leuchtdichte.....	4
3.	Lampen	4
3.1.	Temperaturstrahler.....	5
3.2.	Entladungslampen	5
3.3.	Lampenbezeichnungen.....	5
4.	Beleuchtungsplanungen	6
4.1.	Gütemerkmale	6
4.2.	Blendung	6
4.3.	Lichtfarben.....	7
4.4.	Berechnungen	7
4.4.1.	Wirkungsgradverfahren.....	7
4.4.2.	Berechnungsbeispiel	8
4.4.3.	Punktbeleuchtungsstärke.....	8
4.5.	Notbeleuchtung.....	8
4.6.	Beleuchtungskosten.....	9
5.	Glossar	9
6.	Quellen und Literatur	11

1. Einleitung

Dass eine Allgebrauchslampe keine Birne ist und dass eine Leuchte nicht brennen sollte, sondern nur das Leuchtmittel ist allgemein bekannt. Darüber hinaus gibt es viele lichttechnische Zusammenhänge, die für den Lichttechniker selbstverständlich sind nicht aber für alle die, die sich nur gelegentlich mit der Beleuchtungsplanung beschäftigen. Im Folgenden sollen wichtige Begriffe kurz aus der planerischen Perspektive erläutert werden. Dabei wird Wert auf einen pragmatischen Ansatz gelegt, ohne jedes Detail bis in alle physikalischen Tiefen zu erläutern. Für weitergehende Fragen sei an dieser Stelle auf das kleine Literaturverzeichnis hingewiesen.

2. Grundgrößen und Einheiten

Um die quantitativen Eigenschaften von Lichtquellen zu beschreiben, werden in der Lichttechnik verschiedene Größen verwendet.

2.1. Lichtstrom

Der Lichtstrom Φ beschreibt die gesamte Lichtleistung, die von einer Lichtquelle abgegeben wird. Dabei wird die abgegebene Strahlungsleistung der Lichtquelle mit der spektralen Empfindlichkeit des Auges ($V(\lambda)$ -Kurve) bewertet, da das menschliche Auge nicht über den gesamten Frequenzbereich der sichtbaren Strahlung gleich empfindlich ist. Der Lichtstrom Φ wird in Lumen (lm) gemessen.

In den Katalogen der Lampenhersteller ist der Lichtstrom der Leuchtmittel angegeben. In der Tabelle 1 sind die Lichtströme einiger häufig gebrauchter Lampen aufgeführt.

2.2. Lichtausbeute

Mit der Lichtausbeute wird der Wirkungsgrad eines Leuchtmittels beschrieben.

Leuchtmittel*	Lichtstrom [Φ]	Lichtausbeute [η]
A 60W	710 lm	12 lm/W
QT 12 50W	910 lm	18 lm/W
T26 58W	5200 lm	90 lm/W
T16 28W (FH)	2600 lm	93 lm/W
T16 54W (FQ)	4450 lm	82 lm/W
TC-D 18W	1200 lm	67 lm/W
HIT DE 150W	11250 lm	75 lm/W
HCI 150W	13500 lm	90 lm/W
HSE 100W	9500 lm	95 lm/W
LST 90W	17000 lm	189 lm/W

* Bezeichnung der Leuchtmittel siehe Kapitel: *Lampenbezeichnungen*.
Tabelle: 1 Lichtströme und Lichtausbeute Leuchtmittel.

Der abgegebene Lichtstrom in Lumen wird mit der aufgenommenen Leistung in Watt ins Verhältnis gesetzt: $\eta = \Phi/P$.

In der Tabelle 1 sind die Wirkungsgrade häufig verwendeter Leuchtmittel zusammengestellt.

Aus der Tabelle ist zu erkennen, dass Entladungslampen deutlich wirtschaftlicher Licht erzeugen als Glühlampen.

2.3. Lichtstärke

Eine Lichtquelle gibt nicht in alle Richtungen den gleichen Lichtstrom ab. Dies ist einerseits durch die Bauform des Leuchtmittels und andererseits durch die Form der Lichtlenkung innerhalb einer Leuchte gegeben. Die Lichtstärke I ist nun ein Maß für die räumliche Verteilung des Lichtstroms. Sie wird als Quotient aus Lichtstrom und Raumwinkel angegeben: $I = \Phi/sr$ (Lichtstrom pro Steradian). Die Einheit der Lichtstärke ist Candela (cd).

Die Darstellung des dreidimensionalen Lichtstärkeverteilungsgraphen erfolgt normalerweise als zweidimensionale Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) in einer Ebene. Grundsätzlich werden drei charakteristische Ebenen unterschieden (A-Ebene, B-Ebene und C-Ebene).

In diesen Polarkoordinaten-Diagrammen werden die Lichtstärken nicht absolut, sondern auf einen Lampenlichtstrom von 1000 lm normiert dargestellt, damit die Lichtstärkeverteilung unterschiedlicher Lampen leichter miteinander verglichen werden kann (siehe Abbildung 1).

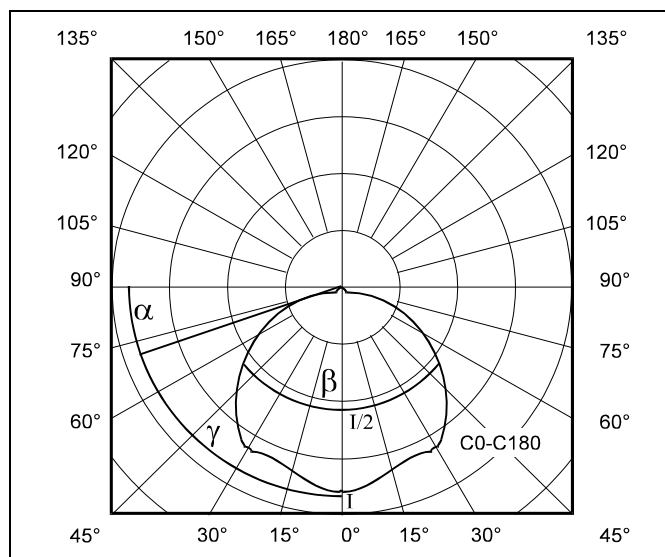


Abbildung: 1 LVK in Polarkoordinatensystem

Der Winkelbereich, innerhalb dessen die maximale Lichtstärke I auf $I/2$ abnimmt, kennzeichnet den Ausstrahlungswinkel β . Der Abschirmwinkel α ergänzt den Grenzaustrittswinkel γ_G zu 90° .

Für rotationssymmetrische Leuchten (z.B. normales Downlights) reicht die Darstellung in einer Ebene (Ebene: C0-C180). Für achsensymmetrische Leuchten (z.B. Langfeldleuchten) werden zwei Ebenen benötigt, die allerdings in der Regel in einem Diagramm dargestellt werden (Ebenen: C0-C180 und C90-C270).

In der Abbildung 2 sind typische LVK von Leuchten mit einer charakteristischen Abstrahlung abgebildet.

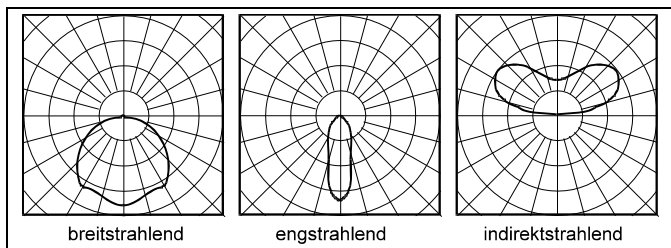


Abbildung: 2 Typische LVK's unterschiedlicher Leuchten

2.4. Beleuchtungsstärke

Die mittlere Beleuchtungsstärke E_m ist der Quotient aus dem Lichtstrom und der beleuchteten Fläche: $E_m = \Phi/A$ (bei gleichmäßiger Lichtstromverteilung). Die Maßeinheit für die Beleuchtungsstärke ist Lux (lx).

Die Beleuchtungsstärke nimmt mit dem Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle ab (Photometrisches Entfernungsgesetz).

In der Tabelle 2 sind Beispiele für Beleuchtungsstärken angegeben.

E [lx]	
100.000	Sonniger Sommertag
20.000	Trüber Sommertag
3.000	Trüber Wintertag
0,25	Vollmondnacht
0,01	Neumondnacht (Sternenlicht)

Tabelle: 2 Durchschnittliche Beleuchtungsstärken

Die DIN EN 12464-1 enthält Empfehlungen für die anzustrebende Beleuchtungsstärke bei unterschiedlichen Tätigkeiten. Die folgende Tabelle 3 enthält einen Auszug aus der DIN-Norm:

E [lx]	Tätigkeit
500	Büros
100	Verkehrsflächen, Flure
150	Treppen
300	Klassenzimmer

Tabelle: 3 Beleuchtungsstärkeempfehlungen nach DIN

Horizontale und vertikale Beleuchtungsstärken werden nach der Ausrichtung der beleuchteten Fläche unterschieden.

2.4.1. Boden-Iso-Lux Diagramme

Für Leuchten, bei denen aus baulichen Gründen die Lichtpunkthöhe festgelegt ist, wie z.B. bei Straßenleuchten oder Wegeleuchten mit vorgegebener Mastlänge, wird vom Leuchtenhersteller häufig ein Boden-Iso-Lux Diagramm angegeben. Bei diesen Diagrammen wird die erreichte Beleuchtungsstärke auf dem Boden um die Leuchte in Form von Iso-Lux Linien d.h. Linien gleicher Beleuchtungsstärken angegeben. Aus diesen Diagrammen lässt sich der mögliche Leuchtenabstand unter Berücksichtigung einer

benötigten Beleuchtungsstärke direkt ablesen. (Siehe dazu in der Abbildung 3 ein Boden-Iso-Lux Diagramm einer typischen Straßenleuchte.)

Im Diagramm wird die Iso-Lux-Linie mit der halben gewünschten Beleuchtungsstärke gesucht und der Abstand zur Leuchte abgelesen. Wird dieser Wert verdoppelt ergibt dies den Abstand zweier Leuchten. Beim Bestimmen der Abstände von Straßenleuchten ist zu beachten, dass die Punkte zwischen den Leuchten von jeweils beiden Lichtquellen beleuchtet werden. Die Beleuchtungsstärken addieren sich demzufolge.

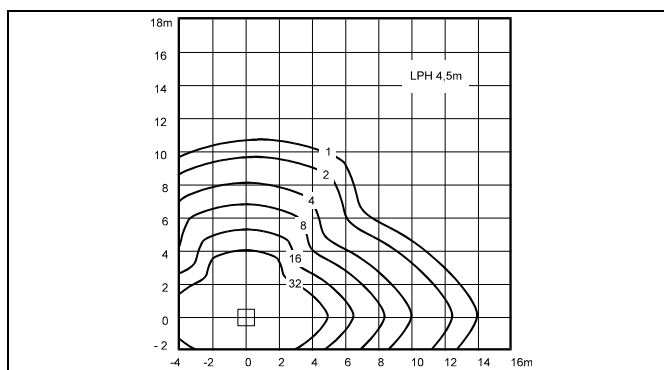


Abbildung: 3 Boden-Iso-Lux Diagramm einer Straßenleuchte

2.4.2. Faustformeln zur Beleuchtungsstärkeermittlung

Um ein gewünschtes Beleuchtungsstärkeniveau in einem Raum zu erreichen, kann mit der folgenden Faustformel die Anzahl der zu installierenden Lampen berechnet werden.

Um jeweils eine Beleuchtungsstärke von 100 lx zu erreichen, müssen je Leuchtmittelart die angegebenen Wattzahlen pro Quadratmeter installiert werden.

- Glühlampen 12-15 W/m²
- Halogenlampen 10 W/m²
- TC-Lampen 5 W/m²
- Entladungslampen 5 W/m²
- Leuchtstofflampen 3 W/m²

2.5. Leuchtdichte

Die Beleuchtungsstärke ist die auf eine Fläche treffende Lichtleistung. Die Leuchtdichte L beschreibt hingegen das von einer Fläche ausgehende Licht. Dabei kann sowohl die Fläche selber leuchten als auch Licht reflektieren. Die Leuchtdichte ist definiert als das Verhältnis der Lichtstärke und der auf die Ebene senkrecht zur Ausstrahlungsrichtung projizierten Fläche: $L = I/A$ [cd/m²].

Die Grundlage für die wahrgenommene Helligkeit bildet die Leuchtdichte.

3. Lampen

Die verschiedenen gebräuchlichen elektrischen Lichtquellen lassen sich nach der Art der Lichterzeugung in unterschiedliche Gruppen einteilen.

Lampen			
Temperaturstrahler	Entladungslampen		
	Glühlampe	Niederdrucklampen	Hochdrucklampen
			Quecksilberdampf- lampe
	Halogenlampe	Leuchtstoff- lampe	Halogenmetall- dampf- lampe
	Halogennieder- voltlampe	Kompaktleucht- stofflampe	Natriumdampf- hochdruck- lampe
	Natriumdampf- niederdruck- lampe		

Abbildung: 4 Lampen

3.1. Temperaturstrahler

In der Gruppe der Temperaturstrahler sind die Halogenleuchtmittel mit den Glühlampen zusammengefasst. Das Funktionsprinzip der Temperaturstrahler beruht darauf, dass ein Metallwendel durch elektrischen Strom zum Glühen gebracht wird. Aus physikalischen Gründen sind der Umformung der eingesetzten elektrischen Energie in Lichtenergie enge Grenzen gesetzt, so dass die Temperaturstrahler zu den weniger wirtschaftlichen Lichtquellen gehören. Dagegen ist die Farbwiedergabe dieser Lampen sehr gut und sie lassen sich problemlos dimmen, so dass dies wichtige Einsatzkriterien sind. Außerdem werden keine Vorschaltgeräte benötigt und die Lichtleistung steht sofort nach dem Einschalten voll zur Verfügung.

3.2. Entladungslampen

Die Gruppe der Entladungslampen wird unterteilt in die Hochdrucklampen und in die Niederdrucklampen. Zu den Hochdrucklampen gehören die Quecksilberdampf- lampen (HMx), die Halogenmetalllampen (HIx) und die Natriumdampfhochdrucklampen (HSx). Zu den Niederdrucklampen gehören die normalen Leuchtstoff- lampen (T) und die Kompaktleuchtstofflampen (TC) und die Natriumdampfniederdrucklampen (LST). Im Gegensatz zu den Temperaturstrahlern wird das Licht bei den Entladungslampen durch das Anregen eines Gases erzeugt. Das abgestrahlte Licht wird bei den Entladungslampen nicht in einem kontinuierlichen Spektrum abgegeben wie bei den Temperaturstrahlern. Dies hat zur Folge, dass abhängig von der Art der Lampe unterschiedliche Lichtfarben und Lichtwirkungen erzeugt werden. Zu den neuen Entwicklungen in diesem Bereich gehören die Halogenmetalllampen mit einem Keramikbrenner (Osram: HCI, Philips: CDM), die neben einer höheren Lichtausbeute auch noch eine bessere Farbstabilität haben und am Ende der Lebensdauer nicht in ein grünliches Licht übergehen. In der folgenden Tabelle sind wesentliche Eigenschaften der unterschiedlichen Entladungslampen gegenübergestellt.

	HMx	HIx	HSx	LST
Farbwiedergabe	mäßig	gut	mäßig bis gut	schlecht
Lichtfarbe	bläulich weiß	weiß	gelblich	gelb
Zündzeit	einige Minuten	einige Minuten	einige Minuten	einige Minuten
Wiederzündzeit	erst Abkühlen	erst Abkühlen**	erst Abkühlen**	erst Abkühlen*
Vorschaltgeräte	ja	ja	ja	ja
Zündgerät	nein	ja	ja	ja
dimmbar	nein	nein	nein	nein
Lebensdauer	8.000 h	12.000 h	16.000 h	18.000 h

* Mit erhöhtem technischen Aufwand sofortige Wiederzündung möglich.

** Bei doppelt gesockelten Leuchtmitteln sofortige Wiederzündung möglich.

Tabelle: 4 Farbwiedergabe, Lichtfarbe, Wiederzündzeit

3.3. Lampenbezeichnungen

Die Unübersichtlichkeit bei den Lampen durch die große Anzahl unterschiedlicher Arten wird noch zusätzlich erhöht durch die Vielfalt der Benennungen. Jeder Leuchtmittelhersteller hat für seine Lampen eigene Bezeichnungen.

Um dieser verwirrenden Vielfalt entgegenzuwirken, hat der ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie) ein einheitliches Bezeichnungssystem für Lampen erarbeitet. Jede Lampe wird durch drei Buchstaben beschrieben, die durch eine Abkürzung für bestimmte Ausführungen ergänzt werden.

Der erste Buchstabe kennzeichnet die Lichterzeugungsart:

I	Glühlampe
H	Hochdruck-Entladungslampe
L	Niederdruck-Entladungslampe

Der zweite Buchstabe kennzeichnet das Kolbenmaterial bei Glühlampen bzw. die Gasfüllung bei Entladungslampen:

G	Glas
Q	Quarzglas
M	Quecksilber
I	Halogen-Metalldämpfe
S	Natriumdampf

Der dritte Buchstabe bzw. die dritte Buchstabenkombination kennzeichnet die Kolbenform.

A	Allgebrauchslampe
E	Ellipsoid
PAR	Parabolreflektor
R	Reflektor
T	Röhren
TC	Kompaktrohren

Daraus ergeben sich die in der Praxis üblichen Lampenbezeichnungen, die beispielhaft in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind (Die Kürzel in Klammern werden i.d.R. nicht genannt):

Allgebrauchsglühlampe	(IG) A
Halogenreflektorlampe	(I) QR
Halogenmetaldampflampe (Ellipsoid)	HIE
Halogenmetaldampflampe (Reflektorform)	HIR
Halogenmetaldampflampe (Röhrenform)	HIT
Quecksilberdampflampe (Ellipsoid)	HME
Natriumdampf Hochdrucklampe (Ellipsoid)	HSE
Leuchtstofflampe	(LM) T
Kompaktleuchtstofflampe	(LM) TC
Natriumdampfniederdrucklampe	LST

Hinzukommen Abkürzungen wie -DE für doppelt gesockelte Lampenausführungen (z.B. QT-DE) und -CB für Kaltlichtreflektoren (z.B. QR-CB) und L für Lange Bauform sowie weitere Kürzel.

Halogenglühlampe, zweiseitig gesockelt	QT-DE
Halogenreflektorlampe, Kaltlicht, vorne offen	QR-CB
Halogenreflektorlampe, Kaltlicht, geschlossen	QR-CBC
Halogenmetaldampflampe zweiseitiger Sockel	HIT-DE
Leuchtstofflampe 16 mm Röhre	T16
Leuchtstofflampe 26 mm Röhre	T26
Kompaktleuchtstofflampe	TC
- ohne Starter für EVG	TC-EL
- mit 4fach Rohr	TC-D
- mit 6fach Rohr	TC-T
- lange Bauform	TC-L

4. Beleuchtungsplanungen

Licht und seine Wirkungen sind ein wichtiges Gestaltungselement in der Planung. Durch Helligkeit und Schatten lassen sich architektonische Details hervorheben oder auflösen, so dass auf eine funktionsgerechte Planung der Beleuchtung viel Wert gelegt werden muss.

4.1. Güte Merkmale

Bei der Planung einer Beleuchtungsanlage sind verschiedene Kriterien zu beachten.

- Beleuchtungsniveau
- harmonische Helligkeitsverteilung
- Blendungsbegrenzung

- Lichtrichtung
- Schattigkeit
- Lichtfarbe

Nur bei Beachtung aller dieser Kriterien kann die Beleuchtungsanlage den gestellten Anforderungen gerecht werden.

4.2. Blendung

Grundsätzlich werden zwei Formen der Blendung unterschieden. Zum Einen die physiologische Blendung und zum Anderen die psychologische Blendung. Erstere tritt z.B. auf, wenn direkt in einen Scheinwerfer geblickt wird und dies eine Herabsetzung der Sehleistung zur Folge hat. Die zweite tritt bei längerem Aufenthalt in ungünstig beleuchteten Räumen auf und führt zu Wohlbefindlichkeitsstörungen und zu einer Verminderung der Leistungsfähigkeit.

Bei beiden Formen der Blendung wird zusätzlich unterschieden zwischen Direktblendung und Reflexblendung. Bei der Direktblendung ist die Blendlichtquelle im unmittelbaren Umfeld der Sehaufgabe direkt angeordnet. Bei der Reflexblendung wird die Blendlichtquelle durch die Sehaufgabe oder dessen Umfeld reflektiert. Dies kann z.B. beim Arbeiten mit Hochglanz-Papier entstehen oder auch am Bildschirm. In der Abbildung 5 sind die verschiedenen Arten der Blendung zusammengestellt.

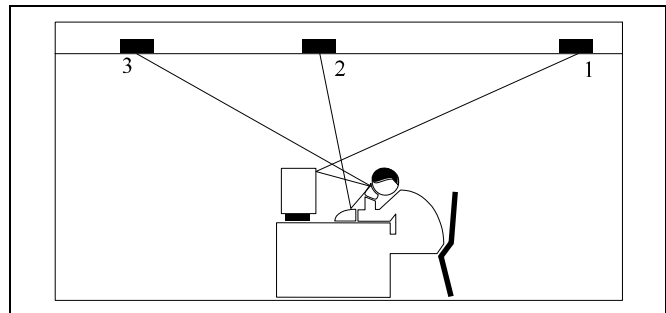


Abbildung: 5 Unterschiedliche Arten der Blendung.

Die Leuchte 1 führt zu einer Reflexblendung an einer vertikalen Sehaufgabe, die Leuchte 2 führt zu einer Reflexblendung an einer horizontalen Sehaufgabe, wie sie z.B. durch Hochglanzpapier hervorgerufen wird und die Leuchte 3 führt zu einer Direktblendung.

In Großraumbüros ist die vertikale Reflexblendung am Computerbildschirm besonders zu beachten. In diesen Bereichen sind BAP-gerechte Leuchten einzusetzen, die oberhalb eines Abschirmwinkels von 40° in beiden Hauptachsen keine Leuchtdichten von mehr als 200 cd/m^2 erreichen (siehe Abbildung 1 Abschirmwinkel α). Leuchtdichten von Wänden, die sich im Bildschirm spiegeln, sollen im Mittel auch keine Leuchtdichten von mehr als 200 cd/m^2 aufweisen. Maximalwerte von mehr als 400 cd/m^2 sollten vermieden werden. Bei Zellenbüros spielen BAP-gerechte Leuchten keine Rolle, da für eine Reflexblendung auf dem Bildschirm die Leuchte 1 in der Abbildung 5 relativ weit weg vom Arbeitsplatz

angeordnet sein muss, damit es zu einer Blendung kommt. (Siehe zu BAP DIN 5035 Teil 7)

Lampenart	Güteklasse der Blendungsbegrenzung			
	A	1	2	3
	sehr hoch	hoch	mittel	gering
Leuchtstofflampe	20°	10°	0°	0°
Kompaktleuchtstofflampe	20°	15°	5°	0°
Hochdrucklampe mattiert	30°	20°	10°	0°
Hochdrucklampe und Glühlampen klar	30°	30°	15°	10°

Tabelle: 5 Mindestabschirmwinkel von Leuchten

Bei Leuchten, die nach unten offen sind, muss ein Mindestabschirmwinkel α_{\min} eingehalten werden. Der Mindestabschirmwinkel hängt von der nach DIN geforderten Begrenzung der Direktblendung und der mittleren Leuchtdichte der eingesetzten Lampen ab.

Die DIN gibt für unterschiedliche Räume und Raumnutzungen nicht nur Empfehlungen für die Beleuchtungsstärke, sondern auch für die Güteklasse der Begrenzung der Direktblendung.

4.3. Lichtfarben

Die Lichtfarbe einer Lichtquelle wird mit der Farbtemperatur beschrieben. Die Farbtemperatur ist definiert als die Farbe des von einem *schwarzen Körper** abgestrahlten Lichtes, wenn dieser zum Glühen gebracht wird. Dabei verändert sich die Lichtfarbe je nach erreichter Temperatur des Körpers von zuerst dunkelrot über orange und gelbweiß bis hin zu blauweiß. Die Temperatur wird in Grad Kelvin gemessen.

(* Schwarzer Körper: phys. Modell; Ein Körper der die gesamte auf ihn auftreffende elektromagnetische Strahlung absorbiert.)

Eine Glühlampe besitzt eine Lichtfarbe von ca. 2800 K und eine tageslichtähnliche Leuchtstofflampe von ca. 5000 K.

Für die allgemeine Beleuchtung werden die Lichtfarben in drei Gruppen unterteilt:

1. Warmweiße Lichtfarbe (ww)
ähnlichste Farbtemperatur unter 3300 K
2. Neutralweiße Lichtfarbe (nw)
ähnlichste Farbtemperatur 3300 K bis 5000 K
3. Tageslichtweiße Lichtfarbe (tw)
ähnlichste Farbtemperatur über 5000 K

4.4. Berechnungen

Bei der Planung von Beleuchtungsanlagen werden in der Regel Computerprogramme für die Berechnung der mittleren Beleuchtungsstärken, der Beleuchtungsstärken an bestimmten Raumpunkten und

anderer Beleuchtungsmerkmale wie Leuchtdichten eingesetzt. Die grundlegende Funktion dieser Programme beruht darauf, dass für alle raumbegrenzenden Flächen, Nutzflächen und frei definierten Flächen die Punktbeleuchtungsstärken in einem Raster berechnet werden. Indirekte Beleuchtungsanteile (Reflexionen) werden je nach Programm in unterschiedliche Stufen einbezogen. Eine Vielzahl von Darstellungsmöglichkeiten von der textlichen Ausgabe der Ergebnisse bis zur dreidimensionalen Darstellung von Raumbeleuchtungen bieten die modernen Computerprogramme.

4.4.1. Wirkungsgradverfahren

Das Wirkungsgradverfahren dient der überschlägigen Dimensionierung von Beleuchtungsanlagen. Alternativ kann mit diesem Verfahren die benötigte Anzahl von Leuchten bei einer gegebenen mittleren Beleuchtungsstärke ermittelt werden oder aber die mittlere Beleuchtungsstärke bei einer gegebenen Anzahl von Leuchten.

Das Verfahren berechnet die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke aus der Größe eines Raums, dem Gesamtlichtstrom aller Leuchten sowie dem Leuchtenwirkungsgrad und dem Raumwirkungsgrad.

$$E_N = V \cdot \frac{n \cdot \Phi \cdot \eta_R \cdot \eta_{LB}}{a \cdot b} \quad n = \frac{1}{V} \cdot \frac{E_N \cdot a \cdot b}{\Phi \cdot \eta_R \cdot \eta_{LB}}$$

E_N (lx)	Nennbeleuchtungsstärke
n	Leuchtenanzahl
a (m)	Länge des Raumes
b (m)	Breite des Raumes
Φ (lm)	Leuchtenlichtstrom
η_R	Raumwirkungsgrad
η_{LB}	Leuchtenwirkungsgrad
V	Verminderungsfaktor

Die Nennbeleuchtungsstärke bei vorgegebener Anzahl von Leuchten und die Anzahl der Leuchten bei vorgegebener Nennbeleuchtungsstärke sind mit den oben angegebenen Formeln zu berechnen.

Der Leuchtenwirkungsgrad η_{LB} wird in den Katalogen der Leuchtenhersteller angegeben.

Der Raumwirkungsgrad η_R kann aus den auch vom Leuchtenhersteller bereitgestellten Tabellen ermittelt werden. Beispielhaft ist in Tabelle 6 für eine indirektstrahlende Leuchte eine Raumwirkungsgradtabelle angegeben.

Zunächst muss der Raumindex k bestimmt werden: $k = a \cdot b / (h \cdot (a + b))$. Der Raumindex berücksichtigt die geometrische Form des betrachteten Raums in Länge, Breite und Höhe. Unter Beachtung der Reflexionswerte von Decke, Wänden und Boden kann dann in der Tabelle der Raumwirkungsgrad abgelesen werden. Zusammen mit dem Lichtstrom der Leuchten, der

Raumlänge und -breite, dem Leuchtenwirkungsgrad und dem Verminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Alterung einer Beleuchtungsanlage kann nun nach dem Wirkungsgradverfahren die Nennbeleuchtungsstärke oder die Anzahl der Leuchten berechnet werden.

η_R	ρ_D	0,80	0,80	0,70	0,50	0,50
	ρ_W	0,80	0,50	0,50	0,50	0,30
	ρ_B	0,10	0,30	0,20	0,30	0,10
k						
0,6		0,33	0,16	0,14	0,08	0,08
0,8		0,40	0,22	0,20	0,11	0,11
1,0		0,45	0,28	0,24	0,14	0,14
1,5		0,54	0,39	0,34	0,21	0,20
2,0		0,59	0,47	0,40	0,25	0,24
3,0		0,64	0,57	0,48	0,32	0,30
5,0		0,69	0,67	0,55	0,38	0,35

Tabelle: 6 Raumwirkungsgradtabelle

4.4.2. Berechnungsbeispiel

Der Einfluss der Reflexionswerte auf die Ergebnisse ist bei jeder beleuchtungstechnischen Berechnung von großer Bedeutung. Beispielhaft soll das an einer Standardsituation deutlich gemacht werden.:

In einem Raum von 6 m mal 9 m und einer Höhe von 3,6 m soll eine Leuchte mit einer Leuchtstofflampe T26 1x58W mit der oben angegebenen Raumwirkungsgradtabelle und einem Leuchtenwirkungsgrad von 87% eingesetzt werden. Jeweils für zwei verschiedene Reflexionsgradkombinationen von Decke, Wand und Boden ist berechnet worden wie groß die Nennbeleuchtungsstärke bei 10 Leuchten wird und andererseits wie viele Leuchten eingesetzt werden müssen, um 300 lx zu erreichen.

	Reflexionswerte D:0,8 W:0,8 B:0,1	Reflexionswerte D:0,5 W:0,3 B:0,1
10 Leuchten	EN=301,6 lx	EN=93,8 lx
300 lx	n=10 Leuchten	n=32 Leuchten

Tabelle: 7 Unterschiedliche Ergebnisse in Abhängigkeit von den Reflexionswerten

Die Tabelle zeigt eindeutig wie wichtig die richtige Bestimmung der Reflexionswerte ist.

Sind in der Planungsphase noch keine Werte bestimmbar wird in der Regel mit Standardreflexionswerten gerechnet:

Decke: 0,7 Wand: 0,5 Boden: 0,3

Zu beachten ist dabei aber die Fehlermöglichkeit.

Die folgende Tabelle 8 zeigt Reflexionsgrade unterschiedlicher Materialien.

Metalle, Farbanstrich, Baustoffe	Reflexionsgrad
Aluminium, hochglänzend	0,80-0,85
Aluminium, mattiert	0,50-0,70
Stahl, poliert	0,50-0,60
weiß	0,70-0,80
hellgelb	0,60-0,70
hellgrün, hellrot, hellblau, hellgrau	0,40-0,50
beige, ocker, orange, mittelgrau	0,25-0,35
dunkelgrau, dunkelrot, dunkelblau	0,10-0,20
Putz, weiß	0,70-0,85
Gips	0,70-0,80
Beton	0,30-0,50
Ziegel, rot	0,10-0,20
Glas, klar	0,05-0,10

Tabelle: 8 Reflexionsgrade unterschiedlicher Materialien

4.4.3. Punktbeleuchtungsstärke

Die Punktbeleuchtungsstärke ist die Beleuchtungsstärke an einem Punkt senkrecht unter der Leuchte auf der beleuchteten Ebene. Sie ergibt sich aus dem Quotienten der Lichtstärke und dem Quadrat des Abstandes a zwischen Lichtquelle und beleuchteter Ebene: $E_p = I/a^2$. Unter einem Winkel α zwischen der Normalen dieser beleuchteten Ebene und der Verbindung zwischen Lichtquelle und zu berechnendem Punkt ergibt sich die Formel:

$$E_p = I/a^2 \cdot \cos^3 \alpha$$

4.5. Notbeleuchtung

Die Notbeleuchtung ist eine Beleuchtung, die bei Störung der Stromversorgung der allgemeinen künstlichen Beleuchtung rechtzeitig wirksam wird.

Die Sicherheitsbeleuchtung ist eine Notbeleuchtung, die während der betriebserforderlichen Zeit die Rettungswege mit einer vorgeschriebenen Mindestbeleuchtungsstärke beleuchtet, um das gefahrlose Verlassen von Räumen und Anlagen zu ermöglichen.

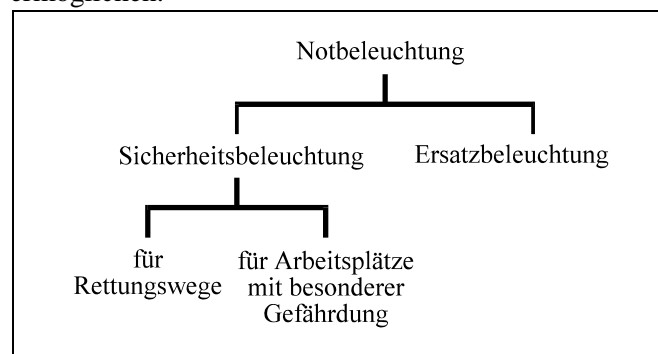


Abbildung: 6 Notbeleuchtung

Für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung wird zusätzlich ein gefahrloses Beenden der Tätigkeiten gefordert. Davon zu unterscheiden ist eine Ersatzbeleuchtung. Sie dient dem Weiterführen der Tätigkeiten für die Zeit der Störung der

Stromversorgung. Eine Ersatzstromversorgung wird vor allen Dingen aus wirtschaftlichen Gründen installiert, um bei einem Stromausfall keinen Produktionsstop hinnehmen zu müssen.

Die Anforderungen der Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung	Rettungswege
Mindestbeleuchtungsstärke: $E_{\min} = 0,1 \cdot E_n$ $E_{\min} = 0,1 \cdot E_n$ mindestens jedoch 15 lx	Mindestbeleuchtungsstärke: $E_{\min} = 1 \text{ lx}$ (0,2 m über dem Boden) Gleichmäßigkeit: $g^2 = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} \geq \frac{1}{40}$
Einschaltverzögerung: $\Delta t \leq 0,5 \text{ s}$	Einschaltverzögerung: $\Delta t < 15 \text{ s}$ Arbeitsstätten $\Delta t < 1 \text{ s}$ Versammlungsstätten + Geschäftshäuser
Betriebsdauer: $t \geq 1 \text{ min}$ mindestens jedoch solange die Gefahr dauert.	Betriebsdauer: $t = 1 \text{ h}$ Arbeitsstätten $t = 3 \text{ h}$ Versammlungsstätten + Geschäftshäuser

Tabelle: 9 Sicherheitsbeleuchtung

Darüber hinaus werden Rettungszeichenleuchten benötigt. Sie dienen dem sicheren Verlassen der Anlagen auch für Ortsunkundige und zum schnellen Orientieren für Rettungskräfte z.B. der Feuerwehr. Die hierfür vorgesehenen Rettungszeichenleuchten sind mit einem graphischen Symbol (sogn. Piktogrammen) versehen und müssen eine bestimmte Größe in Abhängigkeit vom maximalen Sehabstand d aufweisen. Die Höhe h der Rettungszeichen berechnet sich nach der Formel: $h = \frac{d}{200}$ für hinterleuchtete Rettungszeichen und $h = \frac{d}{100}$ für beleuchtete Rettungszeichen. (Siehe hierzu DIN 5035 Teil 5)

4.6. Beleuchtungskosten

Die jährlichen Gesamtkosten einer Beleuchtungsanlage setzen sich aus Kapitalkosten für die Anschaffung und die Montage der Leuchten und aus Betriebskosten für Strom, Lampen und Wartung zusammen.

$$K = n_1 \cdot \left[\frac{\frac{k_1}{100} \cdot K_1 + \frac{k_2}{100} \cdot K_2}{n_2} + t_B \cdot a \cdot P + t_B \cdot \frac{K_3}{t_L} + t_B \cdot \frac{K_4}{t_L} + \frac{R}{n_2} \right]$$

- K Jährliche Gesamtkosten
- K_1 Kosten einer Leuchte
- k_1 Kapitaldienst für K_1 in %
- K_2 Kosten für Installationsmaterial und Montage je Leuchte
- k_2 Kapitaldienst für K_2 in %

- R Reinigungskosten je Leuchte und Jahr
- n_1 Anzahl aller Lampen
- n_2 Anzahl der Lampen je Leuchte
- K_3 Preis einer Lampe
- K_4 Kosten für das Auswechseln einer Lampe
- P Leistungsaufnahme einer Lampe in kW
- a Kosten der kWh
- t_L Lebensdauer der Lampe in Stunden
- t_B Jährliche Benutzungsdauer in Stunden.

Beim Vergleich verschiedener Beleuchtungsanlagen ist auf die gleiche Erfüllung der Güteanforderungen zu achten.

5. Glossar

Allgebrauchslampe: Glühlampe, Kurzbezeichnung: A.
Allgemeinbeleuchtung: Einheitliche Beleuchtung eines Raumes ohne besondere Berücksichtigung einzelner Bereiche.

Arbeitsplatzbeleuchtung: Bezeichnung der Norm für die gesonderte Beleuchtung von Arbeitsplätzen.

BAP: Abk. für: Bildschirmarbeitsplatz. An BAP-gerechte Leuchten werden besondere Ansprüche hinsichtlich der Blendungsbegrenzung gestellt. Sie dürfen in beiden Hauptachsen einen Grenzausstrahlungswinkel von höchstens 50° aufweisen und dürfen oberhalb dieses Winkels eine mittlere Leuchtdichte von 200 cd/m^2 nicht überschreiten.

Candela: Einheit der Lichtstärke.

Coolbeam: Kaltlichtreflektor.

Darklightraster: Darklightraster werden eingesetzt bei Arbeitsplätzen mit Bildschirmunterstützung. Die Leuchtdichte oberhalb eines Grenzaustrittswinkels von $\gamma = 60^\circ$ ist reduziert.

Deckenspiegel: Deckenplan der in Aufsicht konstruiert alle einzubauenden und anzubauenden Installationen (z.B. Leuchten, Lüftung, ...) zeigt.

Dreibandenleuchtstofflampe: Bezeichnung für eine Leuchtstofflampe mit einem besonderen Verhältnis der Leuchtstoffe. In der spektralen Verteilung der abgegebenen Wellenlängen gibt es drei Häufungen, so dass eine gute Lichtfarbe entsteht.

Duo-Schaltung: Schaltung für Leuchtstofflampe, bei der eine induktiv betriebene Lampe mit einer kapazitiv kompensierten Lampe parallel geschaltet wird.

EVG: Abk. für elektronisches →Vorschaltgerät.

Farbwiedergabe: Die Farbwiedergabe gibt die Beziehung zwischen der Originalfarbe und der unter einer gegebenen Beleuchtung an. Der Grad der Farbverfälschung zu einer Referenzlichtquelle wird durch den Farbwiedergabeindex R_a oder die Farbwiedergabestufe angegeben.

Stufe	Ra - Bereich
1A	$R_a \geq 90$
1B	$80 \leq R_a < 90$
2A	$70 \leq R_a < 80$
2B	$60 \leq R_a < 70$
3	$40 \leq R_a < 60$
4	$20 \leq R_a < 40$

Gleichmäßigkeit: Das Verhältnis von minimaler Beleuchtungsstärke zur Nennbeleuchtungsstärke bezogen auf den Betrachtungsbereich wird als g_1 bezeichnet und das Verhältnis von minimaler Beleuchtungsstärke zu maximaler Beleuchtungsstärke wird als g_2 bezeichnet.

$$g_1 = \frac{E_{\min}}{E_m} \quad g_2 = \frac{E_{\min}}{E_{\max}}$$

Induktive Schaltung: Eine Entladungslampe wird unkompensiert an einem induktiven Vorschaltgerät (\rightarrow KVG, \rightarrow VVG) betrieben.

Infrarotstrahlung: Unsichtbare Strahlung mit einer längeren Wellenlänge als der des sichtbaren Lichtes ($>780\text{nm}$). Die Infrarotstrahlung führt bei Absorption zu einer Temperaturerhöhung.

Isoleuchtdichtediagramm: Diagramm zur Darstellung von Leuchtdichten bei dem Punkte gleicher Leuchtdichte zu Linien verbunden werden.

Isoluxdiagramm: Diagramm zur Darstellung von Beleuchtungsstärkeniveaus. Punkte gleicher Beleuchtungsstärke werden zu Linien zusammengefasst.

Kapazitive Schaltung: Schaltung bei der eine an einem induktiven Vorschaltgerät (\rightarrow KVG, \rightarrow VVG) betriebene Entladungslampe durch einen in Reihe mit dem Vorschaltgerät geschalteten Kondensator kompensiert wird.





Kompensation: Werden Entladungslampen an induktiven Vorschaltgeräten (\rightarrow KVG, \rightarrow VVG) betrieben, so liegt der Leistungsfaktor unter 1. Es entsteht durch die Phasenverschiebung der Spannung gegenüber dem Strom ein Blindstromanteil, der das Leistungsnetz belastet. Die Energieversorgungsunternehmen (EVU) verlangen daher bei großen Anlagen eine Kompensation mittels eines Kondensators.

KVG: Abk. für Konventionelles \rightarrow Vorschaltgerät.

Lampe: In der Lampe wird der elektrische Strom in Licht umgewandelt. Die Lampe ist somit der Teil einer Leuchte in der das Licht entsteht - der leuchtet. Lampe ist gleichbedeutend mit Leuchtmittel.

Langfeldleuchte: Übliche Bezeichnung für eine Leuchte, die mit einer Leuchtstofflampe bestückt ist und aus einem rechteckigen Gehäuse häufig mit einer Rasterabdeckung besteht.

Leuchtenkennzeichen: In jedem Fall sind besondere Montagehinweise zu beachten.

	Montage an Gebäudeteilen, entflammbar über 200°C
	Montage an Möbeln, entflammbar über 200°C
	Montage an Möbeln, beliebiges Material
	Leuchten mit begrenzter Oberflächentemperatur

Leuchtenwirkungsgrad: Der Leuchtenwirkungsgrad gibt das Verhältnis des Lichtstroms der aus der Leuchte austritt, zu der Summe der produzierten Lampenlichtströme innerhalb der Leuchte an.

Leuchtmittel: siehe Lampe.

Lichtleiter: Biegsamer Leiter aus Glas oder durchsichtigem Kunststoff, der auf Basis der Totalreflektion Licht von einem Ende zum anderen transportiert.

Lichtmenge: Die Lichtmenge bezeichnet das Produkt aus Lichtstrom und Zeit und somit die in einem Zeitraum abgegebene Lichtenergie: $Q = \Phi \cdot t$.

LPH: Abk. für Lichtpunkthöhe. Die Höhe des Leuchtmittels über dem Boden.

Photometrisches Entfernungsgesetz: Die Beleuchtungsstärke nimmt mit dem Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle ab.

Planungsfaktor: Bei der Planung sind die Nennbeleuchtungsstärken mit dem Planungsfaktor p zu multiplizieren, um Alterung und Verschmutzung zu berücksichtigen. Der Planungsfaktor ist der Kehrwert zum Verminderungsfaktor. In der Regel wird mit $p=1,25$ gearbeitet. (\rightarrow Verminderungsfaktor)

Reflexion: Eigenschaft von Stoffen, die einfallende Strahlung wieder abzugeben.

Reflexionsgrad ρ : Verhältnis des reflektierten Lichtstroms zu dem einfallenden Lichtstrom.

Schutzart: Die Schutzart einer Leuchte gibt an in welchem Maß diese gegen eindringende Fremdkörper und Feuchte geschützt sind.

IP	Fremdkörper	Feuchtigkeit
0	ungeschützt	ungeschützt
1	Fremdkörper >50 mm	Tropfwasser senkrecht
2	Fremdkörper >12 mm	Tropfwasser schräg 15°
3	Fremdkörper >2,5 mm	Sprühwasser 60°
4	Fremdkörper >1 mm	Spritzwasser
5	Staubgeschützt	Strahlwasser
6	Staubdicht	Überflutung
7	-	Eintauchen
8	-	Untertauchen ...m

Schutzklassen: Schutzklassen kennzeichnen die Art des Schutzes gegen elektrischen Schlag.

Sekundärtechnik: Indirekt- oder direkt-/indirekt-strahlende Leuchte bei der die indirekte Reflexion nicht durch die Raumbegrenzungsflächen geschieht, sondern durch einen zur Leuchte gehörenden Sekundärreflektor.

Stroboskopischer Effekt: Lichtstromschwankungen als Folge des Wechselstroms können bei der Beobachtung beweglicher Teile zu Sehstörungen oder Täuschungen führen. Durch den Einsatz von →EVG's kann dieser Effekt verhindert werden.

Tageslichtquotient D: Verhältnis der Beleuchtungsstärke innen E_i zur Beleuchtungsstärke im Freien E_a : $D = E_i / E_a \cdot 100$.

Ultraviolettstrahlung: Kurzwellige Strahlung unterhalb der sichtbaren Strahlung (Wellenlänge < 380 nm). Ultraviolettstrahlung kann schädigende Wirkung auf einige Materialien haben. (Schaufensterbeleuchtung, Museumsbeleuchtung)

Umrechnung Glühlampe - Kompaktleuchtstofflampe: In der nachfolgenden Tabelle sind die unterschiedlichen Wattagen einer Glühlampe und einer Kompaktleuchtstofflampe mit jeweils ungefähr dem gleichen Lichtstrom gegenübergestellt.

Glühlampe	Kompaktleuchtstofflampe
25 W	5 W
40 W	7 W
60 W	11 W
100 W	20 W

Verminderungsfaktor: Mit Verminderungsfaktor v wird die alterungsbedingte Abnahme der Beleuchtungsstärke einer Beleuchtungsanlage z.B. durch Verschmutzung der Leuchtmittel berücksichtigt. In der Regel beträgt der Verminderungsfaktor $v=0,8$.

Vorschaltgerät: Werden für Entladungslampen zur Strombegrenzung benötigt. Dies erfolgt entweder induktiv durch eine Drosselspule (KVG, VVG) oder elektronisch (EVG). Bei elektronischen Vorschaltgeräten werden keine zusätzlichen Zündgeräte benötigt. Außerdem entstehen keine Brummgeräusche.

VVG: Abk. für Verlustarmes →Vorschaltgerät.

Zündgeräte: Geräte die durch das Erzeugen einer Spannungsspitze das Zünden von Entladungslampen ermöglichen.

6. Quellen und Literatur

- Baer R.: Beleuchtungstechnik: Anwendungen; Verlag Technik, München; 1. Auflage; 1993.
- Baer R.: Beleuchtungstechnik: Grundlagen; Verlag Technik, Berlin; 1. Auflage; 1990.
- DIN 5035, Teil 1 bis Teil 7: DIN Taschenbuch 98; Beuth Verlag GmbH Berlin, Wien, Zürich; 3. Auflage; 1992.
- Handbuch für Beleuchtungstechnik: Herausgeber: Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft (SLG) unter Mitwirkung der Fachgesellschaften: LiTG, LTAG, NSVV; ecomed Landsberg; Losebl.-Ausg.; 5. Auflage; 1992.
- Hoffmann H., Ganslandt R.: Handbuch der Lichtplanung; Lüdenscheidt, 1992.
- Pracht K.: Licht + Raumgestaltung; C.F. Müller Verlag Heidelberg; 1. Auflage; 1994.
- Rüschenschmidt H.: Beleuchtung und Farbe am Arbeitsplatz; Verlag Stumpf Bochum; 1988.
- Zieseniß, C.-H.: Beleuchtungstechnik für den Elektrofachmann; Dr. Alfred Hüthig Verlag GmbH Heidelberg; 1985.