

5. Beleuchtungssysteme im Innenraum

5.1 Beleuchtungsplanung

Ziel der Beleuchtungsplanung in Innenräumen ist ein hohes Wohlbefinden und angenehme Behaglichkeit für die nutzenden Menschen zu schaffen. Am Arbeitsplatz soll eine gute Arbeitsatmosphäre und damit eine hohe Arbeitsproduktivität und -qualität erreicht werden.

Für eine Anlage gibt es meist mehrere Lösungen, die im Prinzip alle "gleich richtig" sein können. Bei vielen Beleuchtungsprojekten treten zusätzlich irrationale Probleme auf, die weder mathematisch noch technisch erfassbar sind, aber dennoch klar erkannt werden können. Die Computerberechnung liefert kein fertiges Beleuchtungskonzept. Jede Anlage muss nach individuellen Gesichtspunkten geplant und auf die spezifischen Benutzereigenschaften hin optimiert werden.

Die Bedürfnisse des Menschen stehen bei der Beleuchtungsplanung im Vordergrund.

Zweckbestimmung der Räume:

- Tätigkeit und allgemeine Blickrichtung,
- ergonomische und funktionelle Komponenten,
- Anwendung der Maschinen und Apparate,
- Möblierungsplan, bei Wohn-, Büro- und Werkstatträumen die Benutzungsart und die Fensterorientierung,
- spezielle Tätigkeiten, z.B. bei industriellen Anlagen, Verkehrswege.

Lage des Beleuchtungsobjekts:

- Tageslichtverhältnisse und deren Beeinflussung durch die Umgebung,
- Gebäudestrukturierung,
- Beeinflussung durch Außenbeleuchtung.

Örtliche und klimatische Verhältnisse:

- tatsächliche Tageslichtverhältnisse,
- Sonnenscheindauer, Sonnenstände und Bewölkungsverhältnisse,
- geografische Ausrichtung der Fensterfronten,
- klimatische Angaben bezüglich Temperatur und Niederschläge,
- Größe der Fenster.

Raumgestaltung: (Projektierungsunterlagen)

- Baupläne in Form von Grund- und Querschnitten,
- Lage, Größe, Konstruktion der Fenster,
- Reflexionsgrade von Wänden, Boden und Decke,
- Baukonstruktion im Hinblick auf Montagemöglichkeiten für Leuchten und Installationsart,
- Behinderung der natürlichen oder künstlichen Beleuchtung durch Abschattung oder Spiegelung, Verstaubungs- oder Feuchtigkeitseinflüsse,
- raumklimatische Angaben wie Raumtemperatur und Wärmelast der Klimaanlage,
- Raumeindruck und Raumklima durch die Beleuchtungsanlage positiv beeinflussen.

Personelle Angaben des Bauherrn bzw. Nutzers:

Angaben über Aufenthalts- und Sehbedingungen aber auch Wünsche und Vorstellungen einholen.

- ausreichendes Beleuchtungsniveau, richtige Lichtrichtung,
- harmonische Helligkeitsverteilung im Raum,
- Blendung, Glanz und Spiegelung vermeiden,
- Farbwiedergabe der Lichtquellen zur optimalen Farbgestaltung im Raum und am Arbeitsplatz,
- kein störendes Flackern und Flimmern,
- günstige Wartungsmöglichkeiten der Anlage.

Lampenauswahl:

Art der Lampen:

- Glühlampen, Halogenglühlampen,
- Leuchtstofflampen,
- Hochdruckentladungslampen,

Betriebseigenschaften:

- Wirtschaftlichkeit,
- Anlaufvorgänge in elektrischer wie lichttechnischer Hinsicht,
- Brennlage und Umgebungstemperatur,
- Wartungsprobleme,
- Lebensdauer,

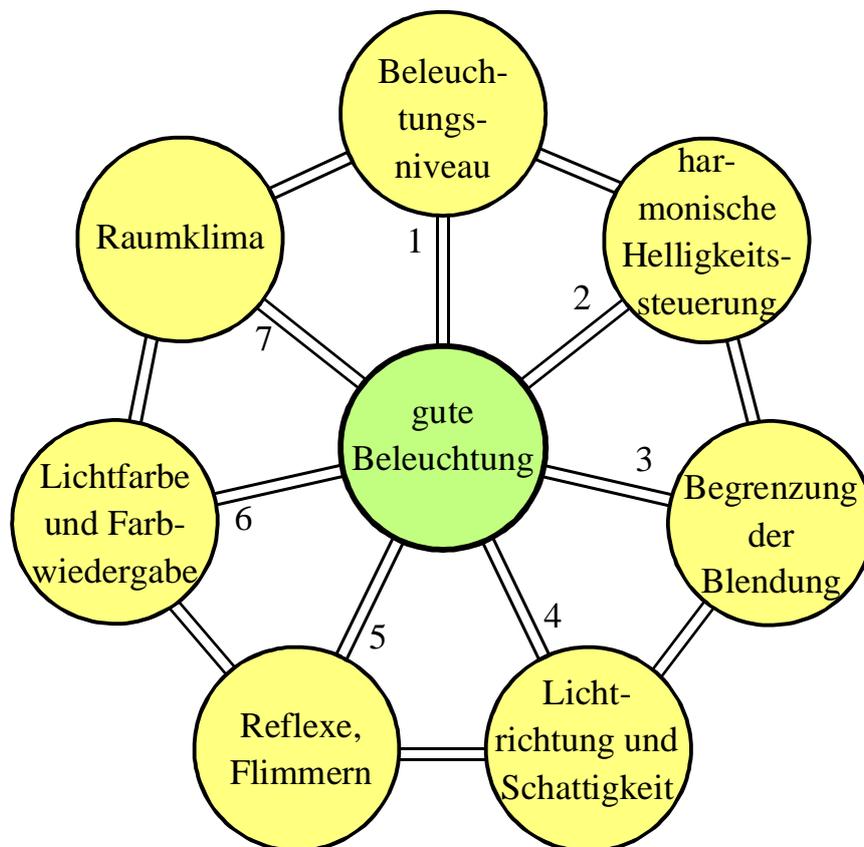
Strahlungseigenschaften:

- Lichtfarbe,
- Farbtemperatur und Farbwiedergabeindex,
- Nebenstrahlungen wie UV oder IR.

5.2 Projektierung von Innenraumanlagen

Beleuchtungsanlagen müssen von den Nutzern akzeptiert werden. Die Nutzer sollten deshalb immer in die Planung einbezogen werden.

Jedes Beleuchtungsprojekt muss individuell geplant werden; hierzu müssen sieben Gütemerkmale der Reihe nach abgeklärt werden.



Grundgebote für die Beleuchtungsprojektierung

Beleuchtungs niveau

Das Beleuchtungs niveau und damit die Nennbeleuchtungsstärke richten sich nach den zu erfüllenden Sehaufgaben in den Stufen 1 bis 11.

| Stufe | Nennbeleuchtungsstärke | Zuordnung von Sehaufgaben |
|-------|------------------------|--|
| 1 | 20 lx | Orientierung; nur vorübergehender Aufenthalt |
| 2 | 50 lx | Aufenthalt |
| 3 | 100 lx | leichte Sehaufgaben; große Details mit hohen Kontrasten |
| 4 | 200 lx | normale Sehaufgaben; mittelgroße Details mit geringen Kontrasten |
| 5 | 300 lx | schwierige Sehaufgaben; kleine Details mit geringen Kontrasten |
| 6 | 500 lx | sehr schwierige Sehaufgaben; sehr kleine Details mit geringen Kontrasten |
| 7 | 750 lx | Sonderfälle; z.B. Operationsfeldbeleuchtung |
| 8 | 1000 lx | |
| 9 | 1500 lx | |
| 10 | 2000 lx | |
| 11 | 2000 lx und mehr | |

Nennbeleuchtungsstärke und Zuordnung der Sehaufgaben

Optimale Sehleistungen sind erst ab Leuchtdichten oberhalb von 100 cd/m^2 möglich. Je heller die Beobachtungsfläche ist, desto niedriger kann die Beleuchtungsstärke sein. Für Büroarbeit mit $\rho = 0,7$ für weißes Papier ist eine Beleuchtungsstärke von $E = 400 \text{ lx}$ anzusetzen.

Zwischen der Beleuchtungsstärke E und der Leuchtdichte L gilt der Zusammenhang:

$$E = \frac{L \cdot \pi}{\rho} \quad (5.1)$$

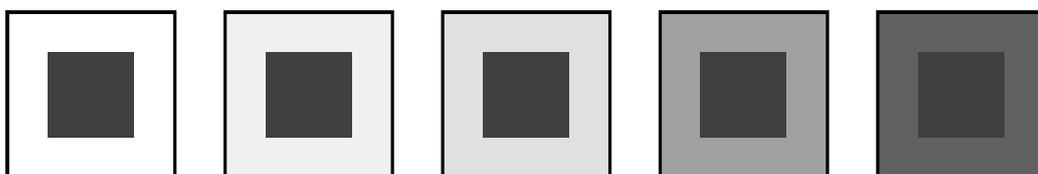
Die örtliche Gleichmäßigkeit g_1 und g_2 der Beleuchtungsstärke wird durch das Verhältnis der minimalen (E_{\min}) zur mittleren (E_m) bzw. zur maximalen (E_{\max}) Beleuchtungsstärke angegeben. Der Wert g_1 sollte 60 % nicht unterschreiten.

$$g_1 = \frac{E_{\min}}{E_m} \quad g_2 = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} \quad (5.2)$$

Durch Alterung der Lampen und Verschmutzungseffekte bei Lampen und Leuchten geht die Beleuchtungsstärke im Laufe der Zeit zurück. Bei der Projektierung sollte eine Anhebung auf 125 % der Nennwerte erfolgen.

Kontraste und harmonische Helligkeitsverteilung

Sichtbar ist nicht die Beleuchtungsstärke im Raum, sondern das reflektierte Licht der sichtbaren Oberflächen, also die Leuchtdichte. Für einen angenehmen Seheindruck ist deshalb eine ausgewogene Leuchtdichteverteilung unumgänglich. Damit ist eine harmonische Helligkeitsverteilung gegeben. Reflexionsgrade und Farben, vorwiegend der großen, sich im Gesichtsfeld befindlichen Flächen beeinflussen die Helligkeitsverteilung im Raum.



Bei kleinen Kontrasten muss die Beleuchtungsstärke erhöht werden

Der Leuchtdichteunterschied zwischen Sehobjekt zu seiner näheren Umgebung ist als Kontrast K definiert.

$$K = \frac{L_1}{L_2} \quad (5.3)$$

Sehobjekte sind
bei großem
Kontrast gut
erkennbar

Sehobjekte sind
bei kleinem
Kontrast schlecht
erkennbar

Um Ermüdungserscheinungen und damit Fehlleistungen zu vermeiden, sind in eine harmonische Beziehung miteinander zu setzen:

- der Kontrast,
- die Größe des Sehobjekts und
- die Beleuchtungsstärke

Kontrastsehen

In harmonisch beleuchteten Räumen verhalten sich die Leuchtdichten Sehobjekt : Arbeitsumfeld : Umgebung wie 10 : 3 : 1 bis 1 : 3 : 10.

Begrenzung der Direktblendung

Direktblendung beeinträchtigt die Sehleistung und die Annehmlichkeit des Sehens durch zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld.

Man unterscheidet:

- physiologische Blendung mit messbarer Verminderung der Sehleistung (sehr hohe Leuchtdichte);
- psychologische Blendung mit vorwiegend nichtmessbarer Verminderung der Sehleistung, aber unbehaglichen Gefühlen bei längeren Aufenthalten (hohe Leuchtdichte);
- Direktblendung durch zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld;
- Reflexblendung durch Reflexe auf glänzenden Flächen.

Das Blendungsempfinden hängt ab von der örtlich wirkenden Beleuchtungsstärke, von den Leuchtdichten, der Größe der leuchtenden Flächen und deren Winkel zur Blickrichtung. Außerdem spielt der Kontrast der Blendquelle zur Umgebungsleuchtdichte eine entscheidende Rolle.

Zur Vermeidung direkter Blendung darf bei Bildschirmarbeitsplatzleuchten die Leuchtdichte bei einem Winkel von 50° maximal 200 cd/m² erreichen.

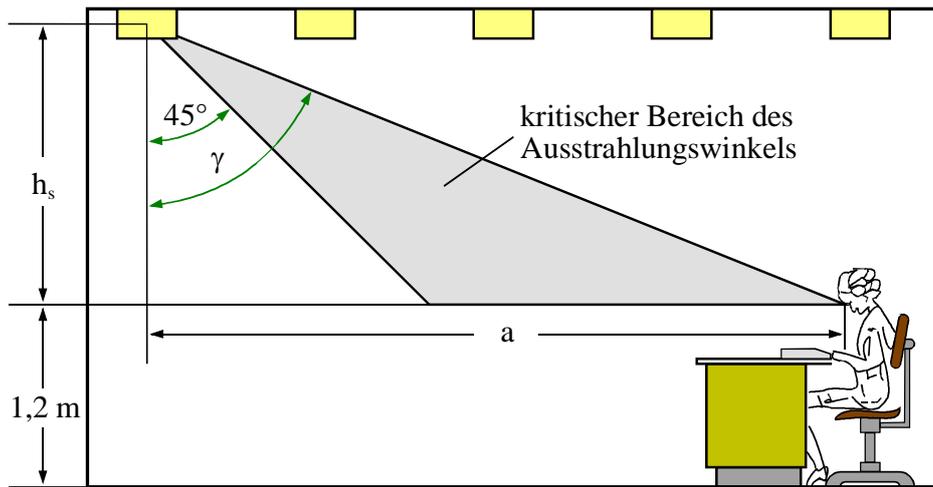
Nach DIN 5035 werden Beleuchtungsanlagen in die vier Güteklassen GK A (sehr hohe Anforderungen), GK 1 (hohe Anforderungen), GK 2 (mittlere Anforderungen) und GK 3 (geringe Anforderungen) eingeteilt.

Mit dem Leuchtdichte-Grenzkurvenverfahren lässt sich bereits in der Planungsphase das Problem der Direktblendung abklären. Leuchten mit einem Ausstrahlungswinkel $\gamma > 45^\circ$ sind blendungskritisch.

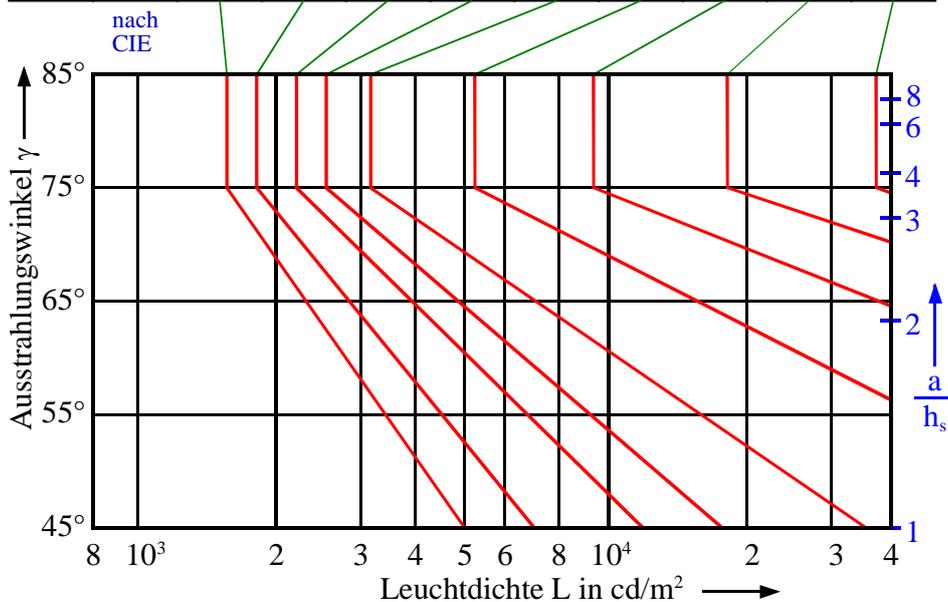
Blendungskriterien sind die horizontale Beleuchtungsstärke auf die Nutzebene, die Leuchtenart, die Anordnung der Leuchten, ob parallel oder quer zur Blickrichtung, die Raumgeometrie und die Leuchtdichte und Größe der leuchtenden Flächen.

In der nachfolgenden Tabelle sind neben den Güteklassen nach DIN 5035 auch die Güteklassen nach CIE-Publikation Nr. 29.2 dargestellt.

Die Berechnungen für Nennbeleuchtungsstärken $E_n \leq 300$ lx werden für $E_n = 250$ lx gerechnet.



| Güteklasse | | Gültig für Nennbeleuchtungsstärke E in lx | | | | | | | | |
|------------|---|---|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| A | A | 1000 | 750 | 500 | — | ≤300 | — | — | — | — |
| 1 | B | 2000 | 1500 | 1000 | 750 | 500 | ≤300 | — | — | — |
| 2 | C | | | | | 2000 | 1000 | 500 | ≤300 | — |
| 3 | D | | | | | | 2000 | 1000 | 500 | ≤300 |

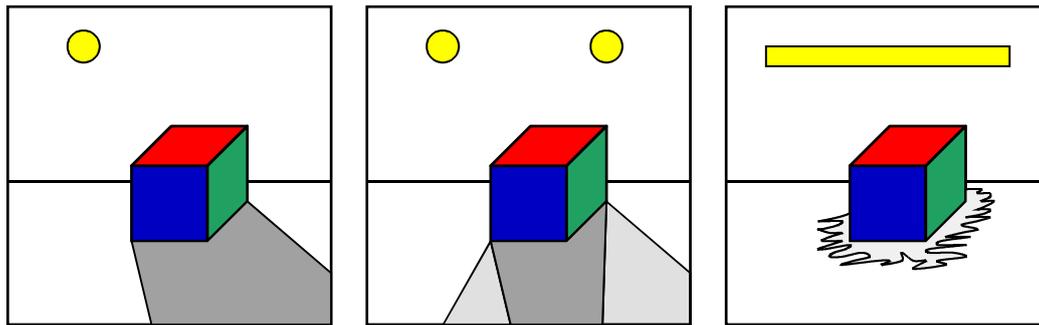


Leuchtdichte-Grenzkurvenverfahren für lang gestreckte Leuchten, die parallel zur Blickrichtung montiert sind

Lichtrichtung und Schattigkeit

Lichtrichtung und Schattigkeit sind für die Kontrastwiedergabe und damit für das Erkennen von Körperlichkeit und Oberflächenbeschaffenheit erforderlich (räumliches Sehen). Absolut diffuses Licht erzeugt keinen Schatten mehr, was sich für die Erkennbarkeit von Gegenständen sehr ungünstig auswirkt. Da die Anordnung und Lichtrichtung der Leuchten die Schattigkeit beeinflusst, ist sie auf die Sehaufgabe abzustimmen.

Punktartige Lichtquellen mit gerichtetem Licht erzeugen Schlagschatten. Dies ist bei der Anstrahlung von Objekten erwünscht. Mehrere Lichtquellen können einen Schlagschatten aufhellen, allerdings können auch mehrere unerwünschte Schattengebilde entstehen. Großflächige Leuchten mit diffuser Ausstrahlung, aber auch indirekt angeordnete Leuchten erzeugen weiche Schatten.



Lichtquellen und Schattigkeit

Es wird bevorzugt, wenn das Licht schräg von links einfällt. Bei Räumen mit großem Tageslichteinfall ist es sinnvoll, die Lichtrichtung des künstlichen Lichtes diesem anzupassen.

Die Schattigkeit S , auch Körperwiedergabeindex m_1 genannt, wird erfasst mit:

$$S = \frac{E_Z}{E_H} \quad (5.4)$$

E_Z Zylindrische Beleuchtungsstärke, E_H Horizontale Beleuchtungsstärke.

Blendungsfreiheit und Reflexe

Ein wichtiges Gütemerkmal einer Beleuchtungsanlage ist ihre Blendungsfreiheit. Bei zu hohen Leuchtdichteunterschieden im Gesichtsfeld treten eine Reihe von physiologisch-psychologischen Wirkungen auf, die dem Sehkomfort und einer großen Sehleistung abträglich sind. Wird durch Leuchtunterschiede die Sehleistung beeinträchtigt, so spricht man von physiologischer Blendung (disability glare), erzeugen die Unterschiede lediglich ein unbehagliches Gefühl, so ist von psychologischer Blendung (discomfort) die Rede.

Die physiologische Blendung ist durch eine spürbare Verschlechterung der Sehleistung gekennzeichnet. Zur Bewertung der physiologischen Blendung geht man von der Kontrastempfindung aus. Man nimmt an, dass durch die Blendung der Kontrast herabgesetzt wird, indem sich dem Umfeld (L_u) und dem Objekt (L_o) die sogenannte Schleierleuchtdichte (L_v) überlagert. Der ursprüngliche Kontrast C_0 verflacht infolge der Blendung auf den Wert C_{Bl} .

$$C_0 = \frac{L_o - L_u}{L_u} \quad C_{Bl} = \frac{L_o - L_u}{L_u + L_v} \quad (5.5)$$

Die Schleierleuchtdichte L_v in cd/m^2 einer einzelnen Blendquelle kann aus der Blendungsbeleuchtungsstärke E_{Bl} in lx, dem Blendwinkel Θ in $^\circ$ und dem altersabhängigen Faktor K berechnet werden.

$$L_v = K \cdot \frac{E_{Bl}}{\Theta^2} \quad (5.6)$$

| | | | | | |
|-----------------|-----|-----|------|------|------|
| Alter in Jahren | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| Faktor K | 6,3 | 9,2 | 12,1 | 15,0 | 17,8 |

Sind mehrere Blendquellen vorhanden, so addieren sich die einzelnen Schleierleuchtdichten.

Reflexblendung entsteht dadurch, dass Flächen hoher Leuchtdichten von Lampen oder Leuchten in glänzenden Oberflächen reflektiert werden. Es gilt dabei:

Einfallswinkel = Ausfallwinkel.

Bei der Reflexblendung entsteht Kontrastminderung, weil die gespiegelte Leuchtdichte die Leuchtdichte des Sehobjekts überdeckt. Das Ausmaß der Kontrastminderung erfasst man mit dem Kontrastwiedergabefaktor CRF.

$$\text{CRF} = \frac{C}{C_{\text{ref}}} \quad (5.7)$$

C ist der Kontrast mit Schleierreflexion (entspricht C_{Bl} in Gl. 5.5) und C_{ref} ist der Kontrast ohne Schleierreflexion (entspricht C_0 in Gl. 5.5).

Reflexblendung bedeutet immer eine Verschlechterung der Sehbedingungen. Mit folgenden Maßnahmen kann sie minimiert werden:

- geeignete Lichteinfallrichtung,
- großflächige Leuchten mit kleiner Leuchtdichte,
- matte Oberflächen von Arbeitsunterlagen und Materialien.

Die Kontrastwiedergabe kann wie folgt bewertet werden:

$\text{CRF} \geq 0,9$ → sehr gut

$\text{CRF} \geq 0,8 \dots < 0,9$ → gut

$\text{CRF} \geq 0,7 \dots < 0,8$ → mäßig

Heute erfolgt die Blendungsbewertung nach einer einheitlichen Bewertung UGR (**unified glare rating**). Die Blendungsbewertung UGR ist abhängig von der Umfeldleuchtdichte L_u in cd/m^2 und von der Blendleuchtdichte aller Blendquellen L_i in cd/m^2 mit deren Raumwinkel Ω_i in sr und dem Positionsfaktor p_i der jeweiligen Blendquelle.

$$\text{UGR} = 8 \cdot \lg \left(\frac{0,25}{L_u} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_i^2 \cdot \Omega_i}{p_i^2} \right) \quad (5.8)$$

Der Positionsfaktor p berücksichtigt die Lage der Blendquelle zur Blickrichtung. Befindet sich die Blendquelle in Blickrichtung, so ist $p = 1$; für andere Richtungen lässt sich p nach Gl. 5.9 bestimmen.

$$d = R/H \quad s = T/H$$

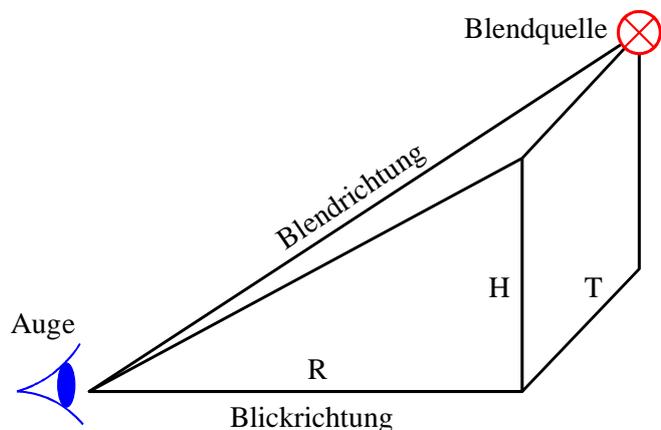
$$\text{Gültigkeitsgrenzen:} \quad d = 0,6 \dots \infty$$

$$s = 0 \dots 6$$

Angaben zum Positionsfaktor p

Für den Kehrwert des Positionsfaktors p gilt:

$$\frac{1}{p} = \frac{d^2 \cdot e^{\left(-0,18 \cdot \frac{s^2}{d} + 0,011 \cdot \frac{s^3}{d}\right)}}{d^2 + 1,5 \cdot d + 4,6} + 0,12 \cdot \left(1 - e^{\left(-0,18 \cdot \frac{s^2}{d} + 0,011 \cdot \frac{s^3}{d}\right)} \right) \quad (5.9)$$



Die Umfeldleuchtdichte L_u kann für die Berechnung der Blendungsbewertung aus der indirekten Beleuchtungsstärke E_i am Auge des Beobachters berechnet werden:

$$L_u = \frac{E_i}{\pi \cdot \Omega_0} \quad (5.10)$$

| | | | |
|-----------------|--------------------------|----------|----|
| UGR-Grenzwerte: | Zeichenräume | UGR-Wert | 16 |
| | Büros | UGR-Wert | 19 |
| | feine Industriearbeit | UGR-Wert | 22 |
| | mittlere Industriearbeit | UGR-Wert | 25 |
| | grobe Industriearbeit | UGR-Wert | 28 |

Lichtflimmern

Das Lichtflimmern beschreibt Schwankungen in der Leuchtdichte einer Lampe im normalen Betrieb. Es ist von dem Begriff Flicker abzugrenzen, dessen Leuchtdichteänderung im Regelfall durch ungewollte Schwankungen der Netzspannung hervorgerufen wird.

Glühlampen oder Leuchtstofflampen welche direkt mit der Netz-Wechselspannung betrieben werden, flimmern mit der doppelten Netzfrequenz. Durch die thermische Trägheit ist das Flimmern bei Glühlampen geringer als bei Entladungslampen. Bei LED-Lampen ist das optische Flimmern durch die Art der üblicherweise im Lampensockel integrierten Stromversorgung bestimmt. Technisch aufwändige Schaltnetzteile erlauben einen flimmerfreien Betrieb der Leuchtdioden, bei den kostengünstigen Kondensatornetzteilen kann ein wahrnehmbares Flimmern auftreten.

Das Lichtflimmern belastet das Nervensystem. Im Extremfall (Stroboskop) müssen die in schneller Folge wahrgenommenen Einzelbilder vom Gehirn in eine kontinuierliche Prozessabfolge umgewandelt werden. Auch dahingehende Täuschungen, dass sich kontinuierlich bewegende Objekte nicht als solche wahrgenommen werden sind möglich, weswegen entsprechend stark flimmerndes Licht nach DIN EN 12464-1 zu vermeiden ist. An entsprechenden Maschinen-Arbeitsplätzen ist stark flimmerndes Licht als gefährlich einzustufen und deshalb zu unterbinden oder zu kompensieren ist.

Die Flimmerfusionsfrequenz ist die Frequenz, bei der eine Folge von Lichtblitzen als ein kontinuierliches Licht wahrgenommen wird. Sie hängt von der Amplitude der Lichtmodulation, der mittleren Lichtintensität, Wellenlänge, der Position auf der Netzhaut, an der die Stimulation stattfindet, sowie dem Grad der Hell-Dunkel-Adaptation ab. Lichtflimmern im Frequenzbereich von 3 Hz bis 70 Hz kann unangenehm sein, insbesondere 15 bis 20 Hz. Nach DIN 12464-1 verursacht Flimmern Störungen und kann physiologische Effekte wie Kopfschmerzen hervorrufen. Stroboskopeffekte können gefährliche Situationen erzeugen, indem sie die Wahrnehmung rotierender oder sich hin und her bewegnender Maschinenteile ändern.

In der Literatur wird unterschieden zwischen:

- Dem Stroboskopeffekt, bei dem das Auge in Ruhe ist und sich das Objekt im Stroboskoplicht bewegt (Wagenrad-Effekt)
- Dem Perlschnureffekt oder Phantom Array Effect, bei dem das bewegende Auge eine Stroboskoplichtquelle oder ein von Stroboskoplicht beleuchtetes Objekt beobachtet.

Den Stroboskopeffekt kann man beim langsamen Überholen eines LKW's im Emstunnel der A31 beobachten. Die Räder des LKW's drehen sich scheinbar rückwärts.

Der **Kompaktflimmergrad CFD** (Compact Flicker Degree) ist eine Maßeinheit für das Lichtflimmern in Prozent. Er wird aus der pythagoreischen Summe aller frequenzabhängig gewichteten Frequenzanteile bezogen auf den Gleichanteil eines Lichtsignals berechnet. Die frequenzabhängige Gewichtung ist proportional zur frequenzabhängigen Wahrnehmungsempfindlichkeit des Menschen, die bei etwa 10 Hz ihr Maximum aufweist.

Der CFD wird nach einem Ampelsystem bewertet:

- $CFD < 1\%$ „flimmerfrei“
für Menschen nicht wahrnehmbar, für Filmaufnahmen geeignet;
- $1\% < CFD < 12\%$ „flimmerarm“
für Menschen so gut wie nicht wahrnehmbar;
- $12\% < CFD < 25\%$ „akzeptabel“
für Menschen möglicherweise wahrnehmbar;
- $25\% < CFD < 50\%$ „mäßig“
für Menschen wahrnehmbar;
- $50\% < CFD < 75\%$ „stark betroffen“
Beeinträchtigung des Wohlfühlens, außerhalb der Empfehlung nach DIN EN 12464-1;
- $75\% < CFD$ „extrem betroffen“, Beeinträchtigung der Gesundheit,
wird nach DIN EN 12464 zum Arbeiten als gefährlich eingestuft und ist zu vermeiden;
- $100\% < CFD$ „extrem betroffen“, extreme Stroboskopeffekte.

Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Lichtfarbe, Farbwiedergabeeigenschaft und Farbgebung des Raums fasst man unter dem Oberbegriff Farbklima zusammen. Das Farbklima ist nicht nur eine Frage der Ästhetik und der Annehmlichkeit, sondern ist Voraussetzung für das richtige Erkennen von Farben.

Bei niedrigen Beleuchtungsstärken sind eher warmtonige Lampen (ww) zu verwenden. Lampen mit Tageslichtfarben (tw) erfordern im Allgemeinen hohe Beleuchtungsstärken. Es ist zu beachten, dass Lampen mit hoher Farbwiedergabestufe meist eine eher geringe Lichtausbeute aufweisen. Eine sehr gute Farbwiedergabe ist nur auf Kosten der Wirtschaftlichkeit möglich.

Die Farbgebung des Raums kann das Farbklima stark beeinflussen. Bei der Anwendung großflächiger intensiver Farben ist deshalb Vorsicht geboten.

Erkennbarkeit verschiedener Farbkontraste:

| Rangplatz | Objektfarbe | Hintergrundfarbe |
|-----------|-------------|------------------|
| 1 | schwarz | gelb |
| 2 | schwarz | weiß |
| 3 | gelb | schwarz |
| 4 | weiß | schwarz |
| 5 | blau | weiß |
| 6 | weiß | blau |
| 7 | weiß | grün |
| 8 | grün | weiß |
| 9 | rot | weiß |

Raumklima

Raumklima ist der Summeneindruck aller Empfindungen in einem Raum bezüglich der Architektur, der farbigen Gestaltung, der Beleuchtung, des Klimas, der Akustik der Inneneinrichtung. Sind alle diese Faktoren optimal aufeinander abgestimmt, so empfindet man den Raum als angenehm.

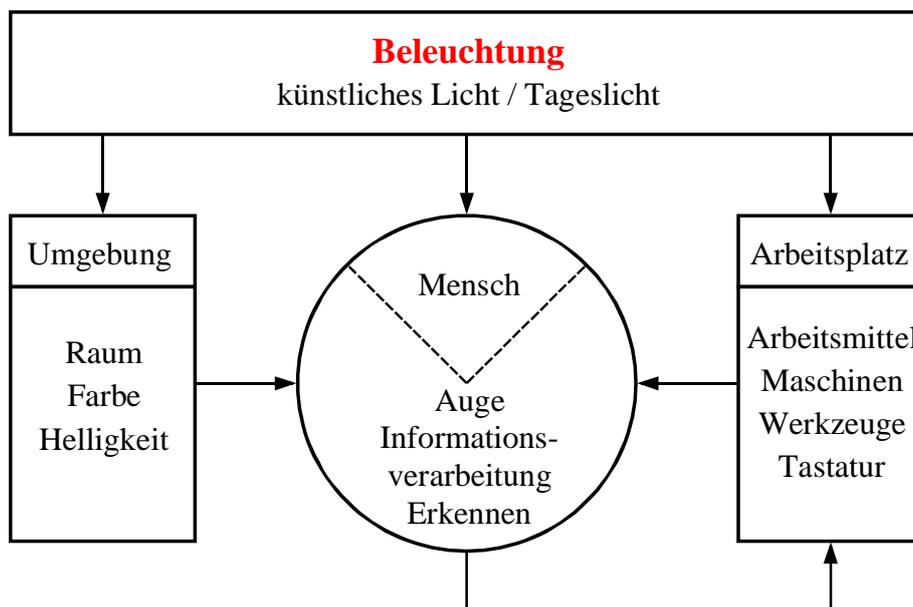
Jeder einzelne Bewertungspunkt ist von großer Bedeutung. Erst das richtige Zusammenwirken aller Faktoren ergibt den optimalen Raumeindruck.

| | Gebäude | | | | Innenausbau | | | | Büroeinrichtung | | | | | |
|----------------------|-----------|----------|---------------|-----------------|-------------|-----------|-----------|--------------|------------------|----------------|-----------|----------|------------|-------------|
| | Grundriss | Raumböhe | Fensterfläche | Himmelsrichtung | Bodenbelag | Wandbelag | Textilien | Sonnenschutz | Kunstgegenstände | Raumgliederung | Anordnung | Möbiliar | Bürogeräte | EDV-Systeme |
| Klima | ○ | | | | | | | | | | | | | |
| Akustik | | | | | ○ | | | | | | | | | |
| Beleuchtung Farbe | ○ | | | | | | | | | | | | | |

Raumklima als Summeneindruck innerhalb eines Raums

5.3 Ausführung von Innenraumanlagen

Bei der Ausführung von Beleuchtungsanlagen in Innenräumen sind der Einfluss der Beleuchtung auf Mensch, Umgebung und Arbeitsplatz zu beachten. Das Zusammenspiel der Beleuchtung in Form von künstlichem Licht und/oder Tageslicht mit dem Wohlbefinden und der bewussten Handlung des Menschen ist eine vernetzte Angelegenheit.



Einfluss der Beleuchtung auf Mensch / Umgebung / Arbeitsplatz

Bevor die Leuchtenart, die Anzahl Leuchten, Lampen, deren Anordnung und Details der Installation geplant werden, sollte eine Checkliste abgearbeitet werden.

Eine optimale Beleuchtungsanlage kann nur realisiert werden, wenn Kenntnisse der einzelnen auf dem Markt angebotenen Leuchtensysteme vorhanden sind.

Raumeindruck

Der erste Raumeindruck, durch Beleuchtung und Innenarchitektur mit farblicher und räumlicher Gestaltung geprägt, entspricht der Visitenkarte und ist Teil des sogenannten Raumklimas.

- Raumeindruck auf den Besucher:
 - Betonung bestimmter Zonen der Raumgeometrie wie Höhe oder Breite,
 - kühl/warm - hell/dunkel.
- Leuchten als Teil der Raumarchitektur:
 - Leuchten erkennbar oder "unsichtbar",
 - Leuchten unterstützen die Raumgeometrie.
- Anordnung der Arbeitsplätze:
 - Anordnung flexibel oder fest,
 - offen gestaltet oder Gruppenbildungen,
 - werden Trennwände oder Kastenfronten verwendet.

Tätigkeiten im Raum

Die Art der Tätigkeit hat wesentlichen Einfluss auf das Beleuchtungskonzept.

- Raumzonen:
 - Orientierung bezüglich der Raumein- und -ausgänge,
 - Durchgangs- und Bewegungszonen,
 - Ruhe- und Besprechungszonen,
 - Bereich der Arbeitsplätze,
 - Nebenzonen für Regale und Ablageflächen.
- Soziale Struktur:
 - Einzel- oder Gruppentätigkeit,
 - Kommunikation unter den Mitarbeitern.
- Tätigkeit:
 - allgemeine Tätigkeiten für die eine Grundbeleuchtung ausreicht,
 - spezielle Tätigkeiten, die bezüglich der Beleuchtung höhere Anforderungen stellen (Bildschirmtätigkeit, Zeichenarbeiten, Kontrolltätigkeiten).

Lichttechnische Gütemerkmale

Für viele Räume und Tätigkeiten schreiben Normen und Vorschriften lichttechnische Gütemerkmale vor.

Beleuchtungsniveau:

- Werte entsprechend den Normen und Vorschriften berücksichtigen,
- Bereiche mit unterschiedlichen Anforderungen berücksichtigen und das Gleichmäßigkeitskriterium einhalten,
- Tageslicht und Kunstlicht gegebenenfalls kombinieren.

Blendung:

- Ansprüche bezüglich Direktblendung,
- Problematik der Indirekt- und Direktblendung,
- Standorte der Bildschirme berücksichtigen und durch äußere Maßnahmen Reflexblendung verhindern.

Harmonische Helligkeitsverteilung:

- Helligkeitsverteilung unter Berücksichtigung einer optimalen Kontrastwiedergabe ermitteln.

Lichtrichtung und Schattigkeit:

- Lichtrichtung entsprechend der Tätigkeit günstig,
- Schatten angenehm oder "falsch".

Lichtfarbe und Farbwiedergabeeigenschaften:

- Lichtfarbe tw, nw, ww oder farbig,
- Forderungen bezüglich der Farbwiedergabeeigenschaften berücksichtigen.

Energetische Gesichtspunkte:

- Lichtausbeute der Lampen,
- Wirkungsgrad der Leuchten.

Bauliche Gesichtspunkte

Eine Beleuchtungsanlage muss installiert und elektrisch betrieben werden können.

Raumgeometrie:

- Raumhöhe und Lage der Fenster,
- Installationsmöglichkeiten von der Decke.

Deckenkonstruktion:

- Deckeneinbau möglich,
- abgehängte Decke,
- Decke hell oder dunkel.

Installation:

- Träger im Raum für Montage,
- Installation vom Boden her.

Besondere Anforderungen an die Leuchten und die Installation:

- Schutz gegen Verschmutzung,
- Spritzwasserschutz,
- Brandschutz,
- Explosionsschutz.

Leuchtenart

Zu jeder Beleuchtungslösung kann eine alternative Antwort gefunden werden.

Beleuchtungskonzept:

- Allgemeinbeleuchtung,
- arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung,
- Einzelplatzbeleuchtung.

Beleuchtungssystem:

- Direkt, indirekt oder direkt/indirekt.

Planungsschritte

Die zum Einsatz gelangende Beleuchtung soll die Arbeitssicherheit und das Wohlbefinden der Menschen sowie deren Aktivierung unterstützen.

Festlegen der elektromechanischen Anforderungen:

- Schutzklasse (Maßnahmen gegen elektr. Schlag),
- Schutzart (Schutz gegen Fremdkörper und Feuchte),
- Funk-Entstörung,
- Brandschutzbedingungen,
- Ex-Vorschriften,
- mechanische Beanspruchungen.

Festlegen der lichttechnischen Richtwerte (DIN 5035):

- Nennbeleuchtungsstärke E_n ,
- Lichtfarbe der Lampen,
- Stufe der Farbwiedergabeeigenschaft,
- Stufe der Blendungsbegrenzung.

Auswahl der Lampen:

- Lichtstrom Φ , Lichtausbeute η inkl. Vorschaltgeräte,
- Stufe der Farbwiedergabeeigenschaft,
- Eigenschaften bezüglich Steuer- und Wiedereinschaltbarkeit.

Auswahl der Leuchten:

- Lichtstärkeverteilungskurve LVK,
- Begrenzung der Direktblendung,
- Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB} ,
- Lampenart, Verlustleistung der Vorschaltgeräte,
- leichte Montage und Wartung.

Bestimmen der erforderlichen Anzahl der Leuchten:

- Wirkungsgradverfahren normalerweise,
- Punktbeleuchtungsmethode in speziellen Fällen.

Bestimmen der Beleuchtungsart:

- Allgemeinbeleuchtung,
- arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung,
- Einzelplatzbeleuchtung.

Die Wirtschaftlichkeit ist anhand verschiedener Planungsentwürfe für unterschiedliche Beleuchtungsarten und Leuchten durchzuführen. Im Rahmen dieser Vorlesung wird hierzu die Software DIALux <http://www.dial.de/> angewendet.

Die ausgeführte Beleuchtungsanlage sollte anschließend ausgemessen werden.