

licht.de

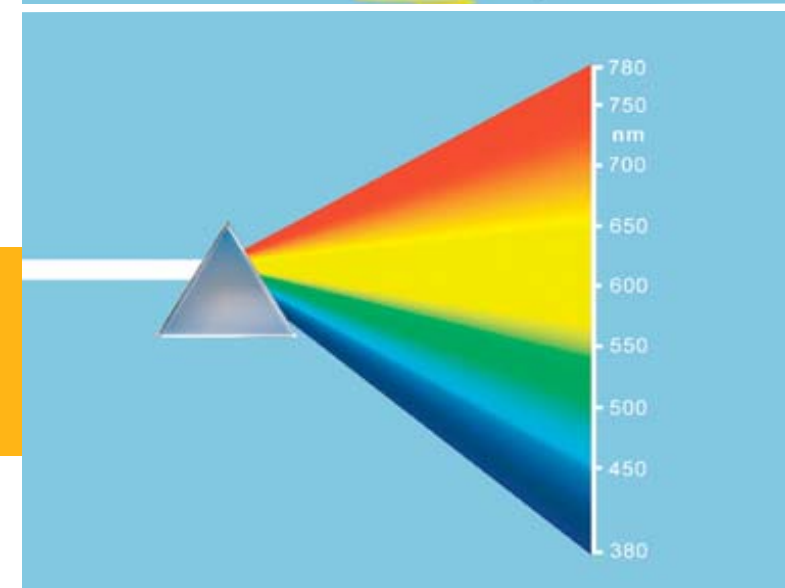
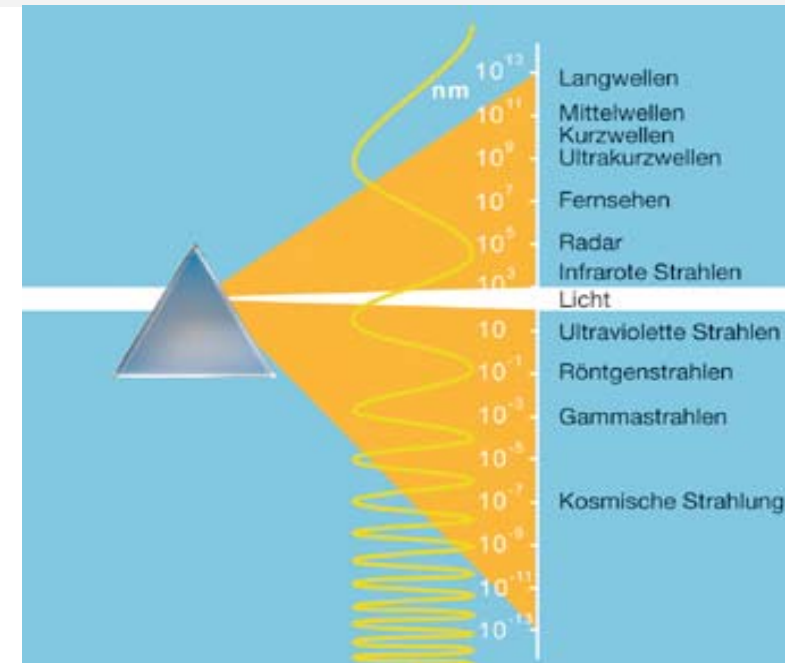


Die Beleuchtung mit künstlichem Licht

Grundlagen der Lichttechnik

Was ist Licht?

- Sichtbarer Teil der elektromagnetischen Strahlung, die aus schwingenden Energiequanten besteht
- Lichtgeschwindigkeit: $2,98 \times 10^8$ m/s, also etwa 300.000 km/s
- Lichtspektrum: 380 Nanometer (Violett) bis 780 Nanometer (Rot)
- Weißes Sonnenlicht ist die Summe aller Farben des Lichtspektrums



Farbige Objekte werden nur farbig gesehen, wenn das Spektrum der Lichtquelle diese Farben enthält.

Die Augen – „unsere Kamera“



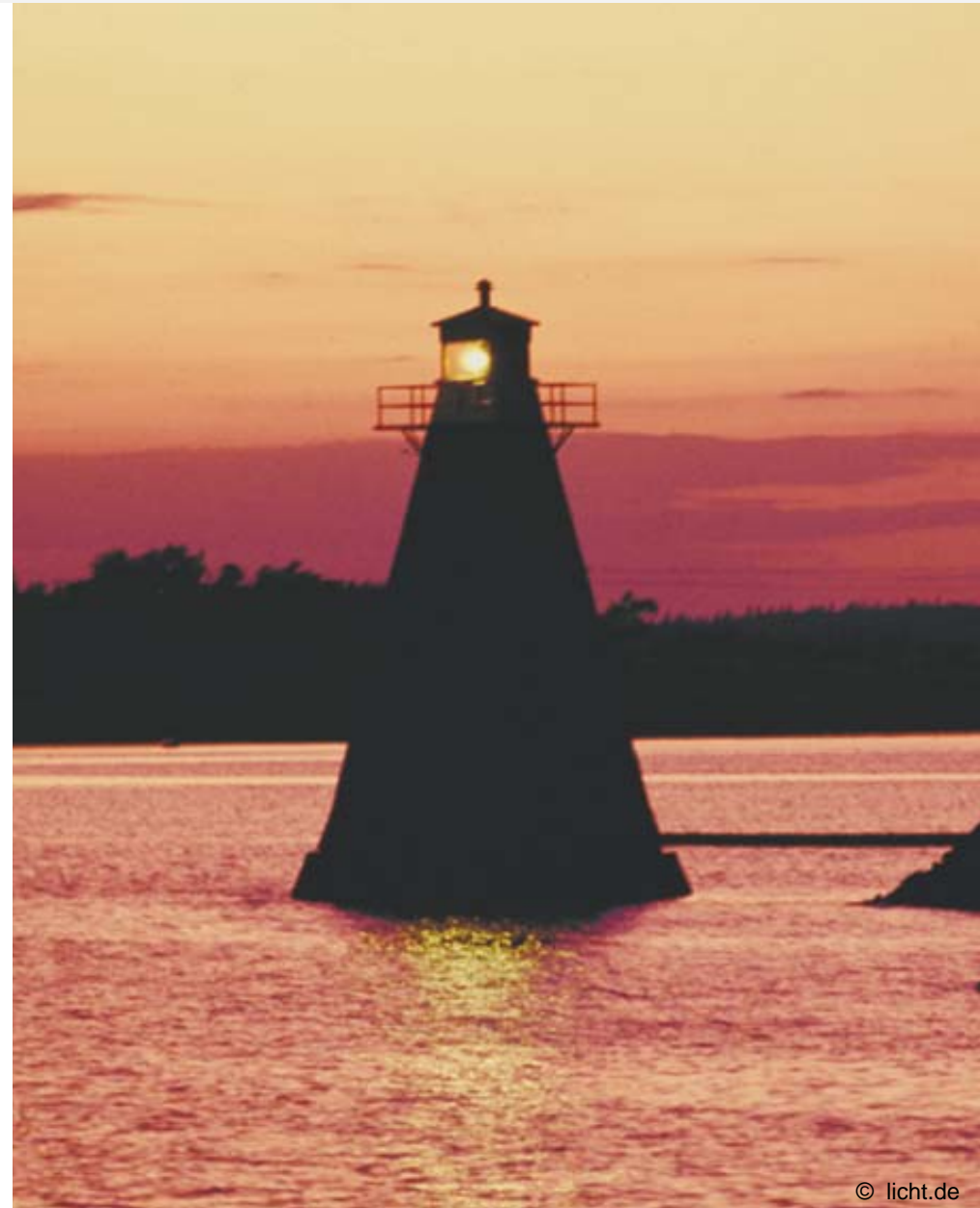
Fotolia.com: Bonnie C. Marquette

- Im Auge gibt es etwa 130 Millionen Sehzellen, unterschieden in Stäbchen und Zapfen.
- Stäbchen: Helligkeitssehen, Zapfen: Farbsehen
- Adaptation: Anpassung des Auges an Helligkeitsänderungen
- Dunkeladaptation dauert deutlich länger als Helladaptation.

80 Prozent der Informationen werden über die Augen aufgenommen.

Vom Feuer zur LED

- Vor 300.000 Jahren: Feuer als Wärme- und Lichtquelle
- Um 260 v. Chr.: Bau des Leuchtturms von Alexandria
- 1783: Gewinnung von Gas aus Steinkohle für den Einsatz in Laternen
- 1879: Erfindung der Glühlampe
- Ab 1880: Erfindung der ersten Leuchtstofflampen
- 1995: Präsentation der ersten LED mit weißem Licht

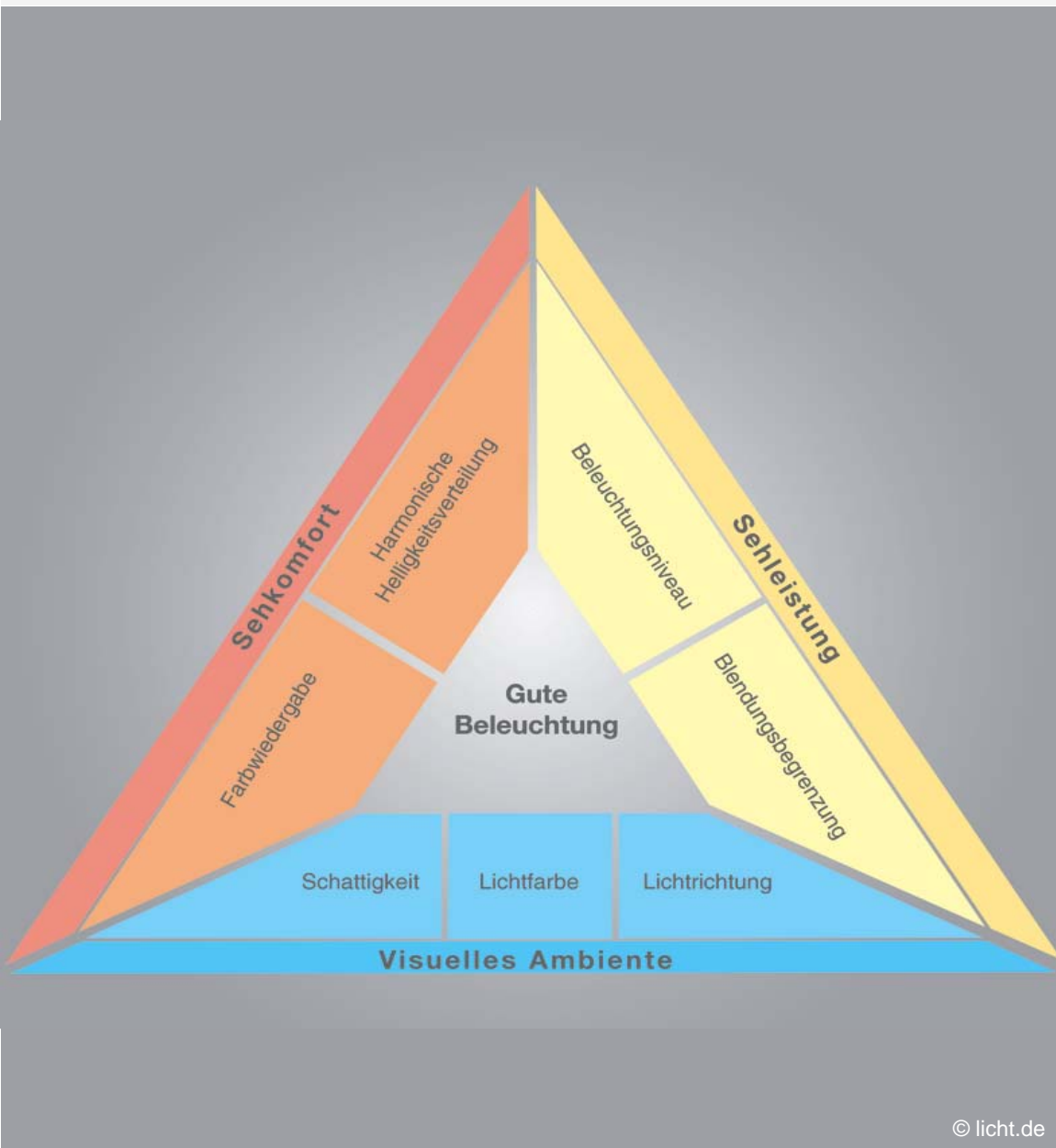


© licht.de

Lichttechnische Begriffe und Größen

Größe	Erklärung	Einheit	Abkürzung	Symbol
Lichtstrom	Lichtleistung einer Lampe	Lumen	lm	Φ
Lichtstärke	Lichtstrom in eine Richtung	Candela	cd	I
Lichtausbeute	Lichtstrom pro Leistungsaufnahme	Lumen/Watt	lm/W	η
Leuchtdichte	Helligkeitseindruck einer Fläche	Candela/Quadratmeter	cd/m ²	L
Beleuchtungsstärke	Lichtstrom auf einer bestimmten Fläche	Lux	lx	E
Reflexionsgrad	Lichtreflexion einer Fläche	Prozent	p	p

Faktoren guter Beleuchtung



Sehleistung, bestimmt durch

- Beleuchtungsniveau
- Blendungsbegrenzung

Sehkomfort, bestimmt durch

- Farbwiedergabe
- Helligkeitsverteilung

Visuelles Ambiente, bestimmt durch

- Lichtrichtung/Schattigkeit
- Lichtfarbe

Für die Planung: Gütemerkmale stehen in Beziehung zueinander

Gütemerkmale für die Sehleistung

Beleuchtungsniveau

- Beleuchtungsstärke
- Reflexionsgrad (z. B. der Wände)

Je geringer die Reflexionsgrade, desto höher muss die Beleuchtungsstärke sein.

Blendungsbegrenzung

- Direktblendung
- Reflexblendung

Blendung stört das Wohlbefinden und kann die Sehleistung herabsetzen.



© licht.de

Beleuchtungsstärke – Normen

Normen geben Beleuchtungsstärke vor, z.B.

- DIN EN 12464-1 für Arbeitsstätten in Innenräumen
- DIN EN 13201-2 für Straßenbeleuchtung

Beispiele zur Beleuchtungsstärke (gemessen in Lux, lx)

■ Büro	500 lx	■ Parkplatz	15 lx
■ Feinmechanik	1.000 lx	■ Küche	500 lx
■ Operationsfeld	≤ 100.000 lx	■ Treppen	150 lx

Zum Vergleich: Beleuchtungsstärken des Tageslichts

Wolkenloser Sommertag	100.000 lx
Trüber Wintertag	3.000 lx

Beleuchtungsstärke – Wartungswert

Das Beleuchtungsniveau einer Anlage nimmt im Betrieb durch Verschmutzung und Alterung von Leuchten, Lampen und Räumen ab.

- Neuanlagen müssen daher höhere Beleuchtungsstärken (= **Neuwert**) aufweisen.
- Normen geben **Wartungswerte** der Beleuchtungsstärke (= Mittelwert auf der Bewertungsfläche) vor.
- Diese Wartungswerte dürfen nicht unterschritten werden.
- Zur Berechnung des Neuwerts legen Planer und Betreiber **Wartungsfaktoren** fest. Sie berücksichtigen Art der Leuchten und Lampen, Verschmutzungsgefahr und Wartungsintervalle.

Formel für die Planung:

Wartungswert = Wartungsfaktor x Neuwert

Blendungsbegrenzung – Direktblendung

Direktblendung entsteht durch

- zu hohe Leuchtdichten
- frei strahlende Lampen
- falsch montierte Leuchten

Blendung vermeiden:

Lampen abschirmen

Anbringung von Leuchten korrigieren



© licht.de

Blendungsbegrenzung – Reflexblendung

Reflexblendung entsteht

- durch Lampen, Leuchten oder Fenster mit zu hohen Leuchtdichten
- an spiegelnden oder glänzenden Oberflächen (z.B. nasse Straßen, Bildschirme)

Beispiel: Leuchtdichtegrenzwert

Bildschirm mit Positivdarstellung,
mittlere Leuchtdichte $\leq 1.000 \text{ cd/m}^2$

Reflexblendung reduzieren:

Auswahl richtiger Leuchten und Lampen
Günstige Anordnung der Lichtquellen
Reduktion der Leuchtdichten im Fall von Spiegelungen



© licht.de

Gütemerkmale für den Sehkomfort



Harmonische Helligkeitsverteilung

- unterstützt das Sehen durch ein ausgewogenes Verhältnis der Leuchtdichten
- strukturiert Räume

Gute Farbwiedergabe

- erleichtert das fehlerfreie Erkennen und Unterscheiden von Farben
- beeinflusst Raumklima und Raumstimmung

Der Farbwiedergabe-Index R_a beschreibt, wie gut Lampen natürliche Farben wiedergeben (Optimalwert $R_a = 100$).

Gütemerkmale für das visuelle Ambiente

Lichtfarben

- Warmweiß (< 3.300 Kelvin)
- Neutralweiß (3.300 – 5.300 K)
- Tageslichtweiß (> 5.300 K)

Lichtrichtung

- Direktes (gerichtetes) Licht
- Diffuses (ungerichtetes) Licht

Schattigkeit

- macht Objekte plastisch
- betont Oberflächenstrukturen



© licht.de



© licht.de

Tipp für angenehme Kontraste: Ausgewogene Mischung diffuses + gerichtetes Licht

Lichtfarbe und Farbwiedergabe von Lampen

- Die Farbwiedergabe-Qualität einer Lampe wird bestimmt von der spektralen Zusammensetzung ihres Lichts.
- Das Licht von Lampen gleicher Lichtfarbe kann eine unterschiedliche spektrale Zusammensetzung haben.

Es ist deshalb nicht möglich, von der Lichtfarbe auf die Farbwiedergabe zu schließen.

Farbbezeichnung von Lampen

Jede Lampe trägt eine Farbbezeichnung. Drei Ziffern informieren über Farbwiedergabe und Lichtfarbe

- 1. Ziffer: Farbwiedergabe, z. B. 9 für R_a -Bereich 90 – 100
- 2. + 3. Ziffer: Farbtemperatur, z. B. 27 für Farbtemperatur 2.700 K

Beispiel: Leuchtstofflampe mit Farbbezeichnung 830

Diese Leuchtstofflampe hat einen guten R_a -Wert zwischen 80 und 90 und eine warmweiße Lichtfarbe von 3.000 K.

Lampen/Lichtquellen im Überblick



© licht.de



© licht.de



© licht.de

Grundsätzlich gibt es drei Typen von Lichtquellen:

- 1 **Temperaturstrahler:** Glüh- und Halogenglühlampen
- 2 **Entladungslampen:** Leuchtstoff-, Hoch- und Niederdrucklampen
- 3 **Festkörperstrahler:** LEDs und OLeds – (organische) Licht emittierende Dioden

Alle drei Typen von Lichtquellen bieten unterschiedliche Modelle und Modellvarianten.

Lichtquellen: technische Größen

Von Watt bis Kelvin

Technische Maßzahlen erleichtern die Auswahl von Lampen:

- | | |
|---------------------------|--|
| ■ Elektrische Leistung | Einheit: Watt (W) |
| ■ Lichtstrom | Einheit: Lumen (lm) |
| ■ Effizienz/Lichtausbeute | Einheit: Lumen pro Watt (lm/W) |
| ■ Farbwiedergabe | Einheit: Farbwiedergabeindex (R_a) |
| ■ Farbtemperatur | Einheit: Kelvin (K) |

Lichtfarbe und Farbtemperatur

- | | |
|----------------|-----------------|
| Warmweiß | < 3.300 K |
| Neutralweiß | 3.300 – 5.300 K |
| Tageslichtweiß | > 5.300 K |

Leuchten: Anforderungen und Eigenschaften



© licht.de

1. Anforderungen

- Zweck, z. B. Innen oder Außenleuchte
- Art und Anzahl der Lampen
- Bauart, z. B. offene/geschlossene Leuchte
- Art der Montage, z. B. Einbauleuchte

2. Eigenschaften

- lichttechnische Eigenschaften
- elektrotechnische Eigenschaften
- mechanische Eigenschaften
- äußerer Form

Erst planen, dann auswählen.

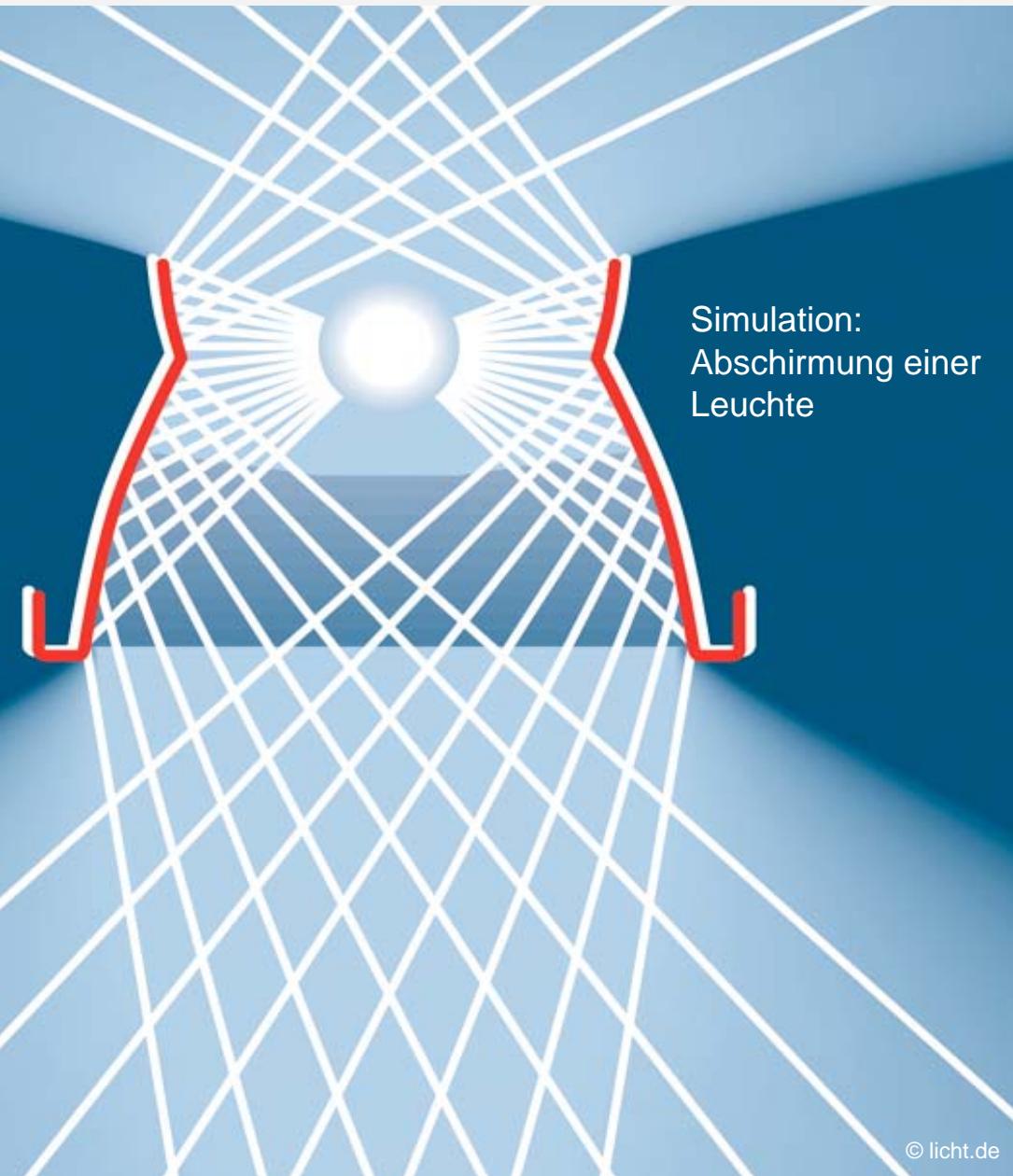
Leuchten: technische Größen

Lichttechnische Eigenschaften, z. B.

- Lichtstromverteilung
- Lichtstärkeverteilung
- Leuchtdichteverteilung
- Leuchtenbetriebswirkungsgrad

Elektrotechnische Eigenschaften, z. B.

- elektrische Sicherheit
- Vorschaltgeräte
- Funkentstörung
- Schutzklasse
- Schutzart (Ingress Protection)



© licht.de

Leuchten: moderne Steuerung

Betriebsgeräte

- Elektronische Vorschaltgeräte
- Transformatoren/Kondensatoren
- Starter und Zündgeräte

Lichtmanagement

Elektronische Steuerung der Beleuchtung
in Abhängigkeit von:

- Tageslichteinfall
- Anwesenheit
- Raumnutzung

Einfache Bedienung, z.B. mit



© licht.de

Schon ein Präsenzmelder spart bis zu **10 %** Energie.
Tageslichtabhängige Regelung spart bis zu **35 %** Energie.

Grundlagen der Planung

Eine gute Beleuchtungsplanung

- berücksichtigt die Bedürfnisse der Nutzer
- erfüllt relevante Normen
- ist energieeffizient

Erforderliche Angaben zur Planung

- Raumpläne/Grundriss
- Farben/Reflexionsgrade (Wände, Decken)
- Funktion des Raumes/Sehaufgaben
- Möblierung bzw. Maschinenanordnung
- Betriebsbedingungen (Staub, Feuchtigkeit)
- Bei Straßen: Anlagengeometrie und Reflexionseigenschaften des Straßenbelags



© licht.de

Kosten der Beleuchtung

Beleuchtungskosten setzen sich zusammen aus:

- Anlagekosten (Anschaffung, Installation)
- Betriebskosten

Betriebskosten setzen sich zusammen aus:

- Wartungskosten (Lampenersatz, Lohnkosten)
- Stromkosten

Beispiel: Stromkosten

Energiesparlampe (11 Watt)

$0,011 \text{ kW} \times 8.000 \text{ h} \times 0,18 \text{ Euro} =$

15,84 Euro/Jahr

Stromkosten machen bis zu 70 Prozent der Gesamtkosten einer Beleuchtungsanlage aus.

Der Einsatz effizienter Lichttechnik spart Energie und Kosten.

Energieeffizientes Licht

Faktoren einer Energie sparenden Beleuchtung sind:

- Effiziente Lichtquellen, wie etwa LEDs
- Leuchten mit hohem Wirkungsgrad und optimaler Lichtstärkeverteilung
- Bedarfsorientiertes Lichtmanagement
- Tageslichtnutzung

Optimale Beleuchtung = maximale Qualität + minimaler Verbrauch

Sparpotenzial Innenbeleuchtung: bis zu 75 Prozent weniger Strom

Der Energieaufwand für Beleuchtung geht in die energetische Bewertung von Gebäuden ein (Norm: DIN V 18599).

Licht und Umwelt

EU setzt Maßstäbe

Die Europäische Union (EU) definiert in höchster Instanz die Anforderungen für

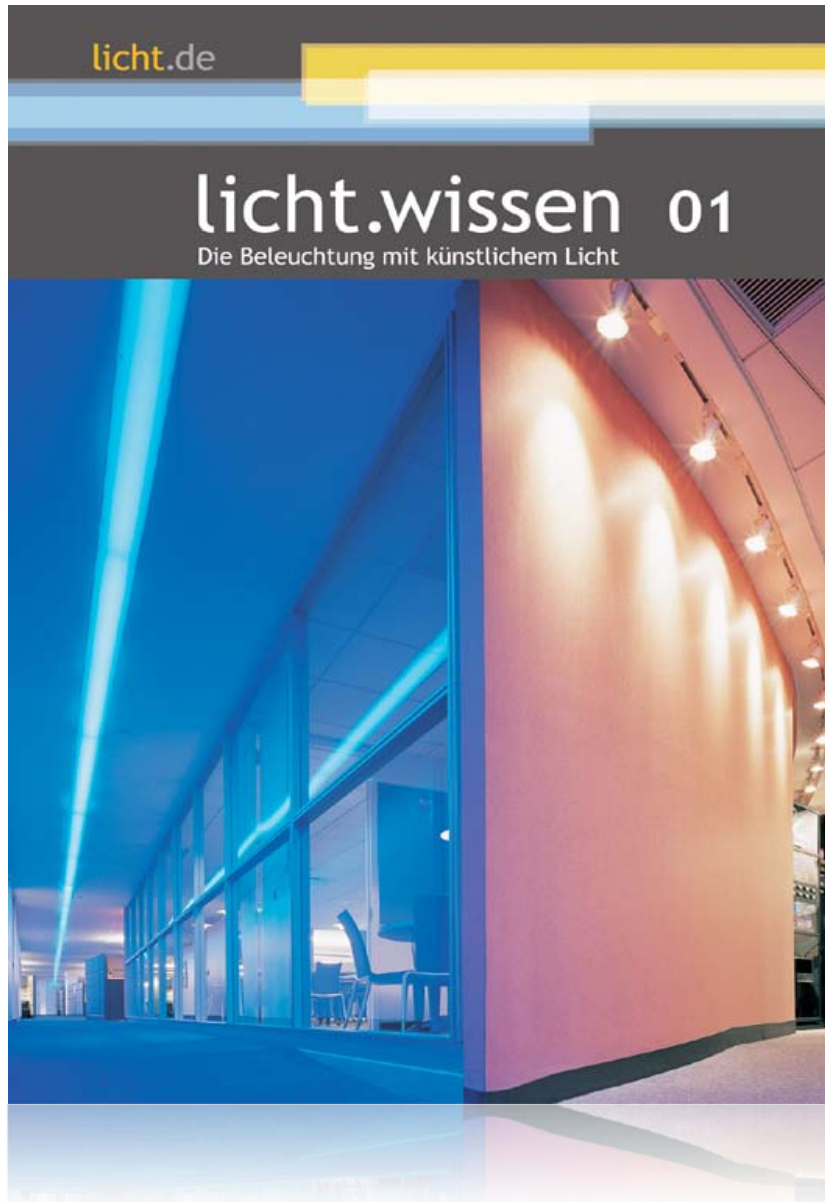
- Klimaschutz
- Naturschutz
- Gesundheitsschutz
- Nachhaltigkeit

Relevante Richtlinien sind z. B.:

- Ökodesignrichtlinie/ErP-Richtlinie (**E**nergy **r**elated **P**roducts)
- EPBD-Richtlinie (**E**nergy **P**erformance of **B**uildings **D**irective)

Die EU will ihren Energieverbrauch bis 2020 um **20 %** reduzieren.
Effiziente Beleuchtung hilft, dieses Ziel zu erreichen.

Weitere Informationen



Weitere Informationen zum Thema finden Sie

- im Heft licht.wissen 01 „Die Beleuchtung mit künstlichem Licht“ (62 Seiten)
- Das Heft kann bestellt werden bei licht.de: **licht.de@zvei.org**
- Diese und andere Ausgaben der Schriftenreihe licht.wissen gibt es auch als kostenlosen Download unter **www.licht.de**

Weitere Informationen zur Beleuchtung:
Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (LiTG),
www.litg.de

Normen zum Thema Licht und Beleuchtung:
Beuth-Verlag, **www.beuth.de**

licht.de



Herausgeber

licht.de
Förderungsgemeinschaft Gutes Licht
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
licht.de@zvei.org
www.licht.de

© licht.de

Jegliche Bearbeitung, Verwertung, Vervielfältigung, Ausstellung und Verbreitung des Werkes sowie einzelner Teile daraus (insbesondere Bilder und Grafiken) bedarf der vorherigen Zustimmung von licht.de als Urheber. Ausgenommen sind einzelne Kopien für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch.