

licht.de



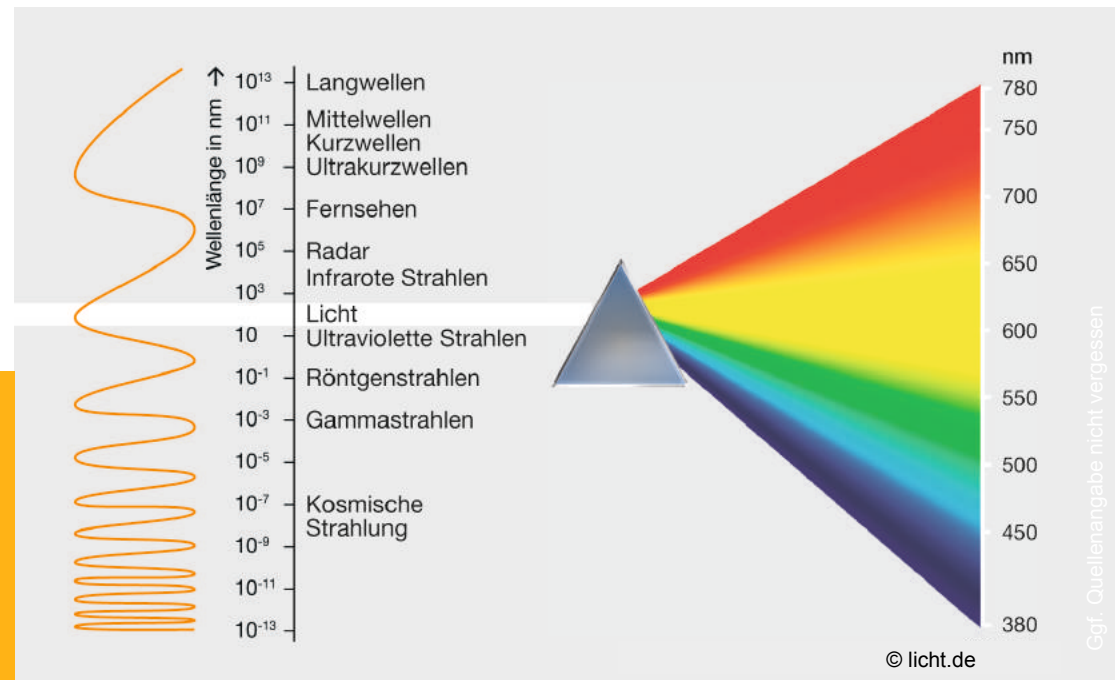
# Die Beleuchtung mit künstlichem Licht

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.



# Unsere Augen und das Licht



© licht.de

**Im Auge gibt es etwa 130 Millionen Sehzellen**

- Stäbchen: Helligkeitssehen
- Zapfen: Farbsehen

**Licht ist auch Zeitgeber für unsere innere Uhr**

- Dritter Lichtrezeptor = Melanopsinhaltige Ganglienzellen

80 Prozent aller Informationen werden über die Augen aufgenommen.

Licht wirkt: visuell, nicht-visuell und emotional

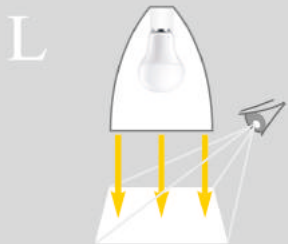
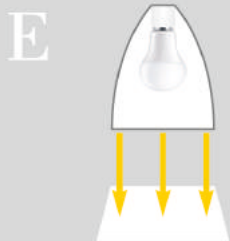
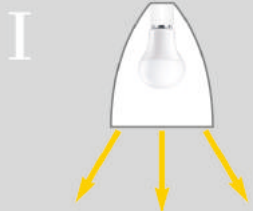
# Vom Feuer zur LED

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



© licht.de

# Lichttechnische Begriffe und Größen



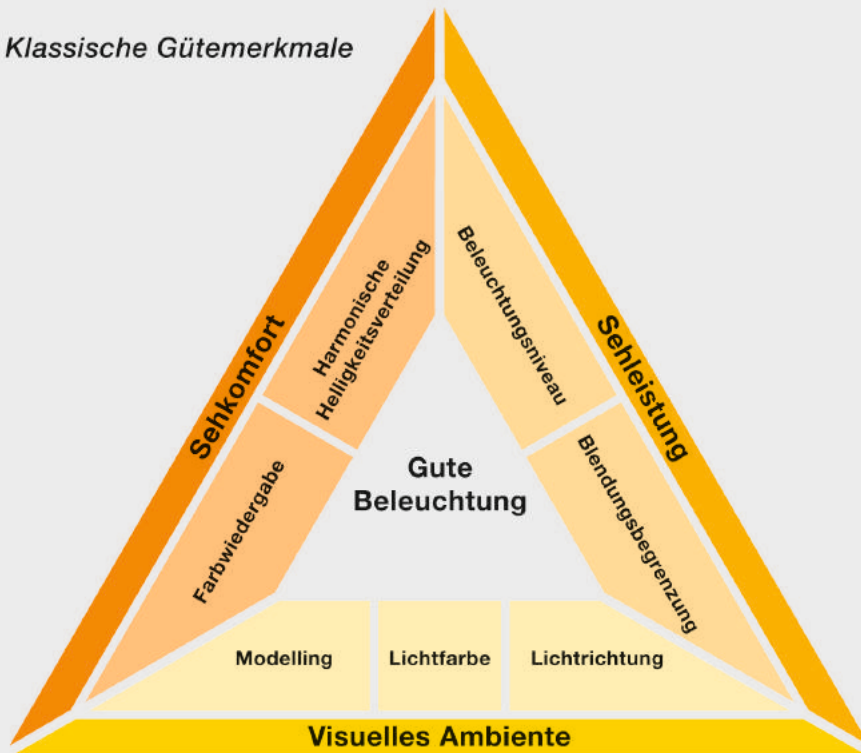
© licht.de

Größe	Erklärung	Einheit	Abkürzung	Symbol
Lichtstrom	Lichtleistung einer Lichtquelle	Lumen	lm	$\Phi$
Lichtstärke	Lichtstrom in eine Richtung	Candela	cd	$I$
Lichtausbeute	Lichtstrom pro Leistungsaufnahme	Lumen / Watt	lm/W	$\eta$
Leuchtdichte	Helligkeitseindruck einer Fläche	Candela / Quadratmeter	cd/m <sup>2</sup>	$L$
Beleuchtungsstärke	Lichtstrom auf einer bestimmten Fläche	Lux	lx	$E$
Reflexionsgrad	Lichtreflexion einer Fläche	Prozent	p	$\rho$

# Faktoren guter Beleuchtung

## Gütemerkmale der Beleuchtung

Klassische Gütemerkmale



## Weitere Kriterien für die Lichtplanung

Tageslicht-Integration

Energieeffizienz

Veränderung der Lichtsituation

Individuelle Einstellmöglichkeiten

© licht.de

**Sehleistung**, bestimmt durch

- Beleuchtungsniveau
- Blendungsbegrenzung

**Sehkomfort**, bestimmt durch

- Farbwiedergabe
- Harmonische Helligkeitsverteilung

**Visuelles Ambiente**, bestimmt durch

- Modelling
- Lichtfarbe
- Lichtrichtung

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 durch Leuchten
- Reflexblendung durch Spiegelung

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       | ■ Treppen        | 150 lx |
| ■ Feinmechanik   | 1.000 lx     | ■ Parkplatz      | 15 lx  |
| ■ Operationsfeld | ≤ 100.000 lx | ■ Anliegerstraße | 7,5 lx |

## Beleuchtungsstärken im Vergleich

- |                       |            |
|-----------------------|------------|
| Wolkenloser Sommertag | 100.000 lx |
| Mondhelle Nacht       | 0,2 lx     |





# Beleuchtungsstärke – Wartungswert

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

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



Formel für die Planung

Wartungswert ( $E_m$ ) = Wartungsfaktor x Neuwert

# Blendungsbegrenzung – Direktblendung

## Direktblendung entsteht durch

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

## Blendung vermeiden

- Lichtquellen abschirmen
- Leuchten besser positionieren



© licht.de

# Blendungsbegrenzung – Reflexblendung

**Reflexblendung** entsteht durch

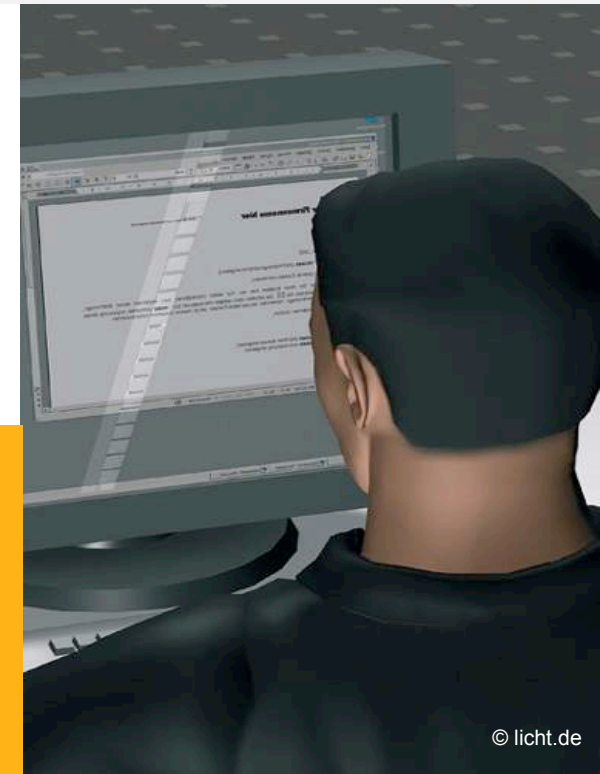
- Lichtquellen, Leuchten oder Fenster mit zu hohen Leuchtdichten
- an spiegelnden oder glänzenden Oberflächen (z. B. nasse Straßen, Bildschirme)

## Reflexblendung reduzieren

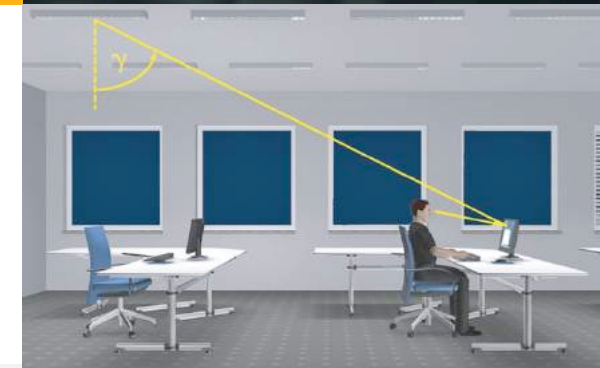
- Auswahl und Anordnung der Lichtquellen und Leuchten
- Günstige Anordnung der Arbeitsplätze
- Einrichtung mit matten und hellen Oberflächen

## Beispiel: Leuchtdichtegrenzwert

Bei üblichen Bildschirmereinstellungen  
 $1.500 \text{ cd/m}^2$  oberhalb des Ausstrahlungswinkels  
 $\gamma$  von  $65^\circ$



© 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 Farbwiedergabeindex  $R_a$  beschreibt, wie gut Lampen natürliche Farben wiedergeben (Optimalwert  $R_a = 100$ ).***

# Lichtrichtung und Modelling

## Lichtrichtung

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

## Modelling

- Licht und Schatten
- macht Objekte plastisch
- betont Oberflächenstrukturen



© licht.de



© licht.de

Für angenehme Kontraste: Mischung aus diffusem und gerichtetem Licht

# Lichtfarbe – von warm bis kühl

## Die Lichtfarbe

- bestimmt den Raumeindruck
- kann den circadianen Rhythmus des Menschen beeinflussen

Warmweiß (2.700 – 3.300 Kelvin, K)

Neutralweiß (3.300 – 5.300 K)

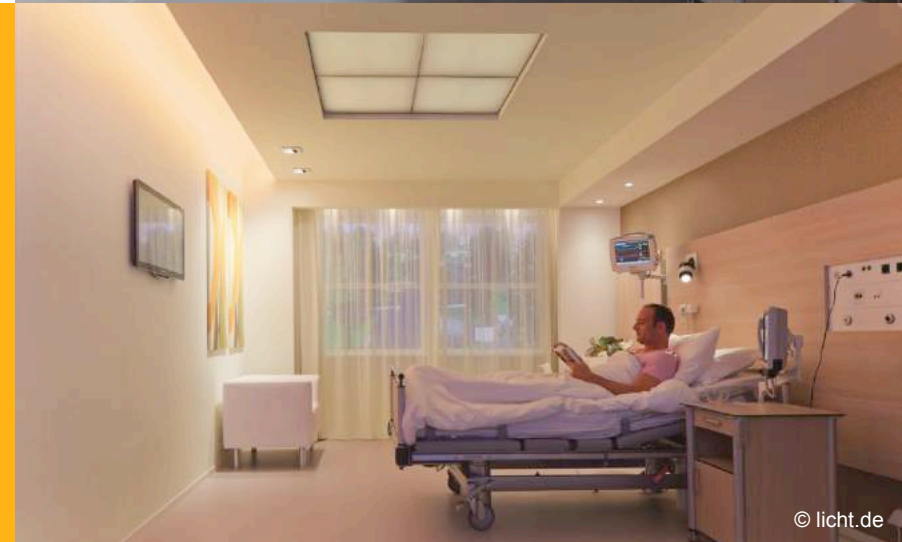
Tageslichtweiß (> 5.300 K)



© licht.de

## LEDs: Binning sichert Qualität

- Lichtfarbe von LED-Chips unterliegt Schwankungen
- Farbunterschiede werden mit MacAdam-Ellipsen beschrieben
- Sorgfältiges Binning garantiert einheitliche Lichtfarben und Helligkeiten



© licht.de

# Farbwiedergabe

- Gute Farbwiedergabe (Index  $R_a$ ) ist ein wichtiges Gütemerkmal künstlicher Beleuchtung.
- Für Innenräume: mindestens  $R_a$  80
- Die Farbwiedergabe-Qualität einer Lichtquelle wird bestimmt von der spektralen Zusammensetzung ihres Lichts.
- Das Licht von Lichtquellen gleicher Lichtfarbe kann eine unterschiedliche spektrale Zusammensetzung haben.

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

## Farbkennzeichnung Lichtquellen

- 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: LED mit Farbbezeichnung 930

Diese Lichtquelle hat einen sehr guten  $R_a$ -Wert zwischen 90-100 und eine warmweiße Lichtfarbe von 3.000 K.

# Lichtquellen im Überblick



© licht.de

## Lichterzeugung heute

- LEDs und OLEDs – (organische) Licht emittierende Dioden = *Festkörperstrahler*

## Lichterzeugung traditionell

- Glüh- und Halogenglühlampen = *Temperaturstrahler*
- Leuchtstoff-, Hoch- und Niederdrucklampen = *Entladungslampen*



# LEDs revolutionieren die Beleuchtung

## Vorteile

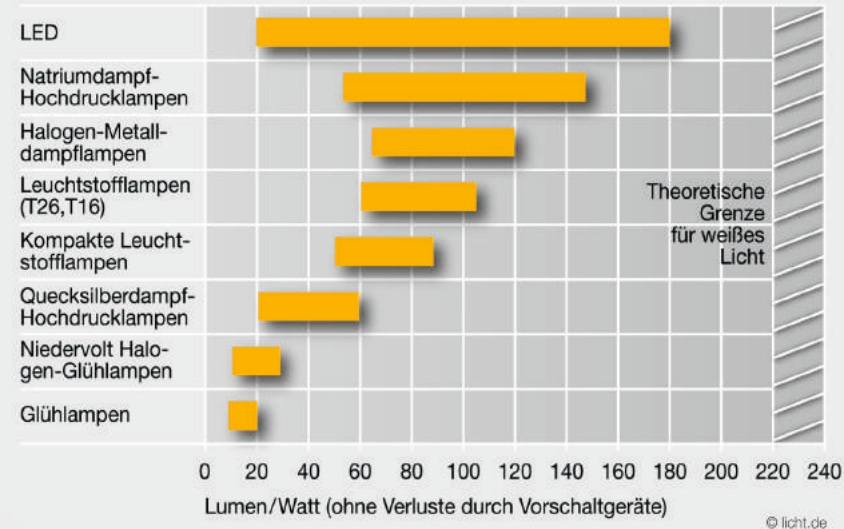
- effizient und langlebig
- steuerbar ohne Qualitätsverluste
- wartungsarm und robust
- kompakt und flexibel

## Bautypen

- LED-Lampen und -Module mit separaten Vorschaltgeräten (Spannungs-, Steuer- und Kontrolleinheit) = *LEDni (non-integrated)*
- LED-Lampen, -Module und Light Engines mit integrierten Vorschaltgeräten = *LEDi*
- LED-Lampen und -Module mit Steuer- und Kontrolleinheit) = *LEDsi (semi-integrated)*

***LED-Module sind effizienter als LED-Lampen und meist fest verbaut in Leuchten***

## Effizienz der Lichtquellen



- LEDs fallen sehr selten aus, ihre Lichtleistung nimmt mit der Zeit aber ab. Sie degradieren.
- Farbige LEDs erreichen im Labor Werte bis 300 Lumen/Watt.

# Leuchten: Anforderungen und Eigenschaften



© licht.de

## Anforderungen

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

## Eigenschaften

- lichttechnische Eigenschaften
- elektrotechnische Eigenschaften
- mechanische Eigenschaften
- Design, Bauform und Größe


***Erst planen, dann auswählen!***

# Technische Größen von Leuchten

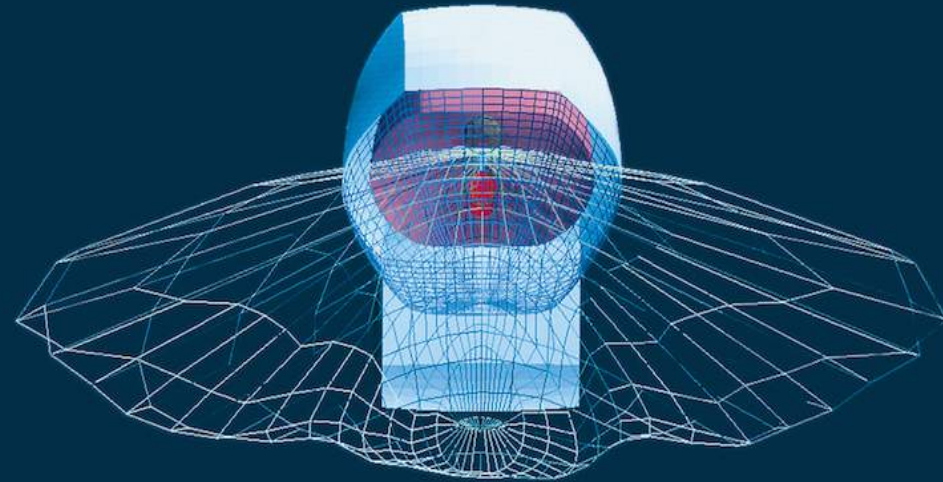
## Lichttechnische Eigenschaften

- Lichtstromverteilung
- Lichtstärkeverteilung
- Leuchtdichteverteilung
- Leuchtenbetriebswirkungsgrad

## Elektrotechnische Eigenschaften

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

Lichtstärkeverteilung einer Außenleuchte



© licht.de

# Leuchten und ihre Betriebsgeräte

## Typen von Betriebsgeräten

- Verlustarme Vorschaltgeräte (VVG)
- Elektronische Vorschaltgeräte (EVG) und steuerbare Treiber

## Elektronische Betriebsgeräte für

- energieeffiziente Beleuchtung
- visuelle Ergonomie
- gesundheitsorientiertes Licht

Lichtmanagementsysteme  
erfordern dimmbare EVGs



Sehr gut dimm- und regelbar sind LEDs und  
Leuchtstofflampen.



© licht.de

licht.de

# Grundlagen der Planung

## Eine gute Beleuchtungsplanung

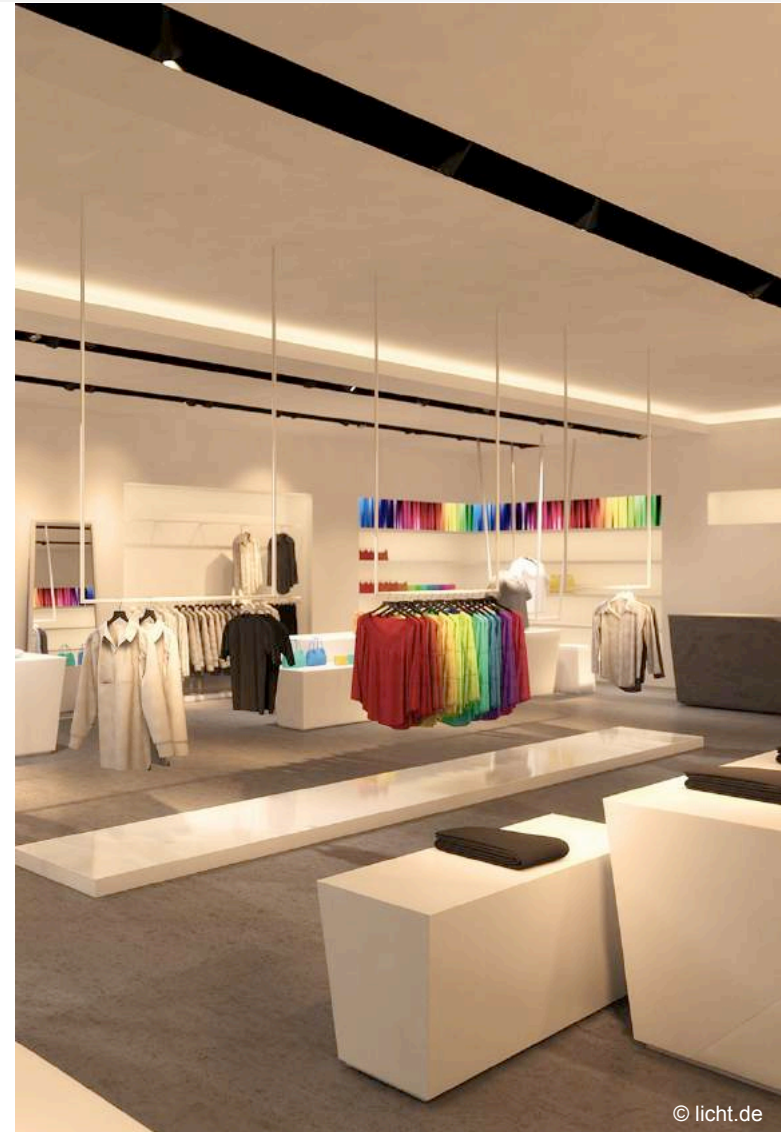
- berücksichtigt die Bedürfnisse der Nutzer
- erfüllt relevante Normen
- ist energieeffizient

## Drei Planungskonzepte

- ① Auf den **Raubereich** bezogene Beleuchtung
- ② Auf den **Tätigkeitsbereich** bezogene Beleuchtung
- ③ Auf **Bereich der Sehaufgabe** bezogene Beleuchtung

## Objektanalyse

- Tätigkeiten und Sehaufgaben
- Anforderungen Nutzer und Investoren
- Architektur, Möblierung, Betriebsbedingungen
- Bei Straßen: Gefährdungspotenzial, Straßenbelag



© licht.de

# Lichtmanagement: komfortabel und effizient

## Steuerung der Beleuchtung nach

- Tageslichteinfall
- Anwesenheit
- Raumnutzung

***Stets das richtige Licht zur richtigen Zeit in der richtigen Menge!***

## Vorteile

- spart Energie
- steigert das Wohlbefinden
- sorgt für Sicherheit im Verkehr

Intelligente Steuerungen wechseln für eine **biologisch wirksame Beleuchtung** Helligkeiten und Lichtfarben:

Aktivierend	mind. 5.300 K
Entspannend	< 3.000 K



© licht.de

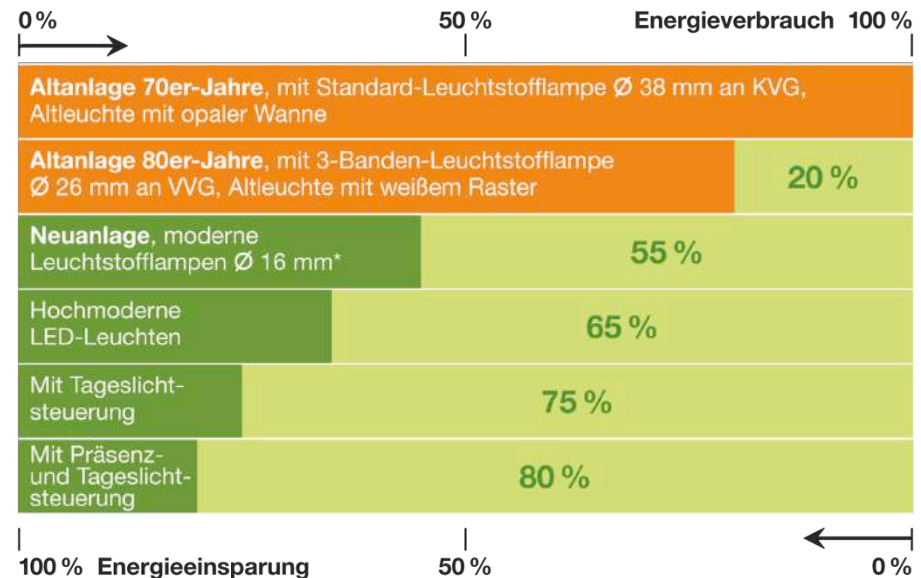
# Energieeffizientes Licht

## Effizienzfaktoren

- Leuchten mit hohem Betriebswirkungsgrad und optimierter Lichtlenkung
- Effiziente Lichtquellen, z. B. LED-Module
- Moderne Betriebs- und Vorschaltgeräte
- Professionelle Lichtkonzepte
- Lichtmanagement, Tageslichtnutzung und Präsenzkontrolle

**Optimale Beleuchtung =  
maximale Qualität +  
minimaler Verbrauch**

## Sparpotenziale Innenbeleuchtung



\* Leuchtstofflampe an EVG mit sehr geringer Verlustleistung, energieeffiziente direkt oder direkt/indirekt strahlende Leuchten mit moderner Lichtlenktechnik.

© licht.de

Die Energiesparverordnung (EnEV) regelt den maximalen Gesamtenergiebedarf von Gebäuden: Ein Energieausweis ist Pflicht.

# Nachhaltige Lichttechnik

## EU setzt Maßstäbe

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

- Klimaschutz
- Naturschutz
- Gesundheitsschutz
- Nachhaltigkeit

***Bis 2050 will die EU Treibhausgas-Emissionen um 80 % reduzieren***

Relevante Richtlinien sind z. B.:

- Ökodesignrichtlinie / ErP-Richtlinie (**E**nergy related **P**roducts)
- RoHS-Richtlinie (**R**estriction of the Use of certain **H**azardous **S**ubstances)

McKinsey-Studie: Eine Tonne CO<sub>2</sub> einzusparen, kostet mit LED-Beleuchtung nur 1/5 der Summe, die für Solaranlagen erforderlich wäre.



# Kosten über den Lebenszyklus

## Beleuchtungskosten

- Anlagekosten (Anschaffung, Installation)
- Betriebskosten (Energie, Wartung, Entsorgung)

*Betriebskosten machen bis zu **80 Prozent** der Gesamtkosten einer Anlage aus.*



© licht.de



© licht.de

Der Einsatz **effizienter Lichttechnik** spart Energie und Kosten bei höherer Lichtqualität.

So können auch Anlagen mit höherer Amortisationszeit auf lange Sicht mehr Kosten sparen als vermeintlich günstigere Lösungen.



© licht.de

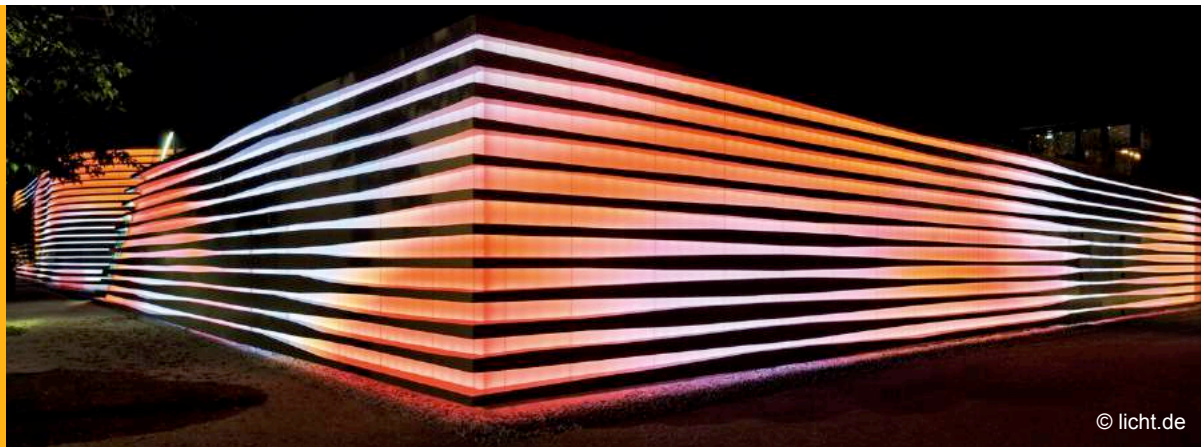
# Beleuchtungsanlagen messen

- **Messgrößen** sind Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte, Reflexionsgrad und -schatten, Netzspannung und/oder Umgebungstemperatur
- Zur **Vorbereitung** notwendige Informationen sind geometrische Anlagenmaße, Raumnutzung, Größen und Messpunkte, Anlagenzustand
- **Messprotokoll** erstellen mit Angaben zur Umgebung, Lichtquellen, Leuchten und Geometrie der Anlage

Messgerät: Luxmeter

Smartphone-Apps

Vorsicht: Fehlerquoten bis zu 50 % sind keine Seltenheit



© licht.de

# 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  
Fördergemeinschaft Gutes Licht  
– eine Brancheninitiative des ZVEI e. V. –  
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.