

licht.wissen 01

Die Beleuchtung mit künstlichem Licht



Freier Download auf
www.licht.de





Editorial



Licht ist für uns so lebensnotwendig wie die Luft zum Atmen. Und ohne künstliche Beleuchtung ist unser Alltag schon lange nicht mehr vorstellbar.

Licht hat für uns Menschen drei Funktionen: Es sorgt zunächst dafür, dass wir gut sehen können. Licht wirkt sich außerdem auch auf das emotionale Empfinden aus, denn Helligkeit und Schatten, Farben und Kontraste prägen unsere Stimmung. Und es gibt noch eine dritte, ausgesprochen wichtige Dimension: Licht beeinflusst biologische Funktionen, taktet unsere innere Uhr. Das richtige Licht nach dem Vorbild des natürlichen Tageslichts ist also wichtig für unser Wohlbefinden und für unsere Gesundheit.

Eine statische, starre Beleuchtung wird diesen Anforderungen nicht mehr gerecht. Heute bietet die moderne Beleuchtungstechnik „intelligente“ Lösungen, die den Menschen mehr denn je unterstützen können: So sorgt kühlweißes Licht im Büro morgens für den Energiekick, beim Nachhausekommen schaltet sich die Beleuchtung entsprechend den individuellen Bedürfnissen und Systemeinstellungen automatisch ein. Straßenleuchten regeln das Beleuchtungsniveau aufgrund von Verkehrsdichte und Wetterlage, optimieren bedarfsgerecht Energieverbrauch und Sehkomfort.

Treiber der rasanten Entwicklung waren und sind energieeffiziente LED-Lösungen und digitale Lichtmanagementsysteme. Das Duo garantiert enorme Energieeinsparungen und erhöht mit jeder Ausbaustufe den Komfort für den Nutzer.

Sicher ist: Die Zeiten, in denen Lampen nur „hell machen“, sind vorbei. Heute bietet die Beleuchtung spannendere Möglichkeiten als je zuvor. Wie aber findet ein Nutzer die richtige Lösung für sich? Worauf muss bei der Lichtplanung geachtet werden? Fragen darauf gibt das vorliegende Heft licht.wissen 01. Es möchte Lichtinteressierte, die in das Thema einsteigen, mit dem notwendigen Basiswissen aus der Beleuchtungstechnik vertraut machen – und für die Merkmale guter Beleuchtung sensibilisieren.

Das Heft ist zugleich der Einstieg in die Schriftenreihe von licht.de, die all jenen, die Beleuchtung planen und sich über unterschiedliche Lösungen informieren wollen, Hilfestellung gibt für viele Anwendungen – von der Straßenbeleuchtung über die Beleuchtung in Industrie, Schule und Büro bis zur Beleuchtung der privaten Räume. Noch mehr Infos rund um Licht und Beleuchtung finden Sie auch auf www.licht.de.

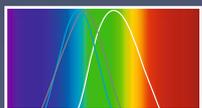
Dr. Jürgen Waldorf
Geschäftsführer von licht.de,
eine Brancheninitiative des ZVEI e.V.



Vom Licht der Natur zum Licht nach Bedarf
Seite 6



Was ist Licht?
Seite 8



Unsere Augen und das Licht
Seite 10



Begriffe der Lichttechnik
Seite 12



Gütemerkmale der Beleuchtung
Seite 15



Beleuchtungsniveau und Wartungswert
Seite 16



Direktblendung begrenzen
Seite 18



Reflexblendung vermeiden
Seite 20



Helligkeitsverteilung
Seite 22



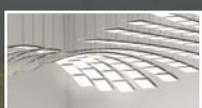
Lichtrichtung und Modelling
Seite 24



Lichtfarbe – von warm bis kühl
Seite 26



Farbwiedergabe
Seite 28



Lichterzeugung im 21. Jahrhundert
Seite 30





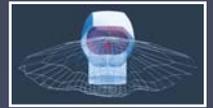
Lichtquellen

Seite 34



Leuchten: Auswahl und Lichtverteilung

Seite 36



Prüfzeichen und Schutzkennzeichen

Seite 38



Leuchten und ihre Betriebsgeräte

Seite 40



Leuchten in ihrer Anwendung

Seite 42



Lichtplanung

Seite 44



Lichtmanagement

Seite 46



Energieeffizientes Licht

Seite 48



Nachhaltige Lichttechnik

Seite 50



Beleuchtungs- kosten

Seite 52



Messen von Be- leuchtungsanlagen

Seite 54



Normen und Literatur

Seite 56



Schriftenreihe, Impressum

Seite 58





Vom Licht der Natur zum Licht nach Bedarf

Licht ist Leben – und für Menschen, Tiere und Pflanzen unverzichtbar. Lange Zeit stand nur das natürliche Tageslicht zur Verfügung, bis die Menschen künstliches Licht nutzen konnten. Moderne Beleuchtungskonzepte kombinieren heute beide Lichtquellen – für mehr Wohlbefinden und Gesundheit.

Der Mensch orientiert sich vor allem mit seinen Augen: Seine Umwelt ist eine Sehwelt. Mehr als 80 Prozent aller Informationen nehmen wir über die Augen auf; sie sind unser wichtigstes Sinnesorgan. Ohne Licht wäre dies unmöglich, denn Licht ist das Medium, das visuelle Wahrnehmung erst möglich macht.

Licht ist Lebensqualität

Unzureichendes Licht oder Dunkelheit verhindern gutes Sehen: Wir werden unsicher und können uns schlechter orientieren. Erst durch Beleuchtung entsteht ein „sicheres“ Gefühl.

Licht dient also nicht nur dem Sehen, sondern beeinflusst auch unsere Stimmung und unser Wohlbefinden. Mehr noch: Seit der Jahrtausendwende wissen wir, dass das natürliche Tageslicht und seine Veränderungen im Tages- und Jahresverlauf auch den Hormonhaushalt beeinflussen und den Tag-Nacht-Rhythmus steuern. Die richtige Beleuchtung trägt also zu Gesundheit und Lebensqualität bei.

Am Anfang war das Feuer ...

Lange Zeit war die Sonne die einzige Licht-

quelle des Menschen. Vor etwa 300.000 Jahren begann der Mensch das Feuer als Wärme- und Lichtquelle einzusetzen. Die leuchtende Flamme ermöglichte ein Leben in Höhlen, in die nie ein Sonnenstrahl gelangte. So können die Zeichnungen in der Höhle von Altamira nur bei künstlichem Licht entstanden sein – vor etwa 15.000 Jahren. Das Licht der Lagerfeuer, der Kien-späne sowie der Öl- und Talglampen war im Leben prähistorischer Menschen eine bedeutende Errungenschaft.

Nicht nur in Räumen wurde schon frühzeitig Licht geschaffen: Um 260 vor Christus wurde der Leuchtturm vor Alexandria erbaut, und es gibt aus dem Jahre 378 nach Christus Hinweise auf „Lichter auf den Gassen“ – auf die Straßenbeleuchtung in Antiochia.

Sehr früh begann der Mensch, die Träger der kostbaren lichtspendenden Flamme kunstvoll und zweckmäßig zu gestalten. Die über Jahrtausende verwendeten Lampen für flüssige Brennstoffe wurden jedoch erst 1783 von Aimé Argand mit der Erfindung des Rundbrenners entscheidend verbessert.



Ebenfalls 1783 wurde nach einem Verfahren von Minckelaers aus Steinkohle das „Leuchtgas“ für die Gaslaternen gewonnen. Fast gleichzeitig begannen Versuche mit elektrischen Bogenlampen, die jedoch erst dann praktische Bedeutung erlangten, als Werner Siemens 1866 mit Dynamomaschinen Elektrizität auf wirtschaftliche Art erzeugen konnte. Als dann Thomas Alvar Edison 1879 die von dem deutschen Uhrmacher Johann Heinrich Goebel schon 1854 erfundene Glühlampe „neu erfand“ und zur technischen Anwendung entwickelte, begann das eigentliche Zeitalter der elektrischen Beleuchtung.

Lampen, LED und Lichtsteuerung

Stets ging es darum, die Lichtausbeute der Lampen zu erhöhen und Leuchten weiter zu optimieren. Auf die Glühlampe folgten die Halogen-Glühlampe und die ersten Entladungslampen. Bis weit in die 1980er-Jahre hinein standen immer effizientere Leuchtstofflampen und elektronische Vorschaltgeräte im Mittelpunkt der technischen Entwicklung.

Mitte der 1990er-Jahre kamen die ersten LEDs auf den Markt – und veränderten die Welt der Beleuchtung rasant. LEDs sind äußerst effizient, langlebig, lassen sich vernetzen und präzise steuern. Heute sind bereits jede zweite Außenleuchte und mehr als 30 Prozent der Leuchten für den Innenbereich mit LED-Modulen ausgestattet (Stand 2015, ZVEI). Licht wird seither immer dynamischer.

Der Wechsel zu LED-Beleuchtung und die Entwicklung intelligenter Lichtsteuersysteme sind nicht nur der Schlüssel zu äußerst energieeffizienten Lichtlösungen. Sie bieten darüber hinaus völlig neue Anwendungen, die zuvor nicht denkbar waren – und damit eine Fülle von Möglichkeiten, die Beleuchtung besser als jemals zuvor an die funktionalen, emotionalen und biologischen Bedürfnisse des Menschen anzupassen.

Licht wirkt dreifach

Licht für visuelle Funktionen – sichert störungsfreies Sehen, blendfrei und komfortabel.

Licht mit biologischer Wirkung – unterstützt den circadianen Rhythmus, aktiviert oder entspannt.

Licht mit emotionaler Qualität – inszeniert Architektur und Raum, gestaltend und wohltuend.

[02 + 03] Das Licht der Sonne verändert sich im Jahresverlauf und bestimmt mit seinem Tag-Nacht-Wechsel das Leben. Bei Sonnenlicht werden Beleuchtungsstärken von etwa 100.000 Lux gemessen, in einer mond hellen Nacht rund 0,2 Lux.

[04] Die erste Lichtquelle war das Feuer.

[05 – 07] Seit mehr als 2.000 Jahren gibt Kunstlicht den Menschen Sicherheit und Orientierung – heute mit effizienten LED-Leuchten und komfortablem Lichtmanagement.





Was ist Licht?

Kleine Teilchen, große Wirkung: Licht ist eines der großen Wunder des Universums. Es beschäftigte schon die alten Griechen und seither viele berühmte Wissenschaftler – von Isaac Newton bis Albert Einstein.

Schon immer waren die Menschen von Licht fasziniert und bestrebt, hinter sein Geheimnis zu kommen. Im alten Griechenland glaubte Aristoteles, dass sich Licht ähnlich bewege wie Wasserwellen, Pythagoras (ca. 570-480 v. Chr.) dagegen war überzeugt, dass das menschliche Auge „heiße Sehstrahlen“ aus-sende, die von anderen Objekten wieder „zurückgedrängt“ werden. Allerdings: Wäre diese Theorie richtig, müsste der Mensch auch im Dunkeln sehen können ...

Rasend schnell: Licht

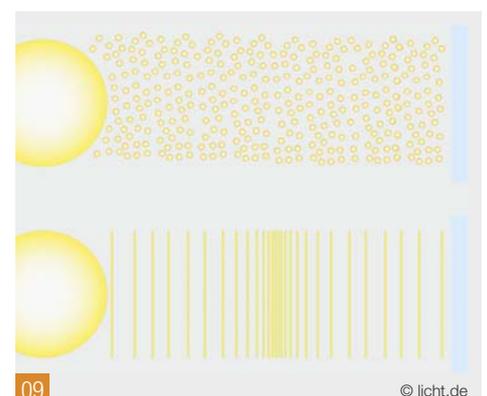
Heute lernen Physikschnüler, dass Licht sowohl als Welle als auch als Teilchen zu verstehen ist – und dass es enorm schnell unterwegs ist. Lichtschalter an, schon wird es hell. Mit erstaunlicher Genauigkeit traf schon 1675 der Däne Ole Christensen Rømer nach Beobachtung der von Galileo Galilei entdeckten Jupitermonde eine Aussage zur Lichtgeschwindigkeit: $2,3 \times 10^8$ m/s.

Genauer sind die Messungen der Lichtgeschwindigkeit von Leon Foucault 1850 mit $2,98 \times 10^8$ m/s. Anders formuliert: Heute wissen wir, dass sich Licht in Luft und Vakuum mit knapp 300.000 Kilometern pro Sekunde ausbreitet. Entsprechend erreicht uns das vom Mond reflektierte Sonnenlicht in etwa 1,3 Sekunden, und das Licht der Sonne in etwa 8¼ Minuten.

Von Wellen und Teilchen

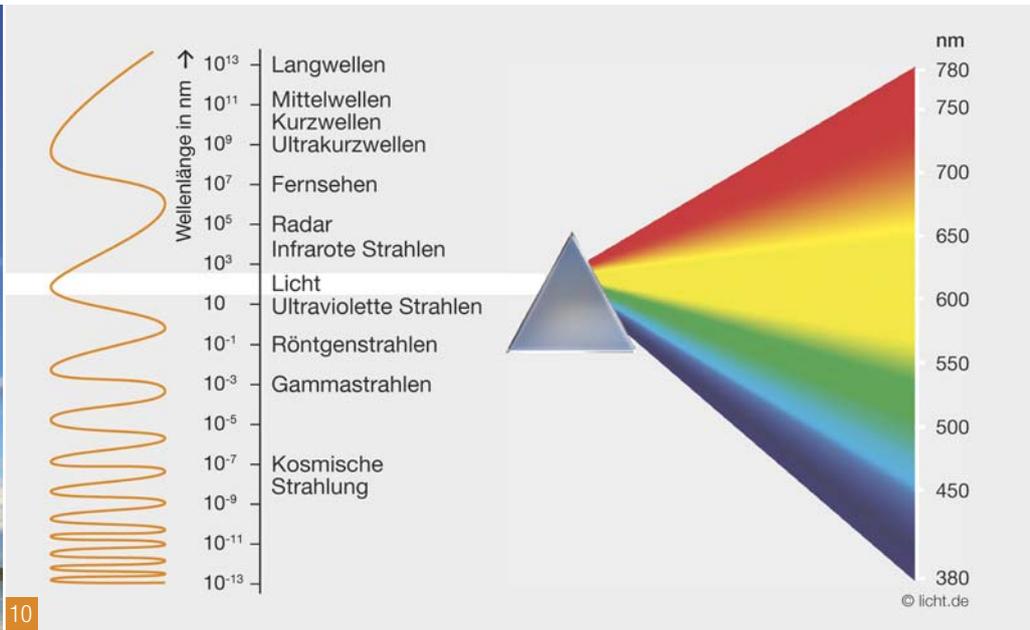
Die Ausbreitung von Licht lässt sich gut mit Lichtstrahlen beschreiben: Licht aus einer punktförmigen Lichtquelle, das durch einen engen Spalt fällt, wird gebeugt. Hinter dem Spalt entsteht ein linienförmiges Muster.

Das Wellenmodell des Lichts, nach dem sich Licht ähnlich einer Wasserwelle bewegt, entwickelte Christiaan Huygens bereits im 17. Jahrhundert. Fast zeitgleich vertrat Isaac Newton die Theorie, dass Licht aus kleinsten Teilchen oder Korpuskeln (= Körperchen) besteht und sich geradlinig ausbreitet. Lange Zeit war unter den Wissenschaftlern keine Einigkeit darüber zu erzielen, welches Modell nun das Richtige sei ...



[08] Eindrucksvolles Licht: Ein Regenbogen zeigt alle Farben des Spektrums; Wassertröpfchen brechen das Licht.

[09] Zur Erklärung der physikalischen Eigenschaften von Licht werden heute sowohl das Korpuskular- (= Teilchen) als auch das Wellenmodell genutzt.



Im 19. Jahrhundert erklärte dann James Clerk Maxwell Licht als elektromagnetische Welle, bestehend aus elektrischen und magnetischen Feldern, die sich zeitlich und räumlich ändern können. Die Maxwell'sche Theorie bahnte den Weg für die Elektrifizierung der Welt. Und Albert Einsteins Relativitätstheorie führte schließlich die beiden konkurrierenden Ansätze – Wellen- und Korpuskelmodell – wieder zusammen: Danach ist Licht eine Welle, die in kleinen Stößen (= Quanten) ausgesandt wird. Anders ausgedrückt: Licht ist der sichtbare Teil der elektromagnetischen Strahlung, die aus schwingenden Energiequanten besteht.

Max Planck beschreibt die Quantentheorie mit der Formel:

$$E = h \cdot \nu$$

Dabei ist die Energie E eines Energiequants (einer Strahlung) proportional abhängig von deren Frequenz ν , multipliziert mit einer Konstanten h (Planck'sches Wirkungsquantum).

Sichtbares Licht

Tatsächlich ist das menschliche Auge nur für einen relativ kleinen Bereich innerhalb des elektromagnetischen Spektrums empfänglich (siehe dazu auch Seite 10f.). Die Wellenlänge der sichtbaren Strahlung liegt zwischen 380 nm und 780 nm (1 Nanometer = 10^{-9} m). Zu den elektromagnetischen Strahlen gehören neben den Lichtwellen zum Beispiel auch die Röntgenstrahlen.

Alle Farben im Spektrum

Schon Newton entdeckte, dass Sonnen-

licht Farben enthält. Richtet man ein enges Lichtbündel auf ein Glasprisma und projiziert die austretenden Strahlen auf eine weiße Fläche, erscheint ein farbiges Spektrum – schön sichtbar auch in der Natur, wenn sich ein Regenbogen über die Landschaft spannt.

Jede Farbe entspricht einer bestimmten Wellenlänge. Vom kurzwelligigen Blau (< 450 nm) über Grün und Gelb bis zum langwelligeren Rot (> 600 nm) weist das Spektrum des Sonnenlichts einen fließenden Übergang auf. Die Mischung aller Farben ergibt weißes Licht.

Natürliche Farben sind relativ, denn wir sehen nur die Farben, die unter einer bestimmten Beleuchtungssituation reflektiert werden. So werden farbige Gegenstände auch nur dann richtig erkannt, wenn im Spektrum einer Lichtquelle auch alle Farben vorhanden sind. Dies ist etwa beim Sonnenlicht, bei Halogenlampen oder LEDs mit sehr guten Farbwiedergabeeigenschaften der Fall (siehe dazu auch Seite 28f.).

IR- und UV-Strahlung

Oberhalb und unterhalb der sichtbaren Strahlung werden im Strahlungsspektrum der Infrarotbereich (IR) und der Ultraviolett-Bereich (UV) definiert.

Der IR-Bereich umfasst die Wellenlängen zwischen 780 nm und 1 mm. Erst wenn IR-Strahlung auf einen Gegenstand trifft, wird sie absorbiert und in Wärme umgewandelt. Ohne die Wärmestrahlung der Sonne würde die Erde in ewigem Eis erstarren. Sonnenlicht spielt auch bei der alternativen Ener-

giegewinnung, zum Beispiel im Bereich der Photovoltaik und der Solartechnik, eine wichtige Rolle.

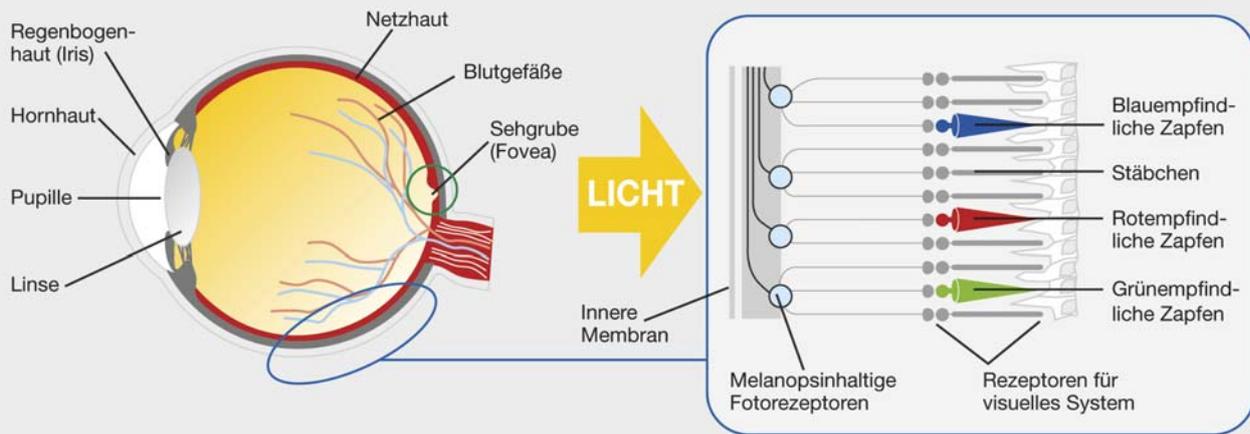
Für das Leben auf der Erde ist die richtige Dosierung der Strahlung im UV-Bereich wichtig. Entsprechend der biologischen Wirkung unterscheidet man die Bereiche

- UV-A (315 bis 380 nm)
= Bräunung der Haut;
- UV-B (280 bis 315 nm)
= Hautrötung (Erythemwirkung), Sonnenbrand;
- UV-C (100 bis 280 nm)
= Zellzerstörung, Entkeimungslampen.

Neben der positiven Wirkung der ultravioletten Strahlung – beispielsweise UV-B für den Aufbau des Vitamin D – kann ein Zuviel davon auch zu Schädigungen führen. Die Atmosphäre der Erde schützt uns vor einem Übermaß an kosmischer Strahlung. Sie reduziert Licht, UV- und IR-Strahlung so weit, dass organisches Leben möglich ist.

[10] Licht ist der kleine Ausschnitt elektromagnetischer Strahlung, der für das menschliche Auge sichtbar ist. Wird „weißes“ Sonnenlicht durch ein Prisma gelenkt, zeigen sich seine Spektralfarben. Sie unterscheiden sich in ihrer Wellenlänge.

Sensitive Ganglienzellen



○ Fotorezeptoren für das Farbsehen liegen vor allem in der Sehgrube (Fovea = Netzhautbereich für scharfes Sehen, $\varnothing \sim 1,5 \text{ mm}$). Hier befinden sich etwa 60.000 Zapfen, aber keine Stäbchen.

○ Melanopsinhaltige Ganglienzellen sind über die ganze Netzhaut verteilt, im unteren und nasalen Teil haben sie eine höhere Empfindlichkeit.

© licht.de

11

Unsere Augen und das Licht

Unser Auge ist ein ganz erstaunliches Instrument: Der Sehsinn arbeitet ähnlich einer fotografischen Kamera und liefert uns rund 80 Prozent aller Informationen aus der Umwelt. Gleichzeitig werden nicht-visuelle Wirkungen von Licht aufgenommen, die Wohlbefinden und Leistungskraft stimulieren.

Wir können rund 150 Farbtöne aus dem Spektrum des sichtbaren Lichts unterscheiden und zu einer halben Million Farbwerten kombinieren – dank unseren Augen. Sie nehmen die elektromagnetischen Wellen des Lichts auf und verwandeln sie in eine Folge von Nervenimpulsen, die an das Gehirn weitergeleitet werden. Dort entsteht das eigentliche Bild unserer Umwelt.

Ein Teil des kugelförmigen Augapfels – „Bulbus oculi“ in der Fachsprache – funktioniert wie eine Kamera. Im vorderen Teil des Auges sitzt die durchsichtige Hornhaut, etwa einen halben Millimeter dick. Sie stellt quasi das Fenster dar, durch das Licht einfällt. Zur bilderzeugenden Optik gehören weiterhin die Linse und das dazwischenliegende Kammerwasser, das die Hohlräume des Auges füllt und sich ständig erneuert. Hinter der Hornhaut liegt ringförmig die farbige Regenbogenhaut (= Iris). Sie kann durch zwei Muskeln die Pupille – ihre zentrale Öffnung – in der Mitte verkleinern oder vergrößern, wie eine Kamerablende die Menge des einfallenden Lichts in einem Bereich von etwa 1:16 regeln und die Tiefenschärfe verbessern.

Hinter der Pupille bündelt die Augenlinse das einfallende Licht. Sie ist beim gesunden Augen durchsichtig und klar. Außerdem ist

sie elastisch und kann durch entsprechende Krümmung die Sehschärfe auch auf unterschiedliche Entfernungen einstellen. Diese Fähigkeit heißt Akkomodation – und nimmt im Alter durch zunehmende Verhärtung des Linsenkörpers ab.

Nachdem das Licht Hornhaut, Pupille und den Glaskörper im Auge passiert hat, fällt es auf die Netzhaut (= Retina). Sie ist die „Projektionsfläche“ und trägt etwa 130 Millionen Sehzellen. Die parallel eintreffenden Lichtstrahlen werden so gebündelt, dass sie genau in der Sehgrube (= Fovea) zusammentreffen. Linse und Glaskörper erzeugen dabei auf dem Kopf stehende Bilder unserer Umwelt, die das Gehirn dann in Echtzeit „gerade rückt“. In der Fovea sind die Sehzellen für das Tages- und Farbsehen besonders dicht angeordnet.

Zapfen und Stäbchen für das Sehen

Zwei Arten von Sehzellen – die Zapfen und die Stäbchen – übernehmen je nach Helligkeit das Sehen. Sie haben eine unterschiedliche spektrale Empfindlichkeit: Die etwa sieben Millionen Zapfen reagieren bei höheren Helligkeiten, sind verantwortlich für das Tag- und Farbsehen und ermöglichen scharfes Sehen. Ihre maximale spektrale Empfindlichkeit liegt im gelbgrünen Bereich bei 555 nm. Durch das Zusammenspiel von

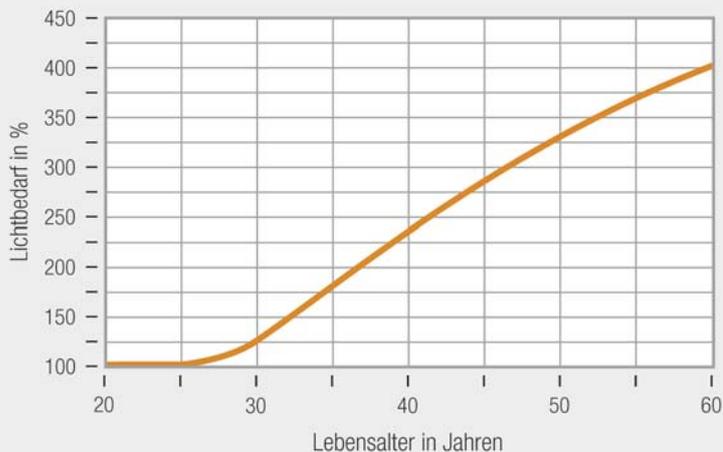
[11] Zapfen und Stäbchen sind für das Sehen verantwortlich. Im Auge gibt es außerdem einen dritten Lichtrezeptor, der unsere „innere Uhr“ steuert. Diese speziellen Fotorezeptoren sind im nasalen und unteren Bereich der Retina besonders empfindlich für blaues Licht.

[12] Höhere Beleuchtungsstärken im Alter: Ein Sechzigjähriger hat einen viermal so hohen Lichtbedarf wie Zwanzigjährige.

[13] Wellenlänge und Wirkung: Aktionspektrum der Melatonininhibition $S_{mel}(\lambda)$ im Vergleich zur Hellempfindlichkeit des Auges beim Tagessehen $V(\lambda)$ und Nachtsehen $V'(\lambda)$.

[14] Die Adaptation des Auges: Kommt man aus dem Hellen in einen dunklen Raum, sieht man zunächst „nichts“. Erst im Laufe der Zeit treten Personen und Gegenstände deutlich hervor.

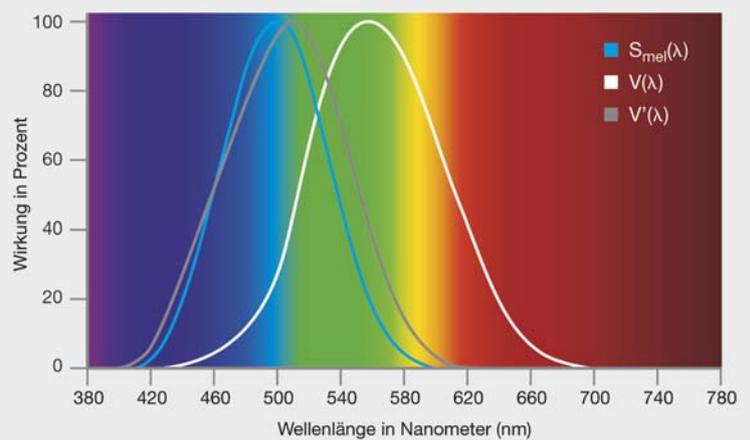
Lichtbedarf und Alter



12

© licht.de

Spektrale Wirkungenfunktionen



13

© licht.de

drei Zapfenarten mit einer jeweils anderen spektralen Empfindlichkeit (Rot, Grün, Blau) wird das Farbsehen möglich.

Nimmt die Helligkeit ab, erkennen wir nur noch Umrisse und Grautöne. Dann übernehmen die 120 Millionen Stäbchen – hochempfindlich für Helligkeiten, aber ziemlich unempfindlich für das Farbsehen. Sie dienen dem Dämmerungssehen; ihre maximale spektrale Empfindlichkeit liegt im blaugrünen Bereich bei 507 nm.

Die Fähigkeit des Auges, sich an unterschiedliche Helligkeiten anzupassen, wird als Adaptation bezeichnet. Der Bereich der Anpassungsfähigkeit erstreckt sich über Leuchtdichten im Verhältnis von 1:10 Milliarden. Dabei bestimmt der jeweilige Adaptationszustand die augenblickliche Sehleistung. Je höher also das Beleuchtungsniveau, desto besser die Sehleistung und umso weniger Sehfehler. Der Adaptationsverlauf hängt von den Leuchtdichten zu Beginn und am Ende einer Helligkeitsänderung ab.

Die Zeit der Dunkeladaptation ist länger als die der Helladaptation. Das Auge braucht etwa 30 Minuten um sich von dem Beleuchtungsniveau eines Arbeitsraumes auf

die Dunkelheit bei Nacht im Freien einzustellen. Die Zeit zur Helladaptation beträgt dagegen nur Sekunden.

Die Sehschärfe hängt neben der Adaptionsfähigkeit auch vom Auflösungsvermögen der Netzhaut und von der Qualität der optischen Abbildung ab. Gründe für ungenügende Sehschärfe können Augenfehler sein, wie Kurzsichtigkeit, aber auch eine unzureichende Beleuchtung mit zu geringen Kontrasten oder zu niedrigem Beleuchtungsniveau. Generell wird im Alter mehr Licht gebraucht: Die Linse vergilbt mit den Jahren, Farb- und Tiefenwahrnehmung lassen nach und die Augen adaptieren schlechter. Höhere Beleuchtungsstärken helfen, die schwächere Sehleistung zu kompensieren. Sechzigjährige haben deshalb einen viermal so hohen Lichtbedarf wie Zwanzigjährige.

Der dritte Lichtrezeptor

Aktuelle Studien belegen, dass der natürliche Wechsel von Tageslicht zu Dunkelheit viele biologische Vorgänge im Körper steuert. Licht ist also auch dafür verantwortlich, ob wir gut schlafen und uns am Tag wohlfühlen. Fehlt dieser wichtige Zeitgeber, kommt unsere innere Uhr aus dem Takt. Müdigkeit, Antriebslosigkeit und auch Depressionen können die Folge sein. Eine biologisch wirksame Beleuchtung nimmt die Vorgaben des Tageslichts mit unterschiedlichen Beleuchtungsstärken und dynamisch wechselnden Lichtfarben auf (siehe dazu auch Seite 26f.).

Anfang der Jahrtausendwende entdeckten Wissenschaftler einen dritten Lichtrezeptor in der Netzhaut (= Retina). Diese speziellen

Fotorezeptoren dienen nicht dem Sehen. Sie enthalten das lichtempfindliche Protein Melanopsin und registrieren ausschließlich die Helligkeit in der Umgebung. Besonders empfindlich reagieren sie auf blaues Licht mit einer Wellenlänge von etwa 480 nm. In diesem Fall geben sie das Signal, das Schlafhormon Melatonin zu unterdrücken. Die Morgenhelligkeit sorgt auf diesem Weg für die Wachheit am Tag.

Sehen und Erkennen

Gutes Sehen hat mindestens vier Voraussetzungen:

1. Zum Sehen von Objekten bedarf es einer Mindestleuchtdichte (Adaptationsleuchtdichte). Objekte, die am hellen Tag mühelos auch im Detail zu erkennen sind, verschwimmen in der Dämmerung und sind im Dunkeln schließlich nicht mehr wahrnehmbar.
2. Um ein Objekt erkennen zu können, muss es einen Helligkeitsunterschied gegenüber der unmittelbaren Umgebung aufweisen (Mindestkontrast). In der Regel ist dies gleichzeitig ein Farbkontrast und ein Leuchtdichtekontrast.
3. Objekte müssen eine Mindestgröße haben.
4. Für die Wahrnehmung bedarf es einer Mindestzeit. So sind z. B. langsam anlaufende Räder im Detail zu erkennen, werden bei höheren Umdrehungen aber immer undeutlicher.

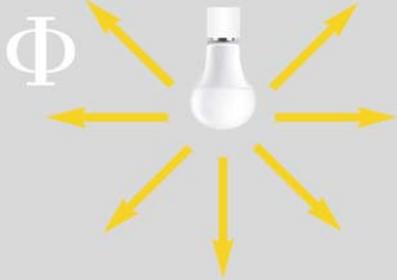
Die Beleuchtungsplanung hat die Aufgabe, durch hohe Leuchtdichten, ausreichende Kontraste und gleichmäßige Beleuchtung im Gesichtsfeld gute Sehbedingungen zu schaffen.



14

Größen und Begriffe der Lichttechnik

Beleuchtungsstärke, Lichtausbeute, Wartungsfaktor: Die Planung einer Beleuchtungsanlage setzt die Kenntnis grundsätzlicher Begriffe und Größen der Lichttechnik voraus.



15

© licht.de

Der Lichtstrom Φ

Der Lichtstrom gibt an, wie viel Licht eine Lichtquelle in alle Richtungen abgibt. Er kennzeichnet die gesamte Lichtleistung und wird in Lumen (lm) gemessen.

Der Lichtstrom wird mit speziellen Messgeräten oder rechnerisch ermittelt. Er gilt als Maßstab für die vom menschlichen Auge $V(\lambda)$ wahrgenommene Gesamthelligkeit eines Leuchtmittels. Einen virtuellen

Durchschnitt nennt DIN 5031-1 mit der V-Lambda-Kurve.

Im Zeitalter effizienter LEDs ersetzt die Lumenangabe zunehmend die Wattzahl, die früher bei der Glühlampe als Maß der Helligkeit galt. Für die Lichtplanung zählt der Leuchtenlichtstrom, der – im Gegensatz zum Lampenlichtstrom – bereits durch das Leuchtendesign bedingte Verluste berücksichtigt.

I



16

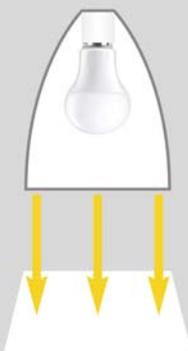
© licht.de

Die Lichtstärke I

Für die Berechnung der Lichtverteilung in einer Beleuchtungsanlage ist die Kenntnis des Lichtstroms nicht ausreichend; hier muss die Verteilung des Lichtstroms pro Raumwinkel bekannt sein. Die Lichtstärke ist also der Teil des Lichtstroms, der in eine bestimmte Richtung strahlt. Sie wird in Candela (cd) gemessen.

Die Lichtstärkeverteilung von Reflektorlampen und Leuchten wird grafisch in einem Polardiagramm dargestellt (Lichtstärkeverteilungskurven, LVK).

E



17

© licht.de

Die Beleuchtungsstärke E

Die Beleuchtungsstärke (E) beschreibt, wie viel Licht auf eine Fläche fällt. Dazu wird der Quotient aus dem Lichtstrom (= Φ) und der beleuchteten Fläche (= A) bestimmt: $E = \Phi/A$. Einheit für die Beleuchtungsstärke ist Lumen pro Quadratmeter; in der Maßeinheit Lux (lx) angegeben.

Die Beleuchtungsstärke lässt sich in jeder virtuellen Ebene im Raum berechnen oder einfach mit einem Luxmeter messen. Im Büroraum liegt die Nutzebene, z. B. der Schreibtisch, horizontal – Lichttechniker sprechen hier von horizontalen Beleuchtungsflächen. Bei Regalwänden oder zur Gesichtserkennung ist dagegen die vertikale Beleuchtungsstärke von Bedeutung.

L



18

© licht.de

Die Leuchtdichte L

Die Leuchtdichte kann vom Auge wahrgenommen werden. Sie bestimmt den Helligkeitseindruck einer Fläche, der von Farbe und Material abhängt. Die Einheit der Leuchtdichte ist cd/m^2 .

Die Leuchtdichte wird in der Außenbeleuchtung als Planungsgröße verwendet. Für vollkommen diffus reflektierende Oberflächen in Innenräumen kann die Leuchtdichte in cd/m^2 aus der Beleuchtungsstärke E in Lux und dem Reflexionsgrad ρ berechnet werden:

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi}$$

Die Lichtausbeute η

Die Lichtausbeute ist das Maß für die Effizienz von Lichtquellen. Sie gibt an, wieviel Energie für einen bestimmten Lichtstrom aufgewendet werden muss und wird in Lumen pro Watt (lm/W) angegeben. Dabei gilt: Je höher dieser Wert, desto effizienter ist das Leuchtmittel. In der Praxis ist allerdings die Effizienz des gesamten Systems aus Lichtquelle, Leuchte, Optiken und Betriebsgeräten entscheidend. Vor allem bei LEDs werden mitunter sehr hohe Lichtausbeute-Werte genannt, die im Labor unter idealen Bedingungen entstanden sind und sich im praktischen Betrieb nicht halten lassen.

Blendung

Blendung ist lästig. Sie kann direkt von Lampen ausgehen oder indirekt von Reflexen auf glänzenden Flächen.

Blendung ist abhängig

- von der Leuchtdichte und Größe der Lichtquelle,
- ihrer Lage zum Betrachter,
- der Helligkeit des Umfeldes und des Hintergrundes.

Durch die richtige Anordnung und Abschirmung der Leuchten und die Auswahl heller

Farben und matter Oberflächenstruktur der Raumflächen kann Blendung so gering wie möglich gehalten werden; ganz zu verhindern ist sie allerdings nicht.

In der Straßenbeleuchtung ist Direktblendung ein Sicherheitsthema und muss vermieden werden. Im Büro geht es vor allem darum, an Bildschirmarbeitsplätzen Reflexblendung im Sinne guter Ergonomie auszuschließen (siehe zum Thema Blendung auch S. 18f.).

Der Reflexionsgrad ρ

Der Reflexionsgrad besagt, wie viel Prozent des auf eine Fläche treffenden Lichtstroms reflektiert wird. Er ist eine wichtige Größe für die Berechnung der Innenraumbeleuchtung.

Dunkle Oberflächen benötigen eine hohe, hellere Oberflächen eine geringere Beleuchtungsstärke, um den gleichen Helligkeitseindruck zu erzeugen.

In der Straßenbeleuchtung ist darüber hinaus auch die räumliche Verteilung des reflektierten Lichtes aufgrund des richtungsabhängigen Reflexionsgrades (zum Beispiel einer abgefahrenen Straßenoberfläche) eine wichtige Planungsgröße.

Wartungswerte der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m bzw. der Leuchtdichte \bar{L}_m

Die Sehaufgaben, die in einem Raum zu leisten sind, sind entscheidend für die Bestimmung der Wartungswerte. Sie sind örtliche Mittelwerte der Beleuchtungsstärke, die zu keinem Zeitpunkt unterschritten werden dürfen (siehe dazu auch Seite 16f.).

Wartungsfaktor WF bei der Lichtplanung

Durch Alterung und Verschmutzung von Lampen, Leuchten und Raum sinkt die Beleuchtungsstärke bzw. die Leuchtdichte im Laufe der Zeit.

Nach den harmonisierten europäischen Normen müssen zwischen Planer und Betreiber Wartungsfaktoren vereinbart und dokumentiert sowie ein Plan zur Wartung der Beleuchtungsanlage festgelegt werden.

Wartungswert und Wartungsfaktor bestimmen den Neuwert: $\text{Wartungswert} = \text{Neuwert} \times \text{Wartungsfaktor}$.

Die Gleichmäßigkeit

Zu große Helligkeitsunterschiede in der Umgebung ermüden die Augen, weshalb eine gewisse Gleichmäßigkeit der Beleuchtung



in der DIN EN 12464 für jede Sehaufgabebefordert ist. Die Gleichmäßigkeit (U_0) beschreibt das Verhältnis der minimalen zur mittleren Beleuchtungsstärke ($U_0 = E_{\min}/E$) bzw. in der Straßenbeleuchtung das Verhältnis der minimalen zur mittleren Leuchtdichte ($U_0 = L_{\min}/L$). DIN EN 12464-1 verlangt z. B. eine Gleichmäßigkeit auf Wänden und Decken von mindestens 0,1.

Lebensdauer

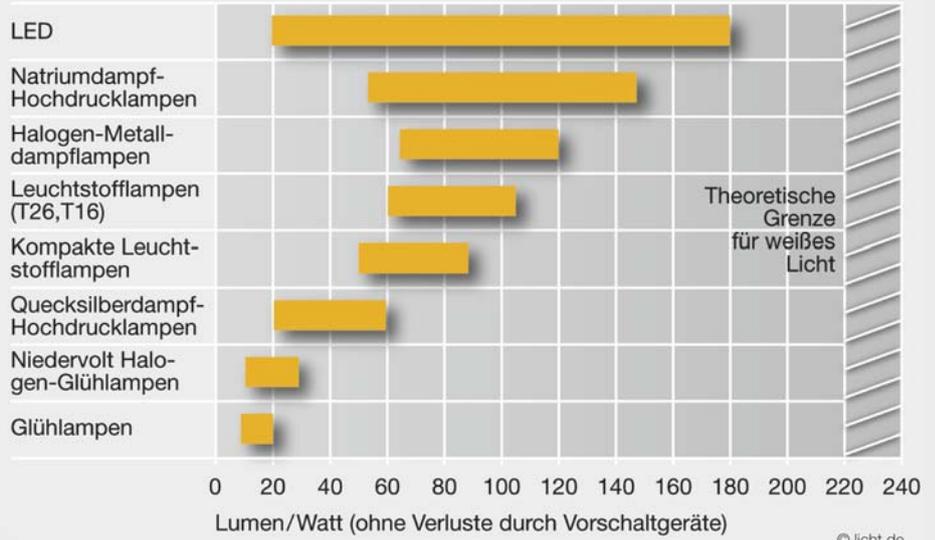
Die Lebensdauer eines Leuchtmittels wird üblicherweise in Stunden angegeben. Sie wird bei LEDs, Hochdruck-Entladungslampen sowie Leuchtstoff- und Kompaktleuchtstofflampen mit Stecksockel mit der **Bemessungslebensdauer** angegeben.

Diese Lichtquellen degradieren, d. h. ihre Helligkeit lässt während der Betriebsdauer nach. Die Bemessungslebensdauer (angegeben mit L) beschreibt deshalb, nach welcher Zeit der Lichtstrom des Leuchtmittels auf den angegebenen Wert gesunken ist. Für die Allgemeinbeleuchtung gelten zum Beispiel Werte von L_{80} oder L_{70} . So ist die mittlere Bemessungslebensdauer einer LED erreicht, wenn der Lichtstrom noch 70 Prozent seines Neuwertes erreicht.

Degradation und Totalausfall einer LED hängen im Wesentlichen vom Durchlassstrom und der Temperatur im Inneren der LED ab; bei Modulen sind zusätzlich die elektrische Verschaltung der LED, die Umgebungs- und Betriebstemperatur sowie weitere Moduleigenschaften zu beachten.

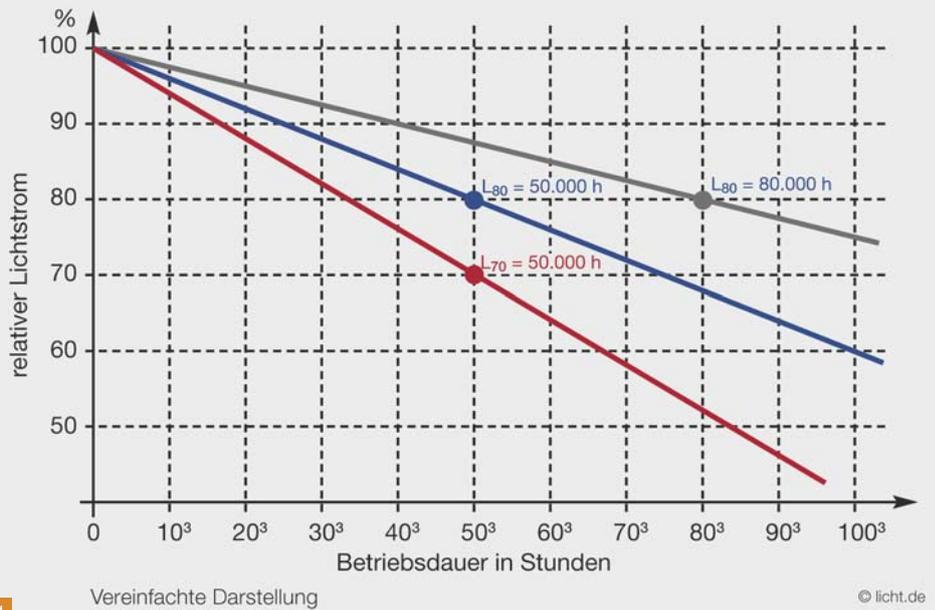
 Weitere Informationen speziell zur LED gibt der ZVEI-Leitfaden „Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung“ (Download bei www.licht.de).

Effizienz der Lichtquellen



20

Definition der Lebensdauer



21

[20] Moderne Lichtquellen werden immer effizienter. Farbige LEDs erreichen im Labor schon Werte bis zu 300 Lumen/Watt.

[21] LEDs (und fast alle Entladungslampen) fallen meist nicht aus, ihre Lichtleistung nimmt mit der Zeit aber ab. Die Lebensdauer wird mit L_x angegeben. Typische Beispiele für den Anteil x (in %) des Bemessungslichtstroms sind z. B. 70 oder 80 Prozent (= L_{70} oder L_{80}) bei einer bestimmten Bemessungslebensdauer von etwa 50.000 Stunden und einer Umgebungstemperatur von 25° C der Leuchte.

Normen für die Beleuchtung

Normen nennen grundsätzliche Anforderungen an die Beleuchtung. Die meisten Normen gelten als EN heute europaweit. Wichtige europäische Normen sind:

- DIN EN 12464 zur Beleuchtung von Arbeitsstätten
- DIN EN 13201 zur Straßenbeleuchtung
- DIN EN 12193 zur Sportstättenbeleuchtung
- DIN EN 1838 zur Notbeleuchtung
- DIN EN 12665 zu grundlegenden Begriffen und Kriterien für die Beleuchtung.

Gütemerkmale der Beleuchtung

Lichttechnische Gütemerkmale beschreiben die Qualität einer Beleuchtung. „Gute Beleuchtung“ zeichnet sich dadurch aus, dass möglichst alle Gütemerkmale berücksichtigt sind – auch neue Anforderungen wie Tageslicht-Integration und Energieeffizienz.

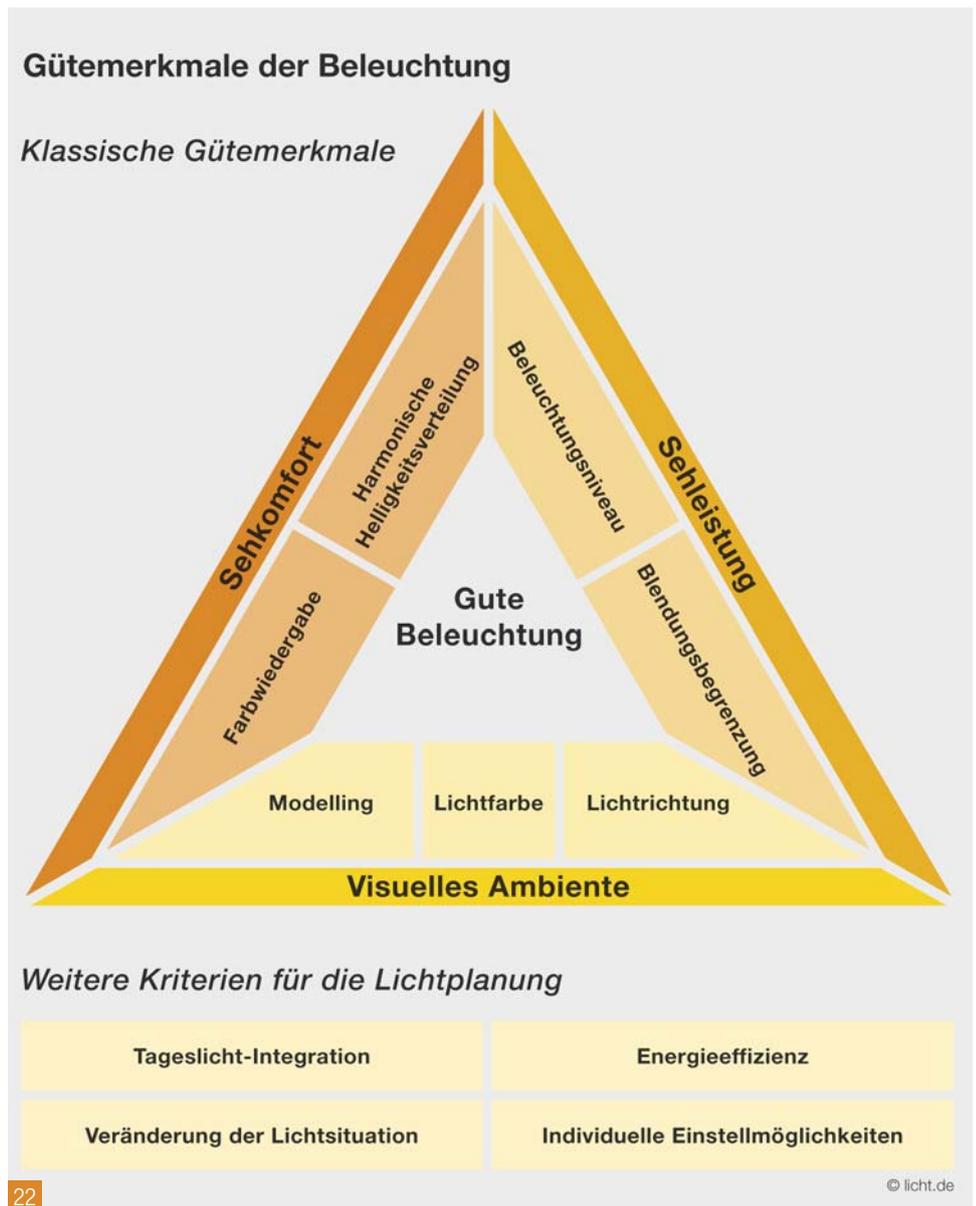
Die Anforderungen an die Beleuchtungsqualität werden durch die Sehaufgaben bestimmt, die das menschliche Auge meistern muss. Lesen, diffizile Montagearbeiten, Autofahren bei Nacht oder Arbeit am Computer: Die Sehaufgaben variieren je nach Tätigkeit – und jede Situation stellt spezielle Anforderungen an die Beleuchtung.

Die klassischen Gütemerkmale der Beleuchtung lassen sich in drei grundsätzliche Gütemerkmale gliedern, die je nach Raumnutzung und gewünschtem Erscheinungsbild unterschiedlich gewichtet werden: Sehleistung, Sehkomfort und visuelles Ambiente. Dabei gilt:

- Die Sehleistung wird durch das Beleuchtungsniveau und die Begrenzung von Direkt- und Reflexblendung beeinflusst.
- Sehkomfort wird gewährleistet durch eine gute Farbwiedergabe und eine harmonische Helligkeitsverteilung im Raum.
- Das visuelle Ambiente wird bestimmt durch Lichtfarbe, Lichtrichtung und Modelling.

Gute Beleuchtung kann durch natürliches oder künstliches Licht oder durch eine Kombination von beiden erzielt werden. Aktuelle Anlagen berücksichtigen weitere Gütemerkmale (siehe Abb. 22) und nehmen Bezug auf visuelle, emotionale und biologische Wirkungen von Licht. Wichtige Merkmale sind:

- ein angemessenes Beleuchtungsniveau,
- eine harmonische Helligkeitsverteilung,
- Begrenzung von Direktblendung und Reflexionen,
- Lichtrichtung und Modelling, um Strukturen zu erkennen,
- Lichtfarbe und Farbwiedergabe,
- Flimmerfreiheit sowie
- die Möglichkeit der Veränderung von Beleuchtungsniveau und Lichtfarbe.



Gute Beleuchtungsanlagen zeichnen sich zudem durch hohe Energieeffizienz aus. Allerdings gilt auch nach DIN EN 12464-1: Die Lichtqualität darf nicht reduziert werden, um den Energieverbrauch zu senken.

[22] Normen nennen Gütemerkmale, die in der Summe die Qualität einer Beleuchtungsanlage bestimmen. Sie müssen bei der Planung berücksichtigt werden.

Beleuchtungsniveau und Wartungswert

Gutes Sehen setzt eine ausreichende Helligkeit voraus. Normen beschreiben Mindestanforderungen für die Beleuchtung in Innen- und Außenbereichen und nennen Wartungswerte.

Das Beleuchtungsniveau hat einen großen Einfluss darauf, wie schnell, sicher und wie leicht eine Sehaufgabe – zum Beispiel bei der Arbeit am Computer oder beim Autofahren – von den Augen bewältigt werden kann. Maßgebliche Faktoren sind die Beleuchtungsstärke bzw. die Leuchtdichte und die Reflexionseigenschaften der beleuchteten Flächen. Als Maß für den Helligkeitseindruck, der wesentlich von den vertikalen Beleuchtungsstärken abhängt, dient die zylindrische Beleuchtungsstärke. Sie wird insbesondere genutzt, um die Erkennbarkeit von Gesichtern zu bewerten.

Bei der Planung ist zu berücksichtigen, dass dunkle Flächen mehr Licht „schlucken“ als helle Oberflächen. Deshalb gilt: Je geringer die Reflexionsgrade sind und je schwieriger die Sehaufgabe, desto höher muss die Beleuchtungsstärke sein. Einige Beispiele für Reflexionsgrade:

- weiße Wände bis 85 Prozent
- helle Holzverkleidung bis 50 Prozent
- rote Ziegelsteine bis 25 Prozent.

Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte

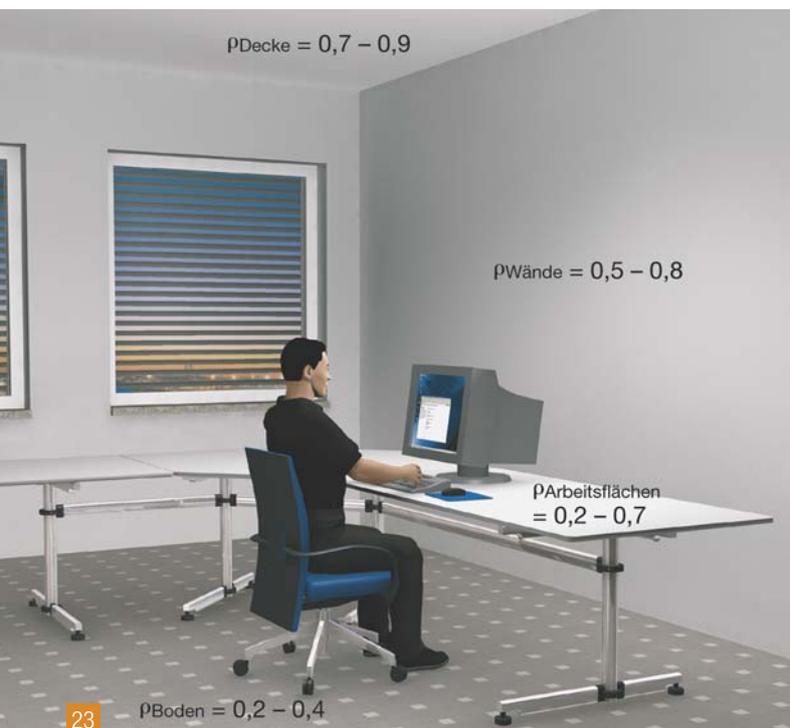
Die Beleuchtungsstärke, gemessen in Lux (lx), ist der wichtigste beleuchtungstechnische Planungswert. Sie beeinflusst Anzahl und Charakteristik der Lampen und Lichtquellen, die eingesetzt werden – und damit auch den Energieaufwand der Beleuchtung. Die Beleuchtungsstärke ist die relevante Planungsgröße sowohl für Innen- als auch für Außenräume.

Einzige Ausnahme: Bei der Bewertung von Straßen, die mit Geschwindigkeiten über 30 km/h befahren werden – zum Beispiel Hauptverkehrsstraßen oder Tunnel –, wird die Leuchtdichte L herangezogen.

Grund sind die genormten Reflexionseigenschaften der Fahrbahnbeläge sowie die Festlegung des Beobachterstandortes: Der Kraftfahrer sieht das von der „gesehenen Fahrbahnfläche“ in seine Richtung reflektierte Licht – die material- und richtungsabhängige Leuchtdichte, gemessen in Candela pro Quadratmeter (cd/m^2).

[23] Empfohlene Reflexionsgrade ρ von Wänden, Boden, Decke und Arbeitsfläche nach DIN EN 12464-1.

[24] Bei der Straßenbeleuchtung sind Leuchtdichten entscheidend: Der Verkehrsteilnehmer nimmt das von der Straßenoberfläche reflektierte Licht als Leuchtdichte wahr.



Wartungswert

Die Beleuchtungsstärke lässt mit den Jahren nach, da Leuchten, Lichtquellen und Räume altern und verschmutzen. Für Beleuchtungsanlagen werden deshalb Wartungswerte definiert bzw. Beleuchtungsstärken in den relevanten Normen je nach Raumart, Aufgabe oder Tätigkeit empfohlen. Dieser Wartungswert (\bar{E}_m) kennzeichnet den Wert, den die mittlere Beleuchtungsstärke zu keinem Zeitpunkt unterschreiten darf, unabhängig von Alter und Zustand der Beleuchtungsanlage. So ist sichergestellt, dass auch nach jahrelangem Betrieb die Mindestwerte der Beleuchtungsstärke für alle anfallenden Sehaufgaben eingehalten werden. Der Wartungsplan, den der Lichtplaner erstellen muss, definiert den Zeitpunkt der Wartung.

Um die Abnahme der Beleuchtungsstärke zu kompensieren, werden Neuanlagen mit höheren Beleuchtungsstärken (= Neuwert) projektiert. In der Planung wird die Abnahme mit dem Wartungsfaktor erfasst: $\text{Wartungswert} = \text{Wartungsfaktor} \times \text{Neuwert}$.

Wartungsfaktor

Der Wartungsfaktor kann individuell ermittelt werden. Er hängt von der Art der Lampen und der Leuchten, der Staub- und Verschmutzungsgefahr des Raums bzw. der Umgebung sowie von der Wartungsmethode und dem Wartungsintervall ab. Häufig sind zum Zeitpunkt der Beleuchtungsplanung die betriebsbedingten Einflüsse auf die Abnahme der Beleuchtungsstärke nicht ausreichend bekannt, so dass bei einem Wartungsintervall von drei Jahren ein Wartungsfaktor von 0,67 (in saubereren Räumen) bzw. von bis zu 0,5 (in schmutzigen Räumen) anzusetzen ist.

Das Wartungsprogramm – die Intervalle zum Reinigen und Wechseln der Lichtquellen und Wartung der Anlage – muss dokumentiert sein.

Berechnungsebene

In der Regel wird die Fläche, auf der die Beleuchtungsstärke realisiert werden soll, als Berechnungsebene herangezogen.

Empfehlung für Büroarbeitsplätze: 0,75 m, für Verkehrsflächen maximal 0,1 m über dem Boden.

Die Beleuchtungsstärke ist einfach messbar, ihre Berechnung relativ unkompliziert. Einen höheren Planungs- und Messaufwand erfordert die Bestimmung der Leuchtdichte für die Straßenbeleuchtung. Sie ist abhängig vom Lichtstrom der eingesetzten Lichtquellen, von der Lichtstärkeverteilung der Leuchten, der Geometrie der Beleuchtungsanlage sowie den Reflexionseigenschaften des Straßenbelages.

[25] Der Wartungswert kennzeichnet den Wert, den die Beleuchtungsstärken während der Betriebszeit einer Anlage nicht unterschreiten dürfen; im Beispiel beträgt das Wartungsintervall drei Jahre.

Normen nennen Wartungswerte

Gütemerkmale der Beleuchtung sowie die erforderlichen Wartungswerte der Beleuchtung für verschiedene Sehaufgaben oder Tätigkeiten sind in den relevanten Normen aufgeführt. Von hoher Bedeutung ist zum Beispiel DIN EN 12464-1 für Arbeitsstätten in Innenräumen sowie DIN EN 12464-2 für Arbeitsstätten im Freien. Beispiele für Wartungswerte in Innenräumen:

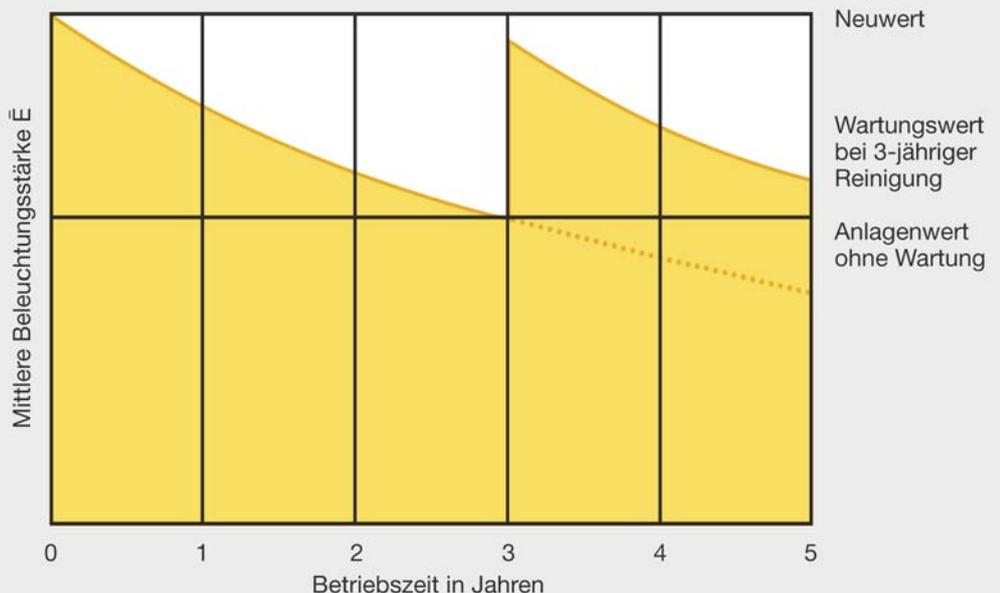
Büro	500 lx
Operationsfeld	bis 100.000 lx
Verkehrsflächen	100 lx

Gütemerkmale der Straßenbeleuchtung sind in DIN EN 13201-2 aufgeführt.

Empfehlungen:

Anliegerstraße	7,5 lx
Hauptverkehrsstraße	1,5 cd/m ²
Parkplatz	15 lx

Wartungswert der Beleuchtungsstärke



Direktblendung begrenzen

Blendung wird durch (zu) helle Flächen im Gesichtsfeld hervorgerufen. Sie kann Sehleistung und Wohlbefinden erheblich beeinträchtigen und muss deshalb begrenzt werden.

Blendung verschlechtert die Sehbedingungen und führt auf Dauer zu Ermüdung und nachlassender Konzentration. Um Fehler und Unfälle an Arbeitsplätzen und im Straßenverkehr zu vermeiden, ist es wichtig, Blendung zu begrenzen.

Experten unterscheiden zwischen zwei Arten von Blendung:

- **Physiologische Blendung** setzt direkt das Sehvermögen herab, etwa beim Blick in einen Scheinwerfer.
- **Psychologische Blendung** bezieht sich auf Störimpfindungen. So können helle Fenster oder Leuchten sehr störend wirken, ohne dass die Sehleistung unmittelbar beeinträchtigt ist. Allerdings erzeugt psychologische Blendung vor allem bei längeren Aufenthalten im Raum ein unangenehmes Gefühl. Die Folge: Der Mensch ermüdet vorzeitig, allgemeines Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit lassen nach.

Physiologische Blendung, die in der Straßenbeleuchtung z. B. durch entgegenkommende Fahrzeuge verursacht werden kann, gibt es in der Innenraumbeleuchtung eher selten. Hier spielt die psychologische Blendung eine Rolle. Diese ist in DIN EN 12464-1 als Direktblendung gekennzeichnet und über einen UGR-Blendwert begrenzt.

- **Direktblendung** wird unmittelbar durch Leuchten oder leuchtende Flächen hervorgerufen.
- **Reflexblendung** entsteht durch Spiegelungen auf glänzenden Oberflächen (siehe dazu Seite 20f.).

Lichtquellen sind durch Raster und spezielle Reflektoren abgeschirmt bzw. durch Linsen und Mikroprismen abgedeckt und bieten damit Blendschutz; Fenster sollten verschattet werden können.

Blendungsbewertung nach dem UGR-Verfahren

In der Innenraumbeleuchtung wird die psychologische Blendung nach der europäi-

schen Norm DIN EN 12464-1 nach einer Blendformel beurteilt, dem vereinheitlichten UGR-Verfahren (Unified Glare Rating). Diese berücksichtigt alle Leuchten der Anlage, die zu einem Blendeindruck beitragen. Dank moderner Planungsprogramme kann der UGR-Wert für bekannte Standorte im Raum und unterschiedliche Blickrichtungen berechnet werden. Für überschlägige Berechnungen, ob eine Beleuchtungsanlage blenden könnte, eignet sich die UGR-Tabelle, die von Leuchtenherstellern in Katalogen oder Datenbanken zur Verfügung gestellt wird.

Das UGR-Verfahren kann auch bei LED-Leuchten herangezogen werden, sofern die einzelnen LEDs gut abgeschirmt sind.

$$UGR = 8 \log \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \Omega}{p^2}$$

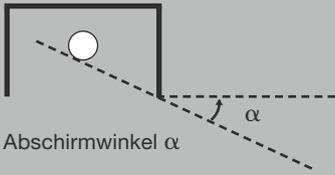
Das TI-Verfahren in der Straßenbeleuchtung

Jeder Autofahrer weiß, wie gefährlich Blendung im Straßenverkehr sein kann. Die wirksame Begrenzung der physiologischen Blendung dient der Sicherheit und ist ein wichtiges Kriterium guter Beleuchtung im Außenraum.

In der Straßenbeleuchtung wird die physiologische Blendung nach dem TI-Verfahren (Threshold Increment) bewertet. Bei der Blendungsbewertung wird von einer vorgegebenen Blickrichtung des Verkehrsteilnehmers ausgegangen. Der TI-Wert gibt an, um wie viel Prozent die Sehschwelle durch Blendung erhöht wird. Diese Sehschwelle ist der Leuchtdichteunterschied, bei dem ein Objekt gerade noch vor seinem Hintergrund erkannt wird. DIN EN 13201 nennt Richtwerte.

Die prozentuale Schwellenerhöhung TI wird nach folgender Formel berechnet:

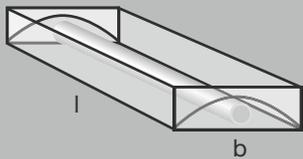
$$\frac{TI}{\%} = \frac{\Delta L_{BL} - \Delta L_0}{\Delta L_0} \cdot 100$$



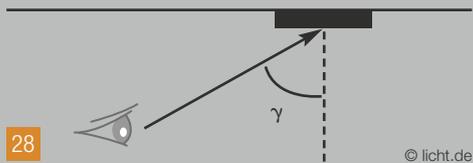
26

Abschirmung und Leuchtdichte

Abschirmung [26]: Zu helle Lichtquellen im Gesichtsfeld können Blendung hervorrufen. Deshalb sind Lampen/ Lichtquellen in geeigneter Weise abzuschirmen. Für Leuchten, die unten offen bzw. mit klarer Abdeckung versehen sind, ist der Abschirmwinkel als der Winkel zwischen der horizontalen Ebene und der Blickrichtung, unter der die leuchtenden Teile der Lampen in der Leuchte gerade sichtbar werden, definiert.



27



28

Leuchtdichte ermitteln [27+28]: Die mittlere Leuchtdichte einer Leuchte wird für die Bewertung der Blendung nach dem UGR-Verfahren verwendet und über die Lichtaustrittsfläche ermittelt. Sie errechnet sich aus der Lichtstärke in Richtung des Blickwinkels (γ) und der unter diesem Winkel γ sichtbaren Fläche $l \cdot b \cdot \cos \gamma$ und wird in cd/m^2 angegeben.

$$\text{Leuchtdichte: } \frac{l}{l \cdot b \cdot \cos \gamma}$$

[29] Das UGR-Verfahren berücksichtigt alle Leuchten der Anlage, die zu einem Blendeeindruck beitragen sowie die Helligkeit von Wänden und Decken. Das Ergebnis führt zu einem UGR-Wert.

[30] Um Blendung durch helle Lichtquellen zu vermeiden, sollten Lampen abgeschirmt werden. Die Tabelle nennt Mindestabschirmwinkel. Die Werte gelten nicht für Leuchten, die unterhalb der Augenhöhe montiert werden, sowie für Leuchten mit einem Lichtaustritt in den oberen Halbraum.



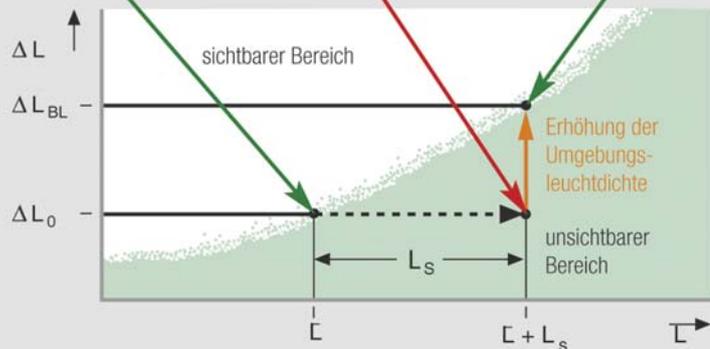
29

Mindestabschirmwinkel nach DIN EN 12464-1

Lampenleuchtdichte in cd/m^2	Mindestabschirmwinkel α
20.000 bis < 50.000 z. B. Leuchtstofflampen (High Output), Kompaktleuchtstofflampen	15°
50.000 bis < 500.000 z. B. Hochdruckentladungslampen, LEDs	20°
≥ 500.000 z. B. Hochdruckentladungslampen, Glühlampen mit klarem Kolben, Hochleistungs-LEDs	30°

30

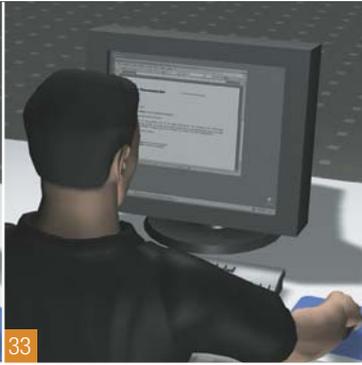
Erhöhung der Umgebungsleuchtdichte



Nachts stellt sich das Auge bei einer blendfreien Straßenbeleuchtung auf die mittlere Fahrbahnleuchtdichte (L) ein. Personen oder Gegenstände auf der Fahrbahn werden dann erkennbar, wenn sie sich gegenüber ihrer Umgebung durch einen Leuchtdichteunterschied von ΔL_0 abheben. Kommen zu dieser Situation Blendlichtquellen – z. B. durch entgegenkommende Autos –

hinzu, erzeugen sie ein Streulicht bzw. eine Art „Schleier“ auf der Netzhaut. Das Auge versucht, die Blendung bzw. die „Schleierleuchtdichte“ (L_s) auszugleichen und passt sich an ein höheres Niveau $L + L_s$ an. Dadurch werden Objekte auf der Fahrbahn nicht mehr wahrgenommen. Durch eine Erhöhung der Umgebungsleuchtdichte von ΔL_0 auf ΔL_{BL} werden diese wieder sichtbar.

31



Reflexblendung vermeiden

Reflexblendung beeinträchtigt vor allem das Kontrastsehen und führt zu ähnlichen Störungen wie Direktblendung.

Störungsfreies Sehen setzt voraus, dass Kontraste – also Leuchtdichteunterschiede – vorhanden sind. So ist zum Beispiel ein Text am Computer nur dann gut lesbar, wenn zwischen den Buchstaben und dem Bildschirmhintergrund ein deutlicher Kontrast besteht.

Spiegelt sich jedoch das Licht von Leuchten oder Fensterflächen auf glänzenden Oberflächen, führt dies zu einer Kontrastminderung und mit zunehmenden Leuchtdichten zu Reflexblendung. Die Folge: Die Augen leisten Schwerstarbeit und ermüden rasch; die Konzentration lässt nach, Kopfschmerzen und Schwindelgefühle können auftreten.

Blendung reduzieren

Reflexblendung lässt sich durch entsprechende Maßnahmen vermeiden oder wirkungsvoll reduzieren:

- Richtige Auswahl und Anordnung von Lichtquellen und Leuchten.
- Richtige Anordnung von Arbeitsplätzen, sodass Licht hauptsächlich von der Seite auf den Schreibtisch fällt.
- Einrichtung von Innenräumen mit vorzugsweise matten hellen Oberflächen.

Zur Beurteilung der Reflexblendung auf horizontalen glänzenden Flächen (Lese- und Schreibvorlagen) wird der Kontrastwiedergabefaktor CRF (contrast rendering factor) verwendet, der mit entsprechender Software berechnet werden kann. Bei üblichen

Büroarbeiten ist ein Mindestwert von $CRF = 0,7$ ausreichend; bei Arbeiten mit hochglänzenden Materialien ist ein höherer Wert erforderlich.

Bildschirmarbeitsplätze

Die Werte für Leuchtdichten, die sich in Bildschirmen spiegeln und dort Reflexionen verursachen können, hängen von den verwendeten Bildschirmen ab. Moderne Bildschirme mit hohen Hintergrundleuchtdichten und guter Entblendung erlauben deutlich höhere Leuchtdichtegrenzwerte.

Die Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen muss nach DIN EN 12464-1 so geplant werden, dass sie allen Sehaufgaben am Arbeitsplatz gerecht wird. Moderne Bildschirme mit Leuchtdichten $L \geq 200 \text{ cd/m}^2$ können auch relativ hohe Leuchtdichten bis 3.000 cd/m^2 verkraften. Allerdings sollten Planer Art und Anordnung der Leuchten so auswählen, dass keine störenden Reflexionen entstehen.

Der Grenzwert für Leuchtdichten bei üblicherweise verwendeten Bildschirmeinstellungen beträgt 1.500 cd/m^2 oberhalb eines Ausstrahlungswinkels γ von 65° . Bildschirme mit hochglänzenden Oberflächen sind allerdings kritisch, da sich darin schon ein weißes Hemd spiegelt. Sie sollten im Büro nicht verwendet werden. Weiterhin gilt: Büroräume mit Bildschirmarbeitsplätzen müssen über einen verstellbaren Blendenschutz am Fenster verfügen.

[32 + 33] Reflexblendungen auf dem Bildschirm, ausgelöst durch freistrahkende Leuchten, Sonnenstrahlen oder Spiegelungen, beeinträchtigen die Sehleistung und müssen vermieden werden.

[34 + 35] Reflexblendungen stören auch die Lesbarkeit von Büchern und Dokumenten. Leuchten mit direkt/indirekten Lichtanteilen und ihre richtige Anordnung im Raum, guter Blendschutz und die richtige Positionierung von Arbeitsplätzen tragen wesentlich dazu bei, Spiegelungen zu vermeiden.

[36] Moderne Bildschirme vertragen deutlich höhere Leuchtdichten als ihre Vorläufer. DIN EN 12464-1 beschreibt die zulässigen Grenzwerte zur Vermeidung von Reflexblendung.

[37] Für Bildschirme mit einer Hintergrundleuchtdichte $L \leq 200 \text{ cd/m}^2$ (typisch für Büros mit normaler Tageslichtversorgung und herkömmlichen Flachbildschirmen) sind Leuchten-Leuchtdichten bis 1.500 cd/m^2 zulässig.

[38] Für Bildschirme mit einer Hintergrundleuchtdichte $L > 200 \text{ cd/m}^2$ (typisch für Büros mit guter bis sehr guter Tageslichtversorgung und entsprechend angepassten Flachbildschirmen) sind Leuchten-Leuchtdichten bis 3.000 cd/m^2 zulässig.

Harmonische Helligkeitsverteilung

Zu starke Helligkeitsunterschiede ermüden und stören das Wohlbefinden, weil sich die Augen immer wieder anpassen müssen. Ebenso unangenehm wie große Kontraste sind zu geringe Unterschiede der Leuchtdichte; sie lassen einen Raum schnell monoton wirken.

Die beste Lösung ist eine harmonisch ausgewogene Helligkeitsverteilung, in der sich Sehobjekte in ihrer Leuchtdichte (Kurzzeichen: L) von der Umgebung differenziert absetzen.

Mit Blick auf die Sicherheit fordert nicht nur DIN EN 13201 für Verkehrsstraßen eine gleichmäßige Ausleuchtung der Fahrbahn und die Vermeidung von Dunkelzonen. Große Helligkeitsunterschiede sind in Innenräumen ebenfalls zu vermeiden, um zum Beispiel in Industriehallen Gefahren rechtzeitig zu erkennen. Auch die europäische DIN EN 12464-1 empfiehlt deshalb für Arbeitsplätze in Innenräumen eine ausgewogene Verteilung der Leuchtdichten, die wesentlich zu Sehleistung und Sehkomfort beitragen.

Beleuchtungsstärke auf den Oberflächen bestimmt. Empfohlene Reflexionsgrade sind nach DIN EN 12464-1 (siehe dazu auch Abb. 23, Seite 16):

- Decke: 0,7 bis 0,9
- Wände: 0,5 bis 0,8
- Boden: 0,2 bis 0,4

Weiterhin sollte darauf geachtet werden, dass sich zwischen Arbeitsfeld und nahem Umfeld keine größeren Leuchtdichteverhältnisse als etwa 3:1 ergeben. Das Leuchtdichteverhältnis zwischen Arbeitsfläche und weiter entfernten Flächen sollte maximal 10:1 betragen.

Für eine harmonische Helligkeitsverteilung, etwa in Büroräumen, sorgt eine Beleuchtung, die abgestimmt ist auf Farbgebung und Oberflächen der Raumausstattung. Wichtige Kriterien sind dabei:

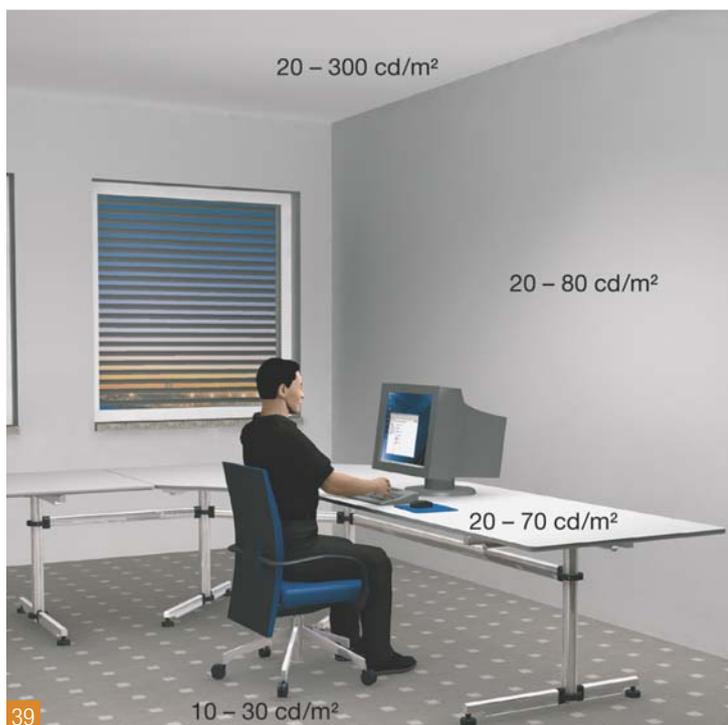
- Eine arbeitsplatz- oder raumbezogene Beleuchtung
- Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungs-

[39] Die Beleuchtungsstärke im Raum sagt noch nichts über eine harmonische Helligkeitsverteilung aus. Diese ergibt sich erst bei Leuchtdichtewerten (cd/m^2) wie in diesem Beispiel.

[40] Auch eine Straße sollte gleichmäßig und damit „sicher“ beleuchtet sein, was nicht „langweilig“ heißen muss.

Ausgewogene Leuchtdichten

Dazu müssen die Leuchtdichten aller Oberflächen beachtet werden. Sie werden vom Reflexionsgrad der Oberflächen und der



stärke auf einer Fläche (= U_0 als Verhältnis der minimalen zur mittleren Beleuchtungsstärke), wie in DIN EN 12464-1 gefordert. Diese kann durch indirekte Anteile der Beleuchtung verbessert werden.

- Helle Wände mit guten Reflexionsgraden.

DIN EN 12464-1 empfiehlt in Räumen mit hoher visueller Kommunikation

- Wände mit mindestens 75 Lux und
- Decken mit mindestens 50 Lux zu beleuchten. Höhere Beleuchtungsstärken sind in beiden Fällen besser, weil sie den Sehkomfort erhöhen.

[41] Eine gute Straßenbeleuchtung vermittelt Sicherheit und eine angenehme Stimmung.

[42 – 47] Für den Sehkomfort in Innenräumen ist eine harmonische Helligkeitsverteilung wichtig. Auf Fahrbahnen wird Sicherheit durch eine gute Längsgleichmäßigkeit – die einer harmonischen Helligkeitsverteilung entspricht – erzielt.



41



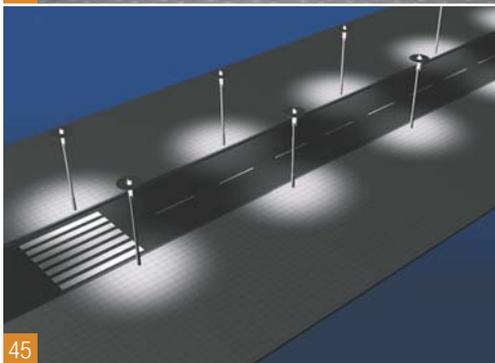
42



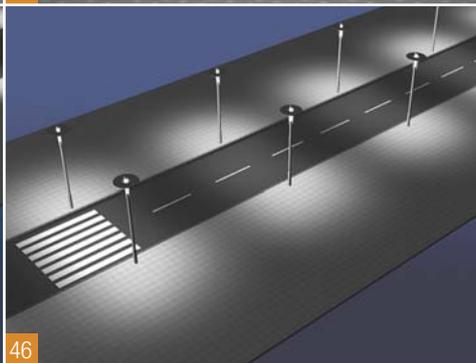
43



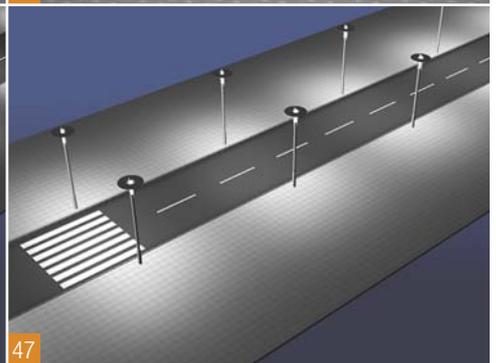
44



45



46



47



48

Lichtrichtung und Modelling

Ohne Licht können wir keine Gegenstände sehen, ohne Schatten sind Gegenstände nur zweidimensionale Bilder. Erst die richtige Verteilung von Licht und Schatten garantiert, dass Gesichter und Gesten, Oberflächen und Strukturen gut erkannt werden können.

[48] Gerichtetes Licht und die richtige Verteilung von Licht und Schatten modellieren die Details der Figuren.

[49 + 50] Störende Schattenbildungen sind zu vermeiden, wenn – bei Rechtshändern – das Licht vorwiegend von links oben einfällt; bei Linkshändern entsprechend von rechts oben.

[51] Um eine zu harte Schattenbildung in Sporthallen zu vermeiden, werden Leuchten so angeordnet, dass ihre Lichtbündel die Schatten gegenseitig aufhellen.

Ein angenehmes Lichtklima entsteht, wenn Menschen, Architektur und Raummöblierung so beleuchtet werden, dass Formen und Oberflächenstrukturen gut erkennbar sind: Entfernungen können einfach abgeschätzt werden, die Orientierung im Raum wird erleichtert.

Eine Mischung aus diffusem Licht (etwa durch indirekte Lichtanteile an Wänden und Decken) und gerichtetem Licht (etwa durch direktstrahlende Leuchten oder Downlights) erzielt beste Sehergebnisse und trägt zu einem angenehmen visuellen Klima bei. Umgekehrt gilt: Ein heller Raum mit ausschließlich diffusem Licht ohne Schattenbildung wirkt monoton, die fehlende Orientierung verursacht Unbehagen. Im Gegensatz dazu bilden punktförmige Lichtquellen mit extrem gerichtetem Licht tiefe Schatten mit harten Schattenrändern. In diesen „Schlagschatten“ ist dann fast nichts mehr zu erkennen. So können optische Täuschungen entstehen, die oftmals

eine Gefahrenquelle darstellen, zum Beispiel im Umgang mit Werkzeugen oder Maschinen oder auch bei falscher Treppebeleuchtung.

Visuelle Kommunikation

Eine gute visuelle Kommunikation setzt voraus, dass Gegenstände und Gesichter einfach und schnell erkannt werden. In Räumen, in denen sich Menschen bewegen und arbeiten, fordert DIN EN 12464-1 deshalb eine mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke \bar{E}_z von mindestens 50 Lux. In Bereichen, in denen eine gute visuelle Kommunikation besonders wichtig ist, etwa an Rezeptionen, in Shops und Schule oder in Konferenzräumen, sind 150 Lux als Mittelwert empfehlenswert.

Als wichtiges Gütemerkmal für die plastische Wahrnehmung von Menschen und Gegenständen nennt DIN EN 12464-1 das Modelling. Es beschreibt das Verhältnis zwischen zylindrischer und horizontaler



49

50

Beleuchtungsstärke in einem Punkt und sollte in einem Intervall zwischen 0,30 und 0,60 liegen.

Lichtrichtung

Gerichtetes Licht kann Sehdetails betonen. Starke und störende Schatten, zum Beispiel durch mehrere punktförmige Lichtquellen, sollten aber vermieden werden. Die Lichtrichtung wird meist durch das Tageslicht bestimmt, das aus einer bestimmten Richtung durch Fenster in den Raum fällt. Zu starke Schattenbildung, etwa vor der schreibenden Hand, kann durch künstliche Beleuchtung ausgeglichen werden.

In einem Büroraum mit einer nach dem Tageslicht ausgerichteten Anordnung der Arbeitsplätze empfiehlt es sich, den Tageslichteinfall durch Jalousien zu kontrollieren und störende harte Schatten mit getrennt zu schaltenden Lichtbändern aufzuhellen. So kann bei einer Anordnung der Leuchten parallel zum Fenster tagsüber die hintere Leuchtenreihe eventuelle Schlagschatten kompensieren.

Im Sport ist bei schnellen Ballspielen, wie Tennis oder Squash, auf ausreichende Schatten zu achten, damit Flugbahn und Geschwindigkeit rechtzeitig erkannt und eingeschätzt werden können.



51



52

warmweiß (ww)
2.700 – 3.300 Kelvin

neutralweiß (nw)
3.300 – 5.300 Kelvin

tageslichtweiß (tw)
über 5.300 Kelvin

◀ wohliches Licht

funktionales Licht ▶

Lichtfarbe – von warm bis kühl

Der Mensch erlebt seine Umwelt nicht nur durch Licht und Schatten, sondern auch durch Farben. Die Lichtfarbe eines Leuchtmittels bestimmt zudem den Raumeindruck und ist ein wichtiges Kriterium bei der Planung einer biologisch wirksamen Beleuchtung.

Das Licht jeder Lichtquelle besitzt eine Eigenfarbe, die sogenannte Lichtfarbe. Sie wird beschrieben durch die Farbtemperatur, gemessen in Kelvin (K). Dabei gilt: Je höher der Temperaturwert, desto kühlweißer die Lichtfarbe. Die Kelvin-Temperaturskala beginnt beim absoluten Nullpunkt (0 Kelvin = -273,15° C).

Farbtemperatur bestimmen

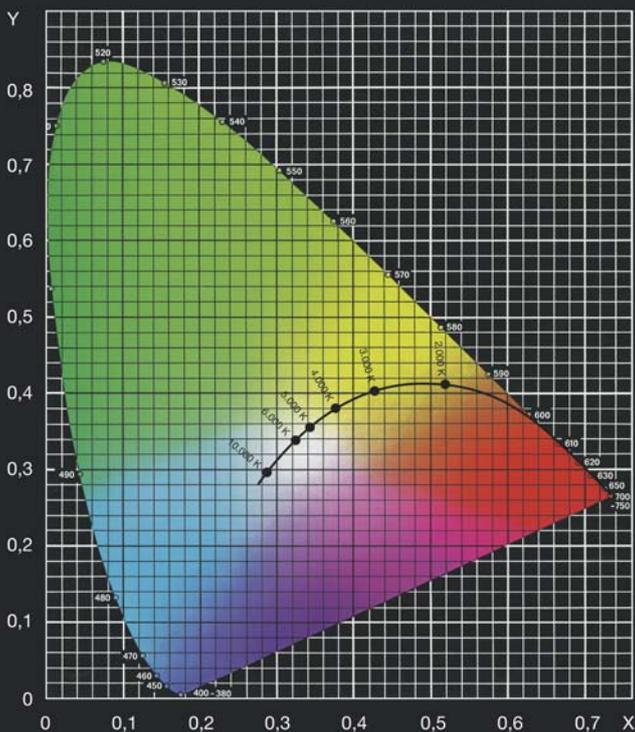
Erhitzt man zum Beispiel den Wolframfaden einer Glühlampe, so leuchtet er erst rötlich, dann gelblich und schließlich weiß. Der Physiker Max Planck hat für diese Art von Strahlung, die sogenannte Temperaturstrahlung, eine mathematische Formel entwickelt. Mit ihrer Hilfe lassen sich auch Lichtfarben oberhalb der Schmelztemperatur von Wolfram beschreiben.

Zur Bestimmung der Farbtemperatur wird der Farbeindruck einer Lampe im menschlichen Auge mit jenem eines ideal glühenden

Materials (= schwarzer Strahler bzw. Plank'scher Strahler) verglichen, dessen Lichtfarbe durch seine Temperatur bestimmt wird. Wird ein solcher Plank'scher Strahler erhitzt, durchläuft er eine Farbskala von Rot, Orange, Gelb und Weiß bis zu hellblau. Zur übersichtlichen Darstellung des wahrnehmbaren Farbraums hat die internationale Beleuchtungskommission CIE eine zweidimensionale Normfarbtafel entwickelt. Dieses Koordinatensystem enthält auf einer hufeisenförmigen Kurve alle Spektralfarben; die Black-Body-Kurve alle Farbtemperaturen von weißem Licht. In der Mitte liegt der Weißpunkt W (= Unbunt). Hier sind alle Farben zu gleichen Anteilen vorhanden ($x = 0,33 / y = 0,33$).

Die Farbe einer Lichtquelle wird nun in der Farbtafel je nach ihrer Farbtemperatur auf oder dicht neben dem CIE-Spektralfarbzug gekennzeichnet. Diese Temperatur wird durch die ähnlichste Farbtemperatur (T_{cp})

[52] Die Lichtfarbe der verwendeten Leuchtmittel bestimmt den Raumeindruck: von wohnlich-warmweißem bis zu funktionalem, tageslichtweißem Licht.



53

gekennzeichnet. Das ist diejenige Temperatur, die erhitztes Platin annimmt, um in gleicher Farbe zu erscheinen wie die Lichtquelle. So beschreiben niedrige Farbtemperaturen bis etwa 3.300 Kelvin warme, eher gelb-rötlich erscheinende Lichtfarben und hohe Farbtemperaturen kühle, weiß-blaue Lichtfarben – ähnlich dem Tageslicht, das auch bei einem bedeckten Himmel rund 6.500 Kelvin erreicht.

Das Licht von Lampen mit gleicher Lichtfarbe kann eine völlig unterschiedliche spektrale Zusammensetzung haben und deshalb auch eine andere Farbwiedergabe. Es ist nicht möglich, aus der Lichtfarbe einer Lampe auf die Qualität ihrer Farbwiedergabe zu schließen.

LEDs: Binning sichert Qualität

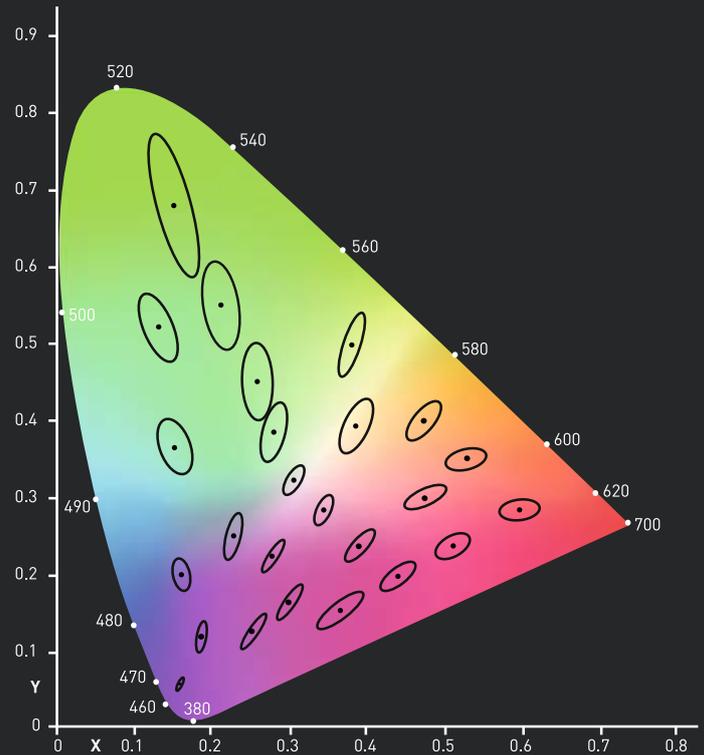
Besonderes Augenmerk in puncto Lichtfarbe erfordert die Produktion von LED-Chips. Da bei der industriellen Fertigung innerhalb einer Charge Toleranzen auftreten, etwa in der Lichtfarbe, werden LEDs nach der Produktion gemessen und je nach Toleranzklasse in sogenannte Bins (= Töpfchen) sortiert. Nur der Einsatz sorgfältig gewählter Binning-Gruppen garantiert einheitliche Helligkeiten und Lichtfarben – und ist damit ein wichtiges Qualitätsmerkmal.

Seit 2008 gibt es eine Standard-Binningstruktur des ANSI (= American National Standards Institute). Noch genauer lassen sich Farbabweichungen mit MacAdam-Ellipsen bestimmen (auch SDCM, Standard Deviation of Colour Matching, genannt). Sie beschreiben Bereiche im CIE-Farbdia-gramm, bei denen das menschliche Auge keinen Unterschied zum Zentrum der Ellipse wahrnimmt. MacAdam-Ellipsen werden häufig vergrößert, etwa auf einen drei-, fünf- oder siebenfachen Durchmesser. Diese Stufen-MacAdam-Ellipsen informieren Nutzer über Farbunterschiede. Je geringer die Farbabstände, desto besser: So ähneln sich Lichtquellen mit dem Farb-abstand einer 3-Stufen-MacAdam-Ellipse stärker als zwei Lichtquellen mit dem Farb-abstand einer 7-Stufen-MacAdam-Ellipse.

Lichtfarbe wirkt auch nicht-visuell

Die Lichtfarbe hat auch Auswirkungen auf den circadianen Rhythmus des Menschen. Sie ist deshalb ein wichtiges Kriterium bei der Planung einer biologisch wirksamen Beleuchtung nach dem Vorbild des natürlichen Tageslichts.

Biologisch wirksam im Sinne der Tagesakti-vierung ist vor allem tageslichtweißes Licht mit höheren Blauanteilen von mindestens



54

5.300 Kelvin (K). Geeignete Lichtquellen sind etwa Leuchtstofflampen mit entsprechendem Blauanteil. Auch weiße LEDs mit Farbtemperaturen zwischen 6.000 und 8.000 K und Schwerpunkt im niedrigwelligen, bläulichen Spektralbereich zeichnen sich durch hohe biologische Wirksamkeit aus.

Da eine aktivierende Beleuchtung nur am Tag sinnvoll ist, werden abends warme Lichtfarben mit bis zu 3.300 K in Kombination mit niedrigen Beleuchtungsstärken empfohlen. Planungshinweise gibt DIN SPEC 67600.

 *Weitere Informationen zu LEDs gibt der ZVEI-Leitfaden „Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung“; über „Biologisch wirksame Beleuchtung“ informiert Heft licht.wissen 19.*

[53] Die Normfarbtafel der internationalen Beleuchtungskommission CIE mit dem Planck'schen Kurvenzug, der die Lichtfarben von erhitztem Platin zeigt (in Kelvin, K). Die Lichtfarbe von Leuchtmitteln wird danach als ähnlichste Farbtemperatur gekennzeichnet.

[54] Die Lichtfarbe von LED-Chips unterliegt natürlichen Schwankungen. Farbabweichungen werden mithilfe von MacAdam-Ellipsen in der CIE-Farbtafel beschrieben.



55

Farbwiedergabequalität von Lichtquellen

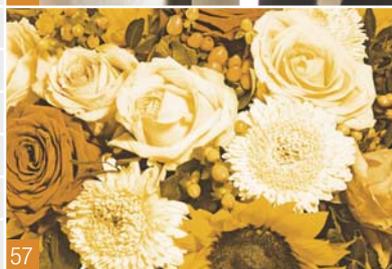
R _a -Bereich	Qualität	Typische Lichtquellen
90 und höher	exzellent	LEDs, farbverbesserte Leuchtstofflampen „de Luxe“, farbverbesserte Halogen-Metaldampflampen, Glühlampen
80 – 89	sehr gut	Dreibanden-Leuchtstofflampen, effiziente Halogen-Metaldampflampen
70 – 79	befriedigend	Standard-Leuchtstofflampen
60 – 69	ausreichend	Standard-Leuchtstofflampen (hellweiß), Halogen-Metaldampflampen
40 – 59	mangelhaft	Standard-Leuchtstofflampen (warmtonig), Quecksilberdampf-Hochdrucklampen
20 – 39		Natriumdampf-Hochdrucklampen
unter 20	kein Farbsehen	Natriumdampf-Niederdrucklampen (in Arbeitsstätten nicht zulässig)



56

Farbkennzeichnung von Lichtquellen

1. Ziffer = Farbwiedergabe/ R _a -Bereich		2. + 3. Ziffer = Lichtfarbe/ Farbtemperatur	
9	90 – 100	27	2.700 K
8	80 – 89	30	3.000 K
7	70 – 79	40	4.000 K
6	60 – 69	50	5.000 K
5	50 – 59	60	6.000 K
4	40 – 49	65	6.500 K



57



58

Farbwiedergabe

Licht und Farbe bestimmen das „Klima“ eines Raumes. Für unser Wohlbefinden ist es wichtig, dass die Farben der Umgebung und der menschlichen Haut möglichst wirklichkeitsgetreu wiedergegeben werden.

Erscheint die Hautfarbe eines Kollegen fahl und farblos, liegt das nicht an der kühlen Lichtfarbe einer Lampe, sondern eher an ihrer schlechten Farbwiedergabe-Qualität. Diese Eigenschaft einer Lichtquelle beschreibt, wie „natürlich“ beleuchtete Gesichter oder Gegenstände in ihrem Licht erscheinen.

Eine gute Farbwiedergabe ist generell ein wichtiges Gütemerkmal künstlicher Beleuchtung – und in manchen Bereichen unverzichtbar, etwa im Restaurant oder bei der Beurteilung von Farbmustern. Der Farbeindruck wird durch die Wechselwirkung zwischen der Farbe der betrachteten Gegenstände (= ihre spektralen Reflexionsgrade) und der spektralen Zusammensetzung

des Lichtes bestimmt. So nehmen wir Gegenstände im Tageslicht stets als „natürlich“ wahr. Das verwundert nicht, denn das Licht der Sonne vereint alle Spektralfarben in seinem Spektrum. Wird ein Objekt dagegen mit einer dominanten Lichtfarbe angestrahlt, zum Beispiel blau, wirkt es fahl, kühl und häufig farblich verfälscht.

„Erfahrungswerte“ aus dem Alltag

Aus der Erfahrung des täglichen Lebens sind dem Menschen eine Reihe von Körperfarben bekannt, die je nach Beleuchtung zwar unterschiedlich aussehen können, für die aber unabhängig davon bestimmte „Erfahrungswerte“ vorhanden sind. So ist zum Beispiel die Farbe der menschlichen Haut bei Tageslicht gespeichert.

Fehlt im künstlichen Licht eine Spektralfarbe oder sind einige im Spektrum der Lampe überbetont, erscheint die Hautfarbe zwar etwas andersfarbig, aufgrund der Erfahrungswerte aber trotzdem als „natürlich“. Bei farbigen Materialien, für die keine „Erfahrungswerte“ vorliegen oder bei starker Überbetonung bestimmter Spektralfarben im Licht einer Lampe, kann es dagegen zu starken Abweichungen kommen.

Farbwiedergabeindex R_a

Zur Beschreibung der Farbwiedergabe-Qualitäten wurde der allgemeine Farbwiedergabeindex R_a entwickelt (englisch: Colour Rendering Index, CRI). Der beste R_a -Wert ist 100: er gibt alle Farben natürlich wieder. Je niedriger der R_a -Wert, desto schlechter werden die Farben des beleuchteten Objekts wiedergegeben.

Die Farbwiedergabeeigenschaften werden mit dem sogenannten Testfarbenverfahren bewertet. Es beruht auf 14 in der Umwelt dominanten und festgelegten Testfarben, die jeweils unter einer bestimmten Bezugslichtquelle (= mit R_a 100) sowie der zu prüfenden Lichtquelle betrachtet werden. Referenz zur Bewertung der Wiedergabeeigenschaften ist

- für tageslichtweiße Lichtquellen das natürliche Tageslicht mit einer Farbtemperatur von rund 6.500 Kelvin (K); dies entspricht einem bedeckten Himmel ohne Sonnenlicht.
- Für Leuchtmittel mit einer Farbtemperatur < 5.000 K ist die Referenz-Lichtart der Plank'sche Strahler.

Die Unterschiede im farblichen Erscheinungsbild werden nach einer mathematischen Formel bewertet. Je geringer oder größer die Abweichung der Farbwiedergabe, desto besser oder schlechter ist die Farbwiedergabeeigenschaft der geprüften Lichtquelle.

In Innenräumen – und hier vor allem an Arbeitsplätzen – sollten nur Lichtquellen eingesetzt werden, die mindestens R_a 80 aufweisen. Dies gewährleisten heute alle Lichtquellen für die Wohn- und Bürobeleuchtung. Bestwerte von R_a 100 bieten Halogen-Glühlampen, die allerdings nicht sehr effizient sind. Äußerst energiesparend, langlebig und zugleich sehr nahe am Ideal sind LEDs: Sie erreichen je nach Typ und Qualität heute Werte bis zu R_a 98 – mehr, als Leuchtstoff- oder Energiesparlampen bieten. Am unteren Ende der R_a -Skala rangiert die Natriumdampf-Niederdrucklampe. Sie strahlt Licht nur in einer Spektralfarbe aus und erlaubt aus diesem Grund kein korrektes Farbsehen. Dank ihrer enormen Effizienz mit bis zu 200 lm/W wird sie gleichwohl gerne eingesetzt, wenn keine Farbtreue gefordert ist, wie zum Beispiel in der Beleuchtung nicht allzu stark befahrener Straßen.

Eine international gültige Farbbezeichnung für Lichtfarbe und Farbwiedergabe hilft bei der Orientierung, wenn Lampen getauscht oder die Lichtatmosphäre im Raum gezielt verändert werden soll. Drei Ziffern geben Auskunft über die jeweilige Leuchtquelle. So kennzeichnet etwa die Ziffer 840 eine Leuchtstofflampe mit einem Farbwiedergabe-Index von 80 bis 89 und einer Farbtemperatur von 4.000 K (= neutralweiß).

[55] Wann immer es darauf ankommt, Menschen und Farben zu beurteilen, sollte die Farbwiedergabequalität der Beleuchtung möglichst optimal sein. Für Innenräume ist mindestens R_a 80 empfehlenswert.

[56] Steht es mir, oder nicht? Eine gute Farbwiedergabe ist auch bei Anprobe und Kleiderwahl wichtig.

[57 + 58] Leuchtmittel können trotz gleicher Lichtfarbe unterschiedliche Farbwiedergabeeigenschaften haben. Wenn z. B. im Spektrum der Lampen nur wenig Rot vorhanden ist (links), werden auch die roten Körperfarben nur unvollkommen oder gar nicht wiedergegeben.

Lichterzeugung im 21. Jahrhundert

LEDs haben die Beleuchtung in den vergangenen Jahren revolutioniert. Neue Technologien sind effizient und verdrängen zunehmend die alten Temperaturstrahler.

Die Bedeutung der verschiedenen Arten der Lichterzeugung hat sich in den vergangenen Jahren enorm verschoben: Die Glühlampe ist auch als Halogenlampe auf dem Rückzug. Leuchtstofflampen und andere Gasentladungslampen werden ebenfalls zunehmend durch LED-Technologie ersetzt – ob als Retrofit-Lampe, Modul oder Komplettsystem.

Woher kommt der Wandel?

Die Erzeugung künstlichen Lichts benötigt Energie: Weltweit werden immer noch 15 Prozent der elektrischen Leistung für die Beleuchtung verbraucht (IEA/UNEP, Frühjahr 2014). Deshalb setzen Energieeinsparungen immer auf Einsparungen beim Licht. Die lichttechnischen Anforderungen für die jeweilige Anwendung müssen gleichwohl erfüllt werden, wie etwa Mindest-Beleuchtungsstärken am Arbeitsplatz, denn sie haben häufig Sicherheitsrelevanz und damit auch eine juristische Dimension.

Um Energie beim Licht zu sparen, greift die Politik massiv ein und hat auch innerhalb der Europäischen Gemeinschaft (EU) Richtlinien zur Steigerung der Energie-Effizienz erlassen. Lichtquellen, die diese Anforderungen nicht erfüllen, dürfen in der EU nicht mehr als Neu-Produkte in den Markt gebracht werden. Außerdem werden Endverbraucher über das Energielabel durch entsprechende Kennzeichnungen auf Lichtquellen mit besonders hoher Effizienz (A++ mit grünem Pfeil = „wünschenswert“) bzw. auf besonders ineffiziente Produkte (E mit rotem Pfeil = „Achtung, nicht wünschenswert“) hingewiesen. Auch in anderen Ländern außerhalb der EU gelten mittlerweile solche oder ähnliche Regelungen.

Was bedeutet dieser Wandel in der Praxis?

Lichtquellen und Lampen mit weniger energieeffizienten Technologien werden entweder direkt aufgrund der Richtlinien nicht mehr produziert oder sie verlieren so an Attraktivität, dass sie nicht mehr eingesetzt

werden – trotz möglicher anderer Vorteile. So müssen sich Hersteller, die bisher vor allem mit traditioneller Lichttechnik gearbeitet haben, stark umstellen, wenn sie weiterhin am Markt präsent bleiben wollen. Dennoch, Effizienz ist nicht alles: Licht erfüllt neben der Erzeugung von Helligkeit noch andere Anforderungen (siehe „Gütemerkmale der Beleuchtung“, Seite 15).

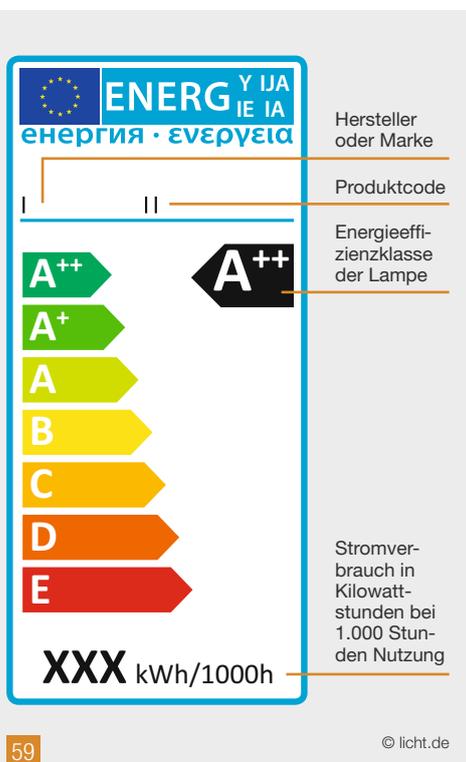
Zudem wird die Anwendungstechnik immer komplexer, weshalb für Planung, Umsetzung und Betrieb einer guten Beleuchtungsanlage eindeutig Fachleute gefragt sind. Hier tun sich neue Möglichkeiten auf, denn Steuerbarkeit rückt in den Fokus und damit auch die Frage, welche „Sprache“ die Komponenten miteinander sprechen können; sind es DALI-Komponenten, sollen sie in ein BUS-System eingebunden werden oder ist eine drahtlose Steuerung gewünscht.

Ob Farbe oder Dimmen – der Anwender entscheidet, wie aufwendig das System werden darf und wie es letztendlich kontrolliert wird: vorher programmiert und dann automatisch gesteuert oder per APP, per Schalter oder Fernbedienung.

Lichterzeugung traditionell: Glüh- und Halogenlampen

Glüh- und Halogenlampen sind Temperaturstrahler, bei denen durch Erhitzen des Wolfram-Wendeldrahts Licht erzeugt wird. Der Glaskolben kann evakuiert oder mit Gas – meist Edelgas(en), aber auch Stickstoff – gefüllt sein. Glühlampen haben eine schlechte Lichtausbeute, dafür bieten sie perfekte Farbwiedergabe und sind voll dimmbar.

Die Lichtausbeute kann aber erhöht werden durch Doppelwendelung und/oder Veredelung der Gasfüllung, etwa durch Krypton oder Xenon. Halogene verringern die Abdampfung von Wolfram von der Wendel, sodass eine Kolbenschwärzung bei Halogenlampen verhindert wird. Zudem werden



59

[59] Das Energielabel für Lampen (Stand September 2013) informiert über die Effizienzklassen von Lichtquellen. Besonders sparsam sind LEDs sowie effiziente Energiespar- und Leuchtstofflampen.

[60] Effizient und elegant: Die geschwungene OLED-Deckenleuchte bietet angenehmes, blendfreies Licht.



60

durch infrarotreflektierende (IR-) Beschichtungen des Glaskolbens weitere Effizienzgewinne realisiert.

Nach einem Beschluss der EU-Kommission bleiben Halogenlampen in klassischer Glühlampenform (meist Effizienzklasse D) und E14- oder E27-Schraubsockel nur noch bis September 2018 auf dem Markt; für Halogenlampen mit G9- oder R7s-Sockel, die zum Beispiel in Schreibtischlampen oder Deckenstrahlern verwendet werden, gibt es keine Frist.

Entladungslampen

Entladungslampen erzeugen Strahlung durch einen Lichtbogen zwischen zwei Elektroden, die entweder aus dem Lampenvolumen direkt als sichtbares Licht austritt oder durch die Leuchtstoffschicht auf der Kolbenwand von UV-Strahlung zu sichtbarem Licht umgewandelt wird.

Im Laufe der Nutzungsdauer nimmt der Lichtstrom ab. Zusammen mit ausgefallenen Lampen ergibt sich dann ein Rückgang des Anlagen-Lichtstroms, der einen bestimmten Mindestwert (80 %) nicht unterschreiten sollte. Zu diesem Zeitpunkt hat die Lampe ihre wirtschaftliche oder Nutzlebensdauer erreicht.

Entladungslampen brauchen zum Betrieb

- Vorschaltgeräte, die den Strom begrenzen, der durch die Lampe fließt, und

- Zündelemente, die den Impuls zum Durchzünden liefern.

Betrieb immer mit Vorschaltgerät

Bei Leuchtstofflampen und Hochdruckentladungslampen niedriger Wattagen empfehlen sich elektronische Vorschaltgeräte, denn sie sorgen für einen ruhigen und effizienten Lampenbetrieb. Je nach Ausführung punkten sie mit weiteren Vorteilen:

- Sofortstart und flackerfreie Zündung,
- flimmerfreies Licht durch Hochfrequenzbetrieb,
- automatische Abschaltung defekter Lampen,
- Steuerung und Dimmung nach Bedarf.

UV-absorbierende Kolben verringern außerdem meist die von Entladungslampen erzeugte UV-Strahlung. Hochdruck-Entladungslampen sollten grundsätzlich in geschlossenen Leuchten betrieben werden, wenn sie nicht extra für offene Leuchten freigegeben sind.

Leuchtstofflampen und Induktionslampen

Leuchtstofflampen sind Niederdruck-Entladungslampen. Die chemische Zusammensetzung des Leuchtstoffs mit drei oder fünf besonders prägnanten Spektralbereichen (in Blau, Grün und Rot) bestimmen unter anderem die Lichtfarbe und die Farbwiedergabe. Leuchtstofflampen bieten

- lange Lebensdauer und
 - hohe Lichtausbeute,
- allerdings ist die Höhe des Lichtstroms von

der Umgebungstemperatur abhängig. Je nach Lampentyp wird die Temperatur für den maximalen Lichtstrom z. B. mit 5° C, 25° C oder 35° C angegeben. Bei deutlicher Abweichung von diesen Werten verringert sich der Lichtstrom erheblich (z. B. unter 20 % bei -20° C).

Hohe Wirtschaftlichkeit bieten Leuchtstofflampen mit 16 mm Rohrdurchmesser aus der Reihe „hohe Lichtausbeute“. Die Baureihe „hoher Lichtstrom“ ist dagegen für Anwendungsbereiche in Räumen mit großen Höhen bestens geeignet. Wichtig: T16-Leuchtstofflampen erreichen nur beim Betrieb an elektronischen Vorschaltgeräten ihre technischen Daten und ihre Lebensdauer.

Hochdruck-Entladungslampen

Bei Hochdruck-Entladungslampen sind vor allem Halogenmetaldampf-Lampen und Natriumdampf-Lampen im Einsatz – je nach Bereich zweiseitig gesockelt, in Röhren- oder Ellipsoidform.

Natriumdampf-Lampen sind besonders energieeffizient, da sie sich durch einen sehr hohen Lichtstrom auszeichnen. Das gelbe Licht wird allerdings aufgrund der schlechten Farbwiedergabe ($R_a \leq 60$) im Wesentlichen in der Straßenbeleuchtung eingesetzt.

Halogenmetaldampf-Lampen bieten weißes Licht, gute Farbwiedergabe und hohe Lichtausbeute durch Zusätze von Halogen-

verbindungen verschiedener Metalle in der Lampenfüllung. Die Art der Zusätze bestimmt die Lichtfarbe von Warmweiß (ww) über Neutralweiß (nw) bis Tageslichtweiß (tw) und die Farbwiedergabe-Eigenschaften. Das Licht dieser Lampentypen kann gut gelenkt werden, weshalb sie sich insbesondere für Großflächenbeleuchtung, Industriebeleuchtung und die Beleuchtung von Sportanlagen eignen.

Lichterzeugung heute: LEDs

Lichterzeugung in kleinsten elektronischen Bauteilen oder in Flächen mit umweltfreundlichen Stoffen, dabei steuerbar, langlebig und effizient: LEDs eignen sich heute für fast jede Beleuchtungsaufgabe.

Die LED ist ein elektronisches Halbleiterbauelement, das bei Stromdurchfluss Licht abgibt. Durch Gleichspannung wird der Festkörperkristall zum Leuchten angeregt: Indem am Übergang zwischen dem n-leitenden Bereich mit einem Überschuss an Elektronen und dem p-leitenden Bereich mit einem Mangel an Elektronen ein Ausgleich stattfindet, emittiert der Elektronik-Chip Licht. Je nach Material des Halbleiterkris-

talls wird monochromatisches Licht in einem schmalbandigen Wellenlängenbereich erzeugt.

Weißes LED-Licht kann durch unterschiedliche Verfahren erzeugt werden. Die gängigste Methode nutzt die „Lumineszenz-Konversion“, die auch bei Leuchtstofflampen eingesetzt wird. Bei diesem Verfahren wird oberhalb eines blauen LED-Chips eine hauchdünne Phosphor-Leuchtschicht aufgedampft. Sie wandelt einen Teil des blauen Lichts durch den gelben Phosphor in weißes Licht. Eine andere Möglichkeit, weißes LED-Licht zu gewinnen, ist die Mischung von farbigem Licht, die RGB-Farbmischung. Diese additive Farbmischung von Rot, Grün und Blau (= RGB) kann neben allen anderen Lichtfarben auch weißes Licht erzeugen.

In der Praxis sind bereits fast alle Farbtemperaturen – von 2.700 Kelvin bis 7.000 Kelvin – und sehr gute Farbwiedergabewerte von $R_a > 90$ erreichbar. Sind für den Anwender einheitliche Lichtfarben aller LEDs im Einsatz wichtig, ist ein eng gefasstes Binning unabdingbar (s. Seite 26f.).

Grundsätzlich werden drei LED-Bautypen unterschieden:

- Bedrahtete LEDs (radiale LEDs) stammen aus den Anfangstagen der LED. Sie werden aufgrund ihrer geringen Lichtausbeute häufig für einfache Signalanzeigen verwendet; in der Beleuchtung spielen sie keine Rolle.
- SMD-LEDs (= Surface Mounted Devices) werden direkt auf einer Leiterplatte verklebt und im Lötbad kontaktiert. Der LED-Chip sitzt auf einem Gehäuse oder Plättchen mit Kontakten.
- COB-LEDs (= Chip on Board) werden für besonders leistungsstarke, eng gepackte LED-Module eingesetzt; der LED-Chip wird direkt auf die Platine aufgebracht. Meist werden die Chips als Module angeboten – bereits auf Leiterplatten montiert. Komplettiert mit Betriebsgerät, Außenkolben und z. B. E27-Sockel kann die LED-Lampe direkt als Retrofit eingesetzt werden. Inzwischen gibt es am Markt viele LED-Leuchten als Komplettsysteme mit nicht austauschbaren LED-Modulen.

Immer wieder werden exorbitant hohe Lichtausbeuten von mehr als 200 lm/W



61



63



62



64

[61] Die Lampenkolben der ersten Glühlampen waren evakuiert, d. h. der Wolframdraht der Wendel glühte in einem Vakuum; abfliegende Wolfram-Moleküle schwärzten den Glaskolben. Bei modernen Halogen-Glühlampen begrenzen Edelgase die Bewegungsfreiheit der Wolfram-Moleküle. Temperaturstrahler sind wenig effizient, herkömmliche Glühlampen europaweit bereits vom Markt genommen.

[62] In Halogenlampen 230 Volt und Niedervolt sorgt der Halogen-Kreisprozess für eine höhere Lichtausbeute und eine längere Lebensdauer.

[63] Leuchtstofflampen sind Niederdruck-Entladungslampen und arbeiten mit Quecksilberdampf von geringem Druck. Durch Zusammensetzung des Leuchtstoffes auf der Röhrenwand lassen sich Lichtfarbe und Farbwiedergabe von Leuchtstofflampen verändern.

[64] Hochdruck-Entladungslampen besitzen einen Brenner, in dem das Licht durch elektrische Entladung in Gasen, Metaldämpfen oder einer Mischung beider erzeugt wird. Die dargestellte Halogen-Metaldampflampe besitzt einen Brenner aus transparentem Keramikmaterial, der eine gleichbleibende Farbqualität gewährleistet.

veröffentlicht. Dies sind allerdings „Laborwerte“, die im praktischen Betrieb durch elektrische, optische und vor allem thermische Verluste nicht erreichbar sind. Auch die Lebensdauer wird durch Umgebungsfaktoren maßgeblich beeinflusst: nur ein gutes Thermomanagement – also eine gute Wärmeableitung – kann für hohe Werte sorgen.

Innovativ: OLEDs

Ein Fenster, dessen Glasscheibe am Mittag das Tageslicht hereinlässt und bei Nacht als Lichtquelle fungiert, ist zwar noch Zukunftsmusik, erste Leuchten mit OLEDs aber bereits auf dem Markt. Die extrem dünnen Panels, deren Form sich flexibel jeder Oberfläche anpassen kann, sparen Platz und Energie. So eröffnen organische Leuchtdioden ganz neue Dimensionen in der Display-Technologie und der (Flächen-) Beleuchtung. Ihr besonderer Charme liegt außerdem in ihrer Umweltfreundlichkeit: sie enthalten weder Quecksilber noch andere Giftstoffe und sind recyclefähig.

Bei OLEDs fließt der Strom durch ultrafeine Schichten aus kleinen Molekülen (smOLED)

oder langkettigen Polymeren (pOLED). Ihr Aufbau erinnert an ein Sandwich, eingebettet zwischen zwei großflächigen Elektroden. Unter Spannung wandern Elektronen und „Löcher“ (positive Ladungsträger) in die Mitte und rekombinieren dort, ähnlich dem Ausgleich am p-n-Übergang von LEDs.

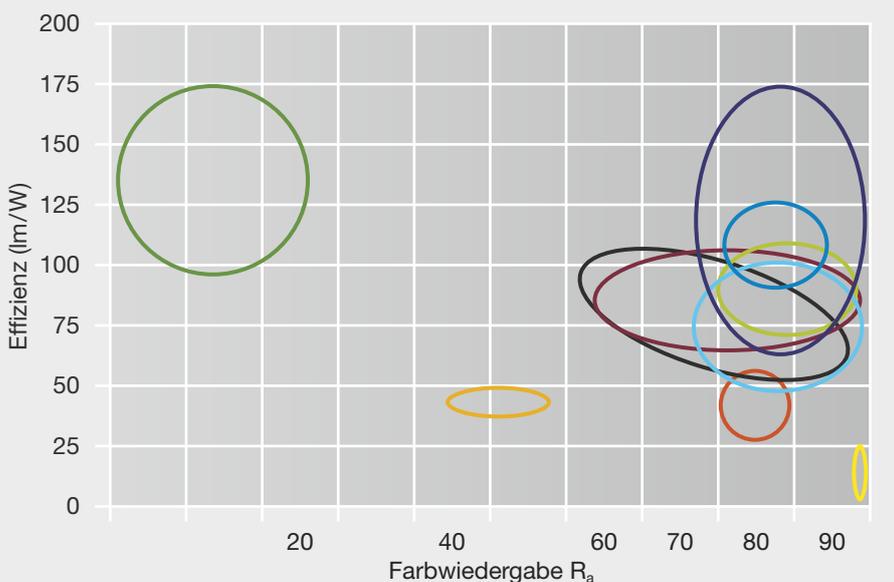
Auch bei OLEDs bestimmt das verwendete Material die Farbe des Lichts. Die Farbe kann aber wechseln, sowohl auf der gesamten Fläche als auch an einzelnen Punkten. Diese Eigenschaft ermöglicht OLED-Bildschirme, die heute bereits im Einsatz sind. Allerdings sind die Lichtausbeuten organischer Leuchtdioden noch nicht sehr hoch – bis 65 lm/W konnten bisher erreicht werden.

Und auch die Lebensdauer liegt derzeit noch bei „nur“ 10.000 Stunden. Die große Herausforderung ist hier die Empfindlichkeit der hauchdünnen Folien gegenüber Sauerstoff und Wasser. Geeignete Kunststoffmaterialien müssen die sensiblen organischen Schichten über ihre Lebensdauer hinweg schützen.

Die Entwicklung innovativer Lichtquellen geht weiter. Das zeigen Laserscheinwerfer in der Automobilindustrie und Quantum-Dots – winzige Nanokristalle, die bereits in LCD-Bildschirmen eingesetzt werden.

 Mehr Informationen zur LED gibt es in Heft licht.wissen 17 „LED: Das Licht der Zukunft“. Über Nachhaltigkeit in der Beleuchtung informiert Heft licht.wissen 20 „Nachhaltige Beleuchtung“.

Lichtquellen: Effizienz und Farbwiedergabe



- Halogen-Glühlampen
- Quecksilberdampf lampen
- Kompaktleuchtstoff lampen
- Leuchtstoff lampen
- Metalldampf lampen, Quarz
- Metalldampf lampen, Keramik
- Natriumdampf lampen
- LED-Lampen (Retrofit, Reflektor)
- LED-T8-Lampen
- LED-Module

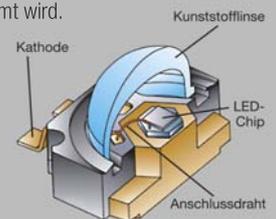
© licht.de

65

So funktionieren LEDs

LEDs sind elektronische Halbleiterbauelemente. Sie geben punktförmiges Licht ab, dessen Farbe durch das Halbleitermaterial bestimmt wird.

Der LED-Chip wird zum Schutz vor Umwelteinflüssen und für die elektrische Kontaktierung in ein Kunststoffgehäuse gegossen; Linsen lenken das Licht.



© licht.de

66

So funktionieren OLEDs

OLEDs bestehen aus extrem dünnen organischen Schichten, eingebettet in großflächige Elektroden. Fließt Strom durch sie hindurch, entsteht sichtbare Strahlung. OLEDs reagieren empfindlich auf Sauerstoff und Wasser und werden deshalb verkapselt.

Ein „Getter“ schützt vor Feuchtigkeit.



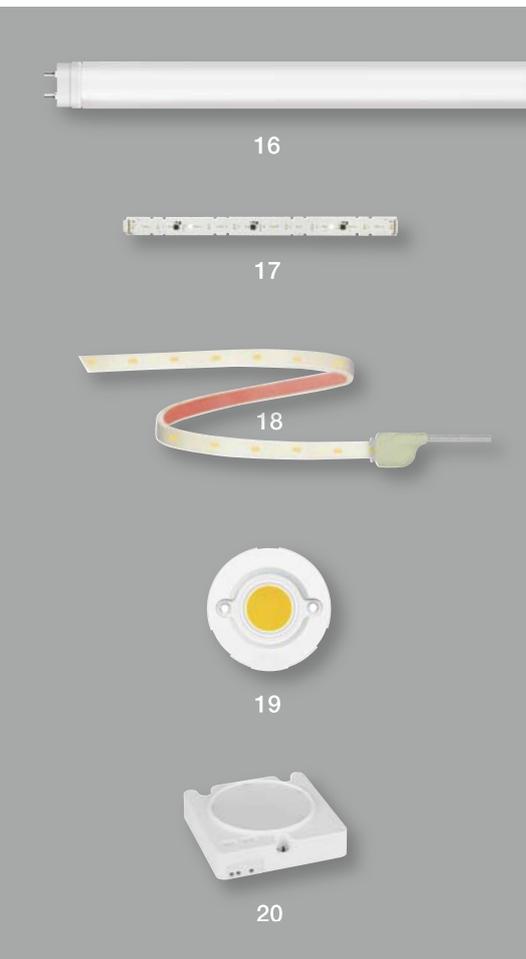
© licht.de

67



68

Nr.	Lampen-/Modultyp	Lampen-/ Modulleistung (Nennleistung in Watt)	Lichtstrom (Lumen, lm)	Lichtausbeute (Lumen/Watt)	Lichtfarbe
Stabförmige Leuchtstofflampen					
1	Leuchtstofflampe Ø 26 mm	18 – 70	870 – 6.200	61 – 89	ww, nw, tw
2	Leuchtstofflampe Ø 16 mm	14 – 80	1.100 – 6.150	67 – 104	ww, nw, tw
Kompaktleuchtstofflampen					
3	2-Rohrleuchte, gestreckte Bauform	16 – 80	950 – 6.500	67 – 100	ww, nw, tw
4	1-, 2- oder 3-Rohrleuchte, kompakte Bauform	10 – 42	600 – 3.200	60 – 75	ww, nw, tw
5	Rohrleuchte mit integriertem EVG	8 – 30	380 – 2.000	48 – 66	ww
Halogen-Metaldampflampen					
6	Einseitig gesockelt, mit Keramiktechnik	20 – 400	1.600 – 41.000	80 – 108	ww, nw
7	Einseitig gesockelt, mit Keramiktechnik	20 – 35	1.650 – 3.000	75 – 79	ww
8	Zweiseitig gesockelt, mit Keramiktechnik	70 – 150	5.100 – 15.000	73 – 108	ww, nw
Halogenlampen					
9	Reflektorform	10 – 100	100 – 1.200		ww
10	Glühlampenform	18 – 105	170 – 2.000	9 – 18	ww
Natriumdampf-Hochdrucklampen					
11	Röhrenform	35 – 1.000	2.200 – 128.000	63 – 145	ww
LED-Lampen					
12	Reflektorform, Netzspannung	3 – 8	200 – 575	42 – 86	ww, nw
13	Reflektorform, Niedervolt	2,8 – 8,5	230 – 660	50 – 83	ww, nw
14	Glühlampenform	2 – 18	230 – 1.522	78 – 117	ww, nw, tw
15	LED-Fadenlampe	2 – 8	230 – 806	78 – 134	ww
16	Röhrenform Ø 26 mm	8,7 – 27	1.100 – 3.700	124 – 126	ww, nw, tw
LED-Module					
17	Starres LED-Modul	größenabhängig	größenabhängig	80 – 150	ww, nw, tw
18	Flexibles LED-Modul	längenabhängig	längenabhängig bis ca. 4.000 lm/m	80 – 120	ww, nw, tw
19	Standardisiertes LED-Modul (Zhaga)	7 – 50	1.100 – 5.000	100 – 150	ww, nw,
20	Standard LED-Modul	7 – 50	1.100 – 5.000	100 – 150	ww, nw,



Lichtquellen

Eine gute Beleuchtung setzt die Auswahl der richtigen Leuchtmittel voraus. Auf dieser Seite finden Sie die wichtigsten Lichtquellen mit ihren technischen Daten.

Leuchtstofflampen [1, 2]

Leuchtstofflampen zeichnen sich durch hohe Lichtausbeute, gute Farbwiedergabe und lange Lebensdauer aus. Der Betrieb mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) – bei T5-Lampen mit 16 mm Durchmesser ein Muss – verbessert Energieeffizienz, Lichtqualität und Lebensdauer. Alle Leuchtstofflampen können mit geeignetem Vorschaltgerät gedimmt werden.

Kompaktleuchtstofflampen [3 – 5]

Kompaktleuchtstofflampen lassen sich dank ihrer kompakten Form in kleinere Leuchten integrieren. Lampentypen mit eingebautem Vorschaltgerät eignen sich für herkömmliche Schraubfassungen (5). Kompaktleuchtstofflampen gibt es auch mit ausgezeichnetem Startverhalten, einer verbesserten Schalthäufigkeit und in sehr warmen Lichtfarben.

Halogen-Metaldampflampen [6 – 8]

Halogen-Metaldampflampen überzeugen durch brillantes Licht bei guter Farbwiedergabe und sehr guten Lichtlenkungeigenschaften. Moderne Lampen mit Keramikbrenner-Technologie – an EVG betrieben – sind mit einer Lichtausbeute von bis zu 110 lm/W äußerst energieeffizient und auch dimmbar. Halogen-Metaldampflampen sind optimal für Industrie- und Stadionbeleuchtung.

Niedervolt-Halogenlampen [9]

Niedervolt-Halogenlampen überzeugen ebenfalls durch ein äußerst brillantes Licht mit perfekter Farbwiedergabe. Mit geeigneten Transformatoren können sie gedimmt werden. Niedervolt-Halogenlampen müssen mit einem Transformator betrieben werden, der die Spannung auf 12 V reduziert.

Hochvolt-Halogenlampen (10)

Hochvolt-Halogenlampen können direkt an der Netzspannung 230 V betrieben werden.

Sie liefern ein angenehm frisches, brillantes Licht. Hochvolt-Halogenlampen verfügen über eine sehr gute Farbwiedergabe (R_a 100) und lassen sich uneingeschränkt dimmen. Hochvolt-Halogen-Reflektorlampen dürfen ab 01.09.2016 nicht mehr in den Markt gebracht werden.

Natriumdampf-Hochdrucklampen [11]

Hohe Lichtausbeute und lange Lebensdauer kennzeichnen Natriumdampf-Hochdrucklampen als ausgesprochen wirtschaftliche Lampen für die Außenbeleuchtung. Sie benötigen passende Vorschalt- und Zündgeräte für den Betrieb.

LED-Lampen [12 – 16]

Durch die Entwicklung von LED-Lampen, auch LED-Retrofit genannt (LED ni = non-integrated), können viele Vorteile der LED-Technik in bereits vorhandenen Leuchten genutzt werden. Mit guter Farbwiedergabe und unterschiedlichen Lichtfarben bieten sie sich als langlebiger und effizienter Ersatz für konventionelle Lampen an. Bei einem Austausch von Leuchtstofflampen verändert sich die Lichtverteilung. Je nach Montageart – Retrofit oder Konversion – muss die Leuchte elektrisch umgebaut werden. Die elektrotechnische Sicherheit muss eine Fachperson prüfen.

LED-Module [17 – 20]

LED-Module und LED Light Engines (= LED-Module mit Vorschaltgerät) bieten herausragende Effizienz und Langlebigkeit. Module bestehen in der Regel aus LEDs, aufgebracht auf einen Träger, einer Optik mit breit strahlenden Linsen und Reflektoren. Sie sind elektrisch anschlussfertig. LED-Module (LED si = semi-integrated / LED i = integrated) sind vielfältig einsetzbar und quasi wartungsfrei, liefern weißes und farbiges Licht mit guter Farbwiedergabe, sind stufenlos dimmbar und einfach zu steuern. Dem Anwender begegnen LED-Module meist fest verbaut in Leuchten; ansonsten sollte die Installation durch Fachpersonal ausgeführt werden.

Farbwiedergabe-
Index R_a (zum
Teil als Bereich)

Sockel

85 – 98 85 – 93	G13 G5
80 – 93 80 – 90 80 – 90	2G11; 2G7 G23; G24; 2G7; GX24 E14; E27; B22d
80 – 85 85 – 90 75 – 95	G8,5; G12; G22; GU6,5; GU8,5; GY22 PGJ5 RX7s; RX7s-24
100 100	GU4; GU5,3; E14; E27; B22d
25	E27; E40
80 – 90 80 – 90 ≥ 80 ≥ 80 70 – 85	GU10 GU5,3 E14; E27; GU5,3 E14; E27 G13
> 80 > 80 > 80 > 80	

ww = Warmweiß, Farbtemperatur bis 3.300 K
nw = Neutralweiß, Farbtemperatur 3.300 K bis 5.300 K
tw = Tageslichtweiß, Farbtemperatur über 5.300 K

Leuchten: Auswahl und Lichtverteilung

Leuchten unterscheiden sich nicht nur nach Anwendungsgebiet und Design. Bei der Auswahl sind auch lichttechnische Eigenschaften zu beachten.

Leuchten nehmen Lichtquellen auf und verbinden sie mit der Stromquelle. Sie lenken und verteilen das Licht der eingesetzten Leuchtmittel, sollten sich leicht installieren und warten lassen – und im Design zur Raumarchitektur und -möblierung passen. Die Auswahl erfolgt:

- nach dem Verwendungszweck (Innen- oder Außenleuchte),
- nach Art und Anzahl der Lichtquellen (etwa LED-Modul, Niederdruck- oder Hochdruck-Entladungslampe),
- nach der Bauart (offene oder geschlossene Leuchte),
- nach Art der Montage (Einbau-, Anbau- oder Hängeleuchte),
- nach lichttechnischen Eigenschaften (etwa Lichtstromverteilung, Lichtstärkeverteilung, Leuchtdichteverteilung und Leuchtenbetriebswirkungsgrad),
- nach elektrotechnischen Eigenschaften einschließlich der zum Betrieb der Lichtquellen notwendigen Bauteile (etwa elektrische Sicherheit, Schutzklasse, Funkentstörung, Vorschaltgeräte, Zünd- und Starteinrichtungen),
- nach mechanischen Eigenschaften (wie mechanische Sicherheit, Schutzart, Brandschutzverhalten, Ballwurfsicherheit, Materialbeschaffenheit) sowie
- dem Design, Bauform und Größe.

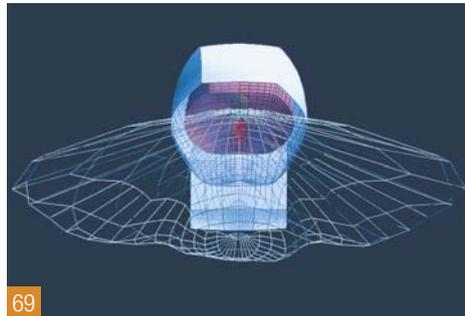
Lichtstromverteilung

Der gesamte Leuchtenlichtstrom Φ_L besteht aus den Teillichtströmen in den unteren Halbraum Φ_U und in den oberen Halbraum Φ_O . Die Einteilung der Leuchten in Bezug auf den in den unteren Halbraum ausgestrahlten Lichtstromanteil erfolgt nach DIN 5040 mit den Kennbuchstaben A bis E.

Im Außenbereich werden überwiegend Leuchten für direkte Beleuchtung verwendet. Bei der dekorativen Beleuchtung von Fußgängerzonen oder Parkanlagen können auch Leuchten mit einem geringen indirekten Lichtstromanteil eingesetzt werden, der z. B. Bäume oder Fassaden beleuchtet.

Lichtstärkeverteilung

Die räumliche Verteilung der Lichtstärke einer Leuchte wird durch den Lichtstärkeverteilungskörper gekennzeichnet. Er kann für verschiedene Schnittebenen in Polar diagrammen (Lichtstärkeverteilungskurven = LVK) dargestellt werden. An der Form der LVK kann man erkennen, ob es sich um eine tief-, breit-, symmetrisch- oder asymmetrisch-strahlende Leuchte handelt. Die LVK werden mit einem Goniophotometer bei genormten Betriebsbedingungen der Leuchte ermittelt. Sie sind Grundlage für die Planung der Innen- und Außenbeleuchtung.



Leuchtdichteverteilung und Abschirmung

Zur Reduktion der Blendung müssen Leuchten den passenden Abschirmwinkel einhalten. Zur Blendungsbewertung muss die mittlere Leuchtdichte der Lichtaustrittsfläche im kritischen Ausstrahlungswinkel bekannt sein (siehe Seite 19). Die Bewertung erfolgt über das UGR-Verfahren (Innenraum) oder das GR-Verfahren (Außenraum).

Lichtstärken: cd oder cd/klm?

Lichtstärkeverteilungskurven (LVK) werden in Lichtstärken (cd) angegeben. Oft findet sich die Einheit cd/klm (= Candela pro Kilolumen). Für Leuchten mit konventionellen Lampen werden die Lichtstärken auf den Lichtstrom der Lampe bezogen. Bei LED-Leuchten (mit $\eta_{LB} = 1$) bezieht sich die Lichtstärke auf den angegebenen Leuchtenlichtstrom.

Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB}

Wie wirtschaftlich arbeitet eine Leuchte? Bei Leuchten mit konventionellen und damit austauschbaren Lampen ist der Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB} eine wichtige Kenngröße. Er gibt an, wie viel Prozent des Lampenlichtstroms tatsächlich im Betrieb von einer Leuchte abgestrahlt werden. Bei Leuchtstofflampen und Entladungslampen liegt der Betriebswirkungsgrad je nach Leuchtdesign zwischen 60 und 90, manchmal sogar über 100 Prozent, was am Lichtstromverhalten der Leuchtstofflampe liegt. So wird aus Lampenlichtstrom mal Betriebswirkungsgrad der Leuchtenlichtstrom ermittelt.

Bei LED-Leuchten mit integrierten LED macht die Angabe eines separaten Leuchtenbetriebswirkungsgrads keinen Sinn. Wird der Leuchtenlichtstrom als Kenngröße angegeben, wird der Betriebswirkungsgrad mit 100 Prozent angesetzt ($\eta_{LB} = 1$).

Planung mit 25° Celcius

Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad wird im Labor bei exakt 25° C Umgebungstemperatur gemessen. Deshalb muss bei der Beleuchtungsplanung unbedingt der bei 25° C ermittelte Lichtstrom der Lampen eingesetzt werden.

Andernfalls sind die für diese Beleuchtungsanlage errechneten Beleuchtungsstärken falsch.

[69] Lichtstärkeverteilung einer Außenleuchte, gemessen mit einem entsprechenden Computerprogramm.

[71] Eine LED-Lichtdecke mit opaler Abdeckung spendet blendfreies, indirektes Licht, das je nach Tageszeit gesteuert werden kann.

[72] LED-Strahler lenken exakt gerichtetes Licht auf Aufstellungsflächen und Regale.

Lichtlenkung

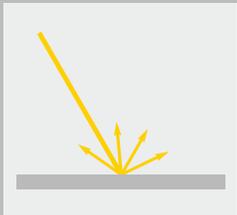
Um den Lichtstrom einer Lampe in eine bestimmte Richtung zu lenken, zu verteilen oder zu filtern, werden optische Phänomene genutzt, vor allem

- Reflexion
- Lichtbrechung



Gerichtete Reflexion

Bei spiegelnden Oberflächen, wie z. B. Spiegelreflektoren und -raster aus hochglanzeloxiertem Aluminium, findet keinerlei Lichtstreuung statt; hier spricht man von gerichteter Reflexion. Dank exakter Spiegelformen werden genaue Lichtstärkeverteilungen und Leuchtdichtebegrenzungen erzielt.



Gestreute Reflexion

Bei diffus reflektierenden Oberflächen, z. B. matte Spiegelraster oder Reflektoren und Raster mit Lackoberflächen, wird mit zunehmendem Streuvermögen der reflektierenden Oberfläche der gerichtete Lichtanteil immer geringer und das Licht immer diffuser.



Lichtbrechung

Glas und Kunststoffe werden auch zur direkten Lichtlenkung eingesetzt, wobei die Brechung (Refraktion) und die Totalreflexion von Licht genutzt werden.



Das Prinzip dieser Lichtlenkung: Dringt ein Lichtstrahl aus einem Medium in ein anderes Medium abweichender Dichte ein (z. B. von Luft in Glas und wieder von Glas in Luft), so ändert er seine Richtung in Abhängigkeit vom Einfallswinkel.

Prismen oder Linsen erlauben auch die Bündelung und Streuung von Licht sowie optische Abbildungen.



Linsen

Linsen werden vor allem für Punktlichtquellen verwendet. Durch Veränderung des Abstands zwischen Linse und Lichtquelle wird der Ausstrahlungswinkel beeinflusst. Diese Lichtlenkung ermöglicht ein einheitliches Leuchtendesign auch bei unterschiedlichen Abstrahlwinkeln.



Mikroprismen

Das Licht wird seitlich oder von oben eingekoppelt. Die Lichtstrahlen werden exakt umgelenkt (asymmetrisch oder symmetrisch). Dies ergibt eine definierte Lichtverteilung.



71



72

Leuchten: Prüfzeichen und Schutzkennzeichen

Leuchten sind elektrische Geräte. Normen regeln die sicherheitstechnischen Anforderungen, damit ein ausreichender Schutz vor Gesundheitsschäden, Brand- und Betriebsschäden gewährleistet ist.

Leuchten müssen mechanische und elektrische Sicherheit bieten – und mit entsprechenden Prüfzeichen gekennzeichnet sein.

ENEC und VDE-Prüfzeichen

Das ENEC-Zeichen (ENEC = European Norm Electrical Certification) ist das europäische Sicherheitszeichen für Leuchten, Vorschalt- und Startgeräte, Kondensatoren, Konverter sowie Transformatoren und steht für einheitliche Prüfbedingungen. Die zugeordnete Zahl weist die jeweilige nationale Prüfstelle aus. In Deutschland ist unter anderem das VDE-Institut in Offenbach akkreditierte Prüf- und Zertifizierungsstelle und vergibt das ENEC-Zeichen in Verbindung mit der Prüfstellennummer 10. ENEC- und VDE-Zeichen werden in der Bundesrepublik in der Regel kombiniert vergeben. Der Verbraucher kann sich darauf verlassen, dass derart gekennzeichnete Produkte dem aktuellen Stand der Technik entsprechen.

ENEC+

2014 wurde zusätzlich das ENEC+-Zeichen

europaweit eingeführt. Ergänzend zum ENEC-Zeichen, das die Qualität und Sicherheit eines Produkts attestiert, steht das ENEC+-Zeichen für die Glaubwürdigkeit von Produktdaten, insbesondere für den zuverlässigen Betrieb von LED-Modulen und LED-Leuchten. In Deutschland sind neben dem VDE auch der TÜV Süd sowie der TÜV Rheinland akkreditierte Prüfstellen. Das ENEC+-Zeichen kann auch für herkömmliche Leuchten erworben werden.

GS-Prüfzeichen

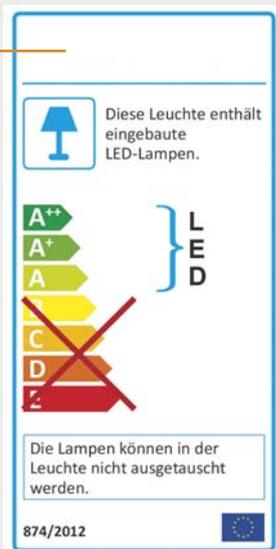
Das GS-Zeichen steht für „geprüfte Sicherheit“ entsprechend den nationalen und europäischen Richtlinien. Das GS-Zeichen darf nur in Verbindung mit dem Logo der Prüfstelle vergeben werden; dies sind in Deutschland der TÜV und die VDE-Prüfstelle. Regelmäßige Kontrollmaßnahmen dienen der Aufrechterhaltung eines Zertifikats; dazu gehören z. B. die Überwachung von Produktionsbetrieben oder die Prüfung, ob ein Produkt noch mit dem geprüften Baumuster übereinstimmt.

[73] EU-Energielabel für Leuchten: Seit März 2014 müssen nach den EU-Verordnungen 874/2012 und 518/2014 auch Leuchten im Handel mit Energieeffizienz-Etiketten ausgezeichnet sein. Sie geben an, für welche Leuchtmittel die jeweilige Leuchte geeignet ist.

[74] Leuchten sind vor allem im Außenbereich Fremdeinflüssen, Regen und Hagel ausgesetzt. Über die jeweilige Schutzart informiert die IP-Kennziffer.

Leuchten-Label

Hersteller und Produkt-nummer



© licht.de

Schutzarten

1. Kennziffer	Schutz gegen Fremdkörper u. Berührung	2. Kennziffer	Schutz gegen Wasser
0	ungeschützt	ungeschützt	
1	geschützt gegen feste Fremdkörper > 50 mm	geschützt gegen Tropfwasser	☾
2	geschützt gegen feste Fremdkörper > 12 mm	geschützt gegen Tropfwasser unter 15°	
3	geschützt gegen feste Fremdkörper > 2,5 mm	geschützt gegen Sprühwasser	☾
4	geschützt gegen feste Fremdkörper > 1 mm	geschützt gegen Spritzwasser	☾
5	geschützt gegen Staub	geschützt gegen Strahlwasser	☾ ☾
6	dicht gegen Staub	geschützt gegen schwere See	
7	–	geschützt gegen zeitweises Eintauchen	☾ ☾
8	–	geschützt gegen dauerndes Untertauchen	☾ ☾ ... m

74

© licht.de

CE-Kennzeichnung

Die CE-Kennzeichnung müssen alle Leuchten tragen, die in der EU vertrieben werden. Hier handelt es sich nicht um ein Prüfzeichen, sondern um eine eigenverantwortliche Bestätigung von Herstellern und Importeuren, dass ihre Produkte die „grundlegenden Anforderungen“ spezieller europäischer Richtlinien und Schutzziele erfüllen.

EMV-Prüfzeichen

Elektrische Geräte und Elektronikschaltungen verursachen hochfrequente elektromagnetische Energie, die abgestrahlt oder weitergeleitet wird. So können Störungen entstehen, die zum Beispiel zu ungewolltem Rauschen im Radio oder gar zum Ausfall von Geräten führen. Die VDE-Prüfstelle untersucht, ob die im Funkschutzgesetz vorgeschriebene Störfreiheit eingehalten wird und die elektromagnetische Verträglichkeit (= EMV) gewährleistet ist.

Schutzklassen

Wie jedes andere elektrische Gerät muss auch eine Leuchte so ausgestattet sein, dass Nutzer vor einem elektrischen Schlag geschützt sind. Nach DIN VDE 0711 werden Leuchten in drei Schutzklassen eingeteilt:

• Schutzklasse I

Schutzklasse I schützt durch eine Isolierung spannungsführender Teile (= Basisisolierung)

und durch den Anschluss berührbarer Metallteile an den Schutzleiter (= Erdung) vor zu hohen Berührungsspannungen. Ortsveränderliche Leuchten der Schutzklasse I sind mit einem Schutzkontaktstecker (= Schukostecker) ausgestattet.

• Schutzklasse II

In dieser Schutzklasse sind spannungsführende Teile mit einer zusätzlichen Schutzisolierung versehen. Der Anschluss des Schutzleiters ist nicht erlaubt. Ortsveränderliche Leuchten der Schutzklasse II sind mit einem sogenannten Euro- oder Konturenstecker ohne Schutzleiter ausgerüstet.

• Schutzklasse III

Leuchten der höchsten Schutzklasse werden an einer für den Menschen ungefährlichen Schutzkleinspannung SELV (= safety extra-low voltage) betrieben (< 42 Volt). Typische Anwendungsbeispiele sind Nieder-volt-Schienensysteme mit einer Spannung von 12 Volt. Die Versorgungsspannung wird durch einen Sicherheitstransformator gewährleistet.

Schutzarten IP

Leuchten müssen auch mechanisch geschützt sein, sodass Fremdkörper und Feuchtigkeit nicht in die Leuchte eindringen können. Zur Kennzeichnung der Schutzart wird das IP-Nummernsystem „Ingress Protection“ verwendet (s. *Tabelle Seite 38*).

So ist eine Leuchte IP 20 z. B. gegen das Eindringen von Fremdkörpern >12 mm geschützt, jedoch nicht gegen das Eindringen von Feuchtigkeit. Eine Feuchtraumleuchte mit der Schutzart IP 65 ist staubdicht und gegen Strahlwasser geschützt.

Brandschutzverhalten

Bei der Auswahl von Leuchten ist auch das Brandverhalten von Montageflächen zu beachten. Nur auf normal entflammablen Baustoffen (anormaler Betrieb 130° C; Fehlerfall 180° C), können Leuchten ohne Brandschutzkennzeichnung nach DIN EN 60598 direkt montiert werden.

Dagegen dürfen in feuergefährdeten Betriebsstätten, wo sich leicht entzündliche Stoffe wie z. B. Textilfasern auf den Leuchten ablagern können, nur Leuchten mit D-Zeichen und Schutzklasse IP 5X installiert werden. Die Leuchten sind so ausgelegt, dass ihre Oberflächen die vorgegebenen Temperaturgrenzwerte nicht überschreiten.

Ballwurfsicherheit

Leuchten für den Einsatz in Sportstätten, in denen Ballspiele stattfinden, müssen ballwurfsicher und mit dem entsprechenden Zeichen gekennzeichnet sein. Das gilt ebenfalls für das Leuchtenzubehör und die Montageteile.

Brandschutzkennzeichnung von Leuchten

Anbauleuchten, die nur auf nicht brennbaren Baustoffen montiert werden dürfen.



Einbauleuchten, die nur auf nicht brennbaren Baustoffen montiert werden dürfen.



Wärmedämmung nicht gestattet.



Leuchten für die Montage in/an Möbeln, Befestigungsfläche bis 180° C nicht entflammbar.



Leuchten für die Montage in/an Möbeln, Befestigungsfläche im normalen Betrieb bis 95° C nicht entflammbar.



Leuchten für feuergefährdete Betriebsstätten. Temperatur der waagerechten Oberflächen bei normalem Betrieb maximal 90° C. Glasoberflächen von Leuchtstofflampen maximal 150° C.



Weitere Kennzeichen auf Leuchten

Ballwurfsicher nach VDE, „Nicht für Tennis“ bei Öffnungen > 60 mm



Schutz gegen Explosionen



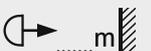
Max. zulässige Umgebungstemperatur von 25° C abweichend

ta...° C

Nicht zugelassene Lampen



Mindestabstand zur angestrahlten Fläche





77

Leuchten und ihre Betriebsgeräte

Geht es um Stichworte wie „energieeffiziente Beleuchtung“ oder „visuelle Ergonomie“, kommen elektronische Betriebsgeräte ins Spiel: In Kombination mit wirtschaftlichen Lichtquellen bilden sie ein energiesparendes Duo.

Moderne, energieeffiziente Lichttechnologien benötigen Betriebsgeräte. Sie können nicht einfach an den Netzstrom angeschlossen werden wie Hochvolt-Glüh- und Halogenlampen. Ausgenommen davon sind Retrofit-Lampen mit integrierten Betriebsgeräten (CFLi, LED-Retrofit). Externe Betriebsgeräte sind häufig in der Leuchte eingebaut oder im elektrischen Schaltkreis untergebracht.

Elektronische Vorschaltgeräte (EVG)

Traditionelle Lichtquellen werden – wo möglich – mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) eingesetzt, denn diese haben neben der Energieeffizienz auch im Bereich Beleuchtungsqualität viele weitere Vorteile, wie z. B. flackerfreies Licht durch den Hochfrequenzbetrieb. Je nach Eignung des eingesetzten EVGs können die Lichtquellen auch gesteuert bzw. gedimmt werden. Für hochwattige Hochdruck-Entladungslampen > 400 Watt gibt es derzeit allerdings noch kaum zuverlässige elektronische Geräte.

Zu beachten ist die Lebensdauer: konventionelle Vorschaltgeräte (KVG) sind sehr robust und praktisch „unkaputtbar“; bei

EVGs hat die Qualität der verbauten Komponenten wesentlichen Einfluss auf ihre Lebensdauer.

Bauteile von LED-Modulen

LED-Module können spannungs- oder stromgesteuert sein, wobei Bauteile mit Betriebsgeräte-Funktion bereits auf der Modulplatine integriert sein können. Je intelligenter das Steuerungs- oder Treibersystem mit den entsprechenden Schnittstellen konzipiert ist, desto anpassungsfähiger ist es an den tatsächlichen Lichtbedarf: Farbsteuerung und Dimmen macht z. B. die Simulation eines Tageslichtverlaufs möglich und bietet damit alles für gesundheitsorientiertes Licht.

Wofür werden Betriebsgeräte gebraucht?

Lichtquellen haben unterschiedliche Anforderungen an den Strom, mit dem sie gespeist werden: Verschiedene Lampentypen wie z. B. Niedervolt-Halogenlampen benötigen Transformatoren. Sie verringern die Netzspannung von 220 – 240 V 50 Hz Wechselstrom (AC) auf 6, 10, 12, 24, 42 V oder in seltenen Fällen auch auf andere Schutzkleinspannungen. Auch LEDs brauchen Transformatoren; in diesem Fall noch



78

mit Gleichrichterfunktion, denn LEDs wollen mit Gleichstrom (DC) versorgt werden. Stromgesteuerte LED-Module brauchen Geräte, die konstante Ausgangsströme von z. B. 350 mA, 700 mA oder 1.050 mA liefern.

Auch Entladungslampen können nicht direkt an die Netzspannung angeschlossen werden. Sie brauchen einen Start-Impuls, um zu zünden – entweder aus einem externen Zündgerät (bei Leuchtstofflampen: Starter) oder aus einem eingebauten Innenzündler bzw. Zündmechanismus. Wäre die Zündung dennoch erfolgreich, würde dann aber die Stromstärke (bei der relativ konstanten Netzspannung aufgrund der negativen Strom-/Spannungscharakteristik der Entladungslampen) theoretisch ins Unendliche steigen. In der Praxis bedeutet dies, dass ab einem gewissen Punkt die Lampe zerstört ist. Vorschaltgeräte dienen also auch der Strombegrenzung und sind absolut notwendig zum Lampenbetrieb.

Im elektronischen Vorschaltgerät (EVG) sind Vorschaltgerät und Zündmechanismus in einem Gerät zusammengefasst. Es arbeitet mit hochfrequenter Wechselspannung von 25 bis 40 kHz, was bei Leuchtstofflampen sogar zu einer deutlichen Verringerung der Leistungsaufnahme führt, und das bei gleichem Lichtstrom: Bei konventionellem Betrieb ist die System-Leistungsaufnahme 58 W Lampe + Verlustleistung KVG ca. 7-10 W = 65 – 68 W; im EVG-Betrieb dagegen 50 W Lampe + ca. 5 W Verlustleistung

EVG = 55 W; was einer Einsparung von ca. 23 Prozent entspricht.

Lichtmanagement – Anforderungen an die Betriebsgeräte

Lichtmanagementsysteme steuern bzw. regeln Helligkeit und mitunter auch die Lichtfarbe einer Beleuchtungsanlage. Diese Anforderungen lassen sich im Grunde auf das Dimmen zurückführen: Reine Helligkeitsregelung bedeutet, aus einer Lichtquelle einer Farbe mehr oder weniger Licht emittieren zu lassen.

Bei Glühlampen funktioniert das ganz einfach: Weniger Strom macht die Wendel weniger heiß und damit kommt weniger Licht heraus. Nebeneffekt: Die Lichtfarbe wird wärmer. Die verändert sich bei LEDs und Entladungslampen beim Dimmen nicht oder kaum. Farbveränderungen können nur durch Mischung von Lichtquellen verschiedener Lichtfarben (LED-Chips, farbige Leuchtstofflampen) in unterschiedlichen Dimm-Zuständen realisiert werden.

Es gibt weniger gut regelbare Leuchtmittel wie etwa Halogenmetall dampflampen, die sich nur unter bestimmten Bedingungen überhaupt und mit nur geringer, ungünstiger Farbverschiebung in Richtung Grün dimmen lassen, und sehr gut regelbare Lichtquellen wie LEDs oder Leuchtstofflampen.

Doch nicht jedes Betriebsgerät unterstützt die Dimmbarkeit von Lichtquellen. Kon-

ventionelle Betriebsgeräte können höchstens in Stufen schalten, wie z. B. bei der Halbnachtschaltung in der Straßenbeleuchtung, wo nach einer Einbrennphase von mindestens 15 Minuten auf 50 Prozent heruntergeschaltet werden kann. Nicht alle EVGs erfüllen diese Anforderung; dafür sind dimmbare oder intelligente EVGs erforderlich. Kommt bei LEDs noch Farbsteuerung dazu, wird dafür entweder ein extra Steuergerät oder ein dafür geeigneter Treiber mit der entsprechenden Zahl an Ausgängen gebraucht.

Je nach Art der Signalgebung – das heißt wie die Beleuchtung gesteuert werden soll – müssen die Schnittstellen der Betriebsgeräte ausgelegt sein. Für eine einfache Dimmung reicht 1–10 V Steuertechnik. So können mit DALI-Systemen (Digital Adressable Lighting Interface) Räume und Gebäude gesteuert werden. Für große Lösungen bietet sich DMX (Multiplex-Übertragung) an, das ebenso wie DALI in übergeordnete Gebäudesystemkontrollsysteme wie zum Beispiel KNX integriert werden kann. Jedes eingesetzte Betriebsgerät muss in der Lage sein, mit den Steuerkomponenten zu kommunizieren und dementsprechend dafür ausgelegt sein.

[77 + 78] Innen oder außen: Moderne Leuchten arbeiten mit elektronischen Betriebsgeräten. Sie regeln die Stromversorgung und sorgen für Effizienz im Betrieb.

Leuchten in ihrer Anwendung

Für die Beleuchtung von Innen- und Außenräumen steht eine Vielzahl von Leuchten zur Verfügung. Nachhaltige Lösungen berücksichtigen relevante Normen und lichttechnische Eigenschaften, sind effizient und erlauben die Einbindung der Leuchten in intelligente Steuersysteme.

Eine Leuchte vereint Lichtquelle, Elektronik und Optiken. Sie schützt die Lichtquelle, verteilt und lenkt ihr Licht und verhindert Blendung.

Die Auswahl der passenden Leuchten richtet sich unter anderem nach

- Art der anfallenden Sehaufgaben,
- Architektur und Raumausstattung,
- sicherheitsrelevanten Anforderungen,
- vorgesehenen Nutzungen sowie
- biologischen Wirkungen.



Dekorative Nachttisch- oder Wandleuchten dürfen im Schlaf- oder Hotelzimmer nicht fehlen. Sie sollten getrennt zu schalten und dimmbar sein, damit ihr Licht den Bettnachbarn nicht stört.



Deckenan- und -einbauleuchten werden zur Allgemein- und zur Akzentbeleuchtung eingesetzt. Lichtlenkende Mikroprismen und Rastertechnologie sorgen für eine gute Entblendung.



Downlights ordnen sich der Architektur unter. In breitstrahlender Ausführung werden sie für die Allgemeinbeleuchtung eingesetzt. **Pendelleuchten** erhellen den Esstisch.



Strahler setzen Akzente im Raum und lenken mit gerichtetem Licht die Aufmerksamkeit auf Bilder und Objekte. Sie müssen so ausgerichtet werden, dass Blendung vermieden wird.



Pendelleuchten können für direkte, indirekte oder kombinierte Abstrahlung in fast allen Räumen eingesetzt werden. Sie sind mit unterschiedlichen Reflektoren und Blendschutz erhältlich.



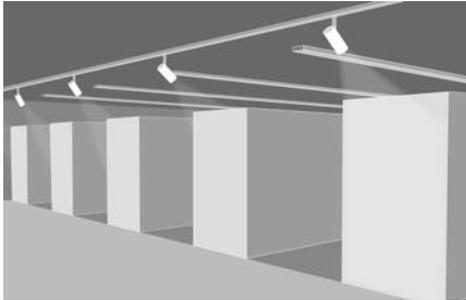
Steh- und Tischleuchten für den Wohnbereich sind vielseitig einsetzbar, dekorativ und schaffen eine gemütliche Atmosphäre. Für Komfort sorgen Dimmer und eine Lichtsteuerung.



Flache Unterschrank-Leuchten sind vor allem in der Küche unverzichtbar, um die Arbeitsflächen gut auszuleuchten. Sie müssen für den Ein- bzw. Aufbau auf Möbeln geeignet sein.



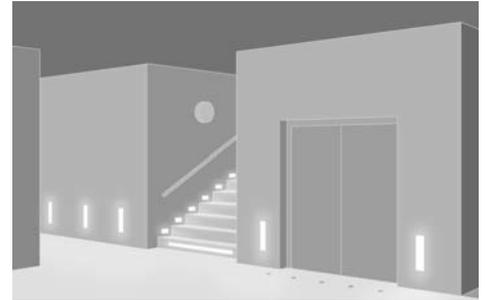
Lichtdecken und Flächeneinbauleuchten geben ihr Licht großflächig ab und eignen sich gut für eine dynamisch gesteuerte und biologisch wirksame Beleuchtung.



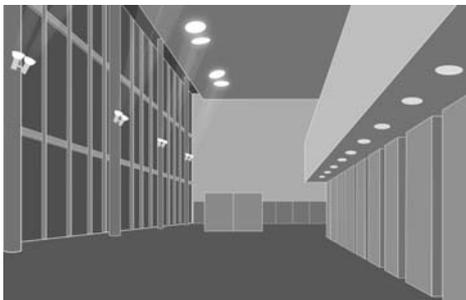
Stromschienensysteme sind flexibel. An jeder Stelle der Schienen können Leuchten und Strahler nach Bedarf über Adapter eingesetzt werden und bringen Licht an den gewünschten Ort.



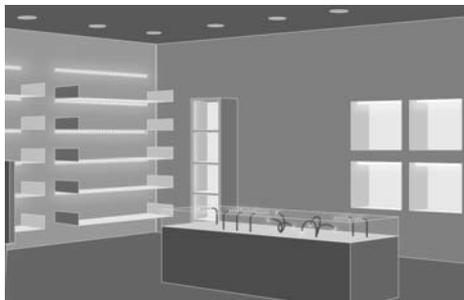
Lichtkanalsysteme bieten hohe Flexibilität: So können etwa Langfeldleuchten für die Allgemeinbeleuchtung mit Hochleistungsstrahlern für die Akzentbeleuchtung kombiniert werden.



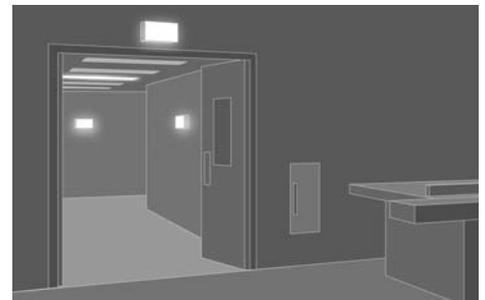
Wand- und Treppeneinbauleuchten betonen die Architektur und weisen Gästen und Besuchern den Weg. Als zusätzliche Beleuchtung sorgen sie für bessere Orientierung und mehr Sicherheit.



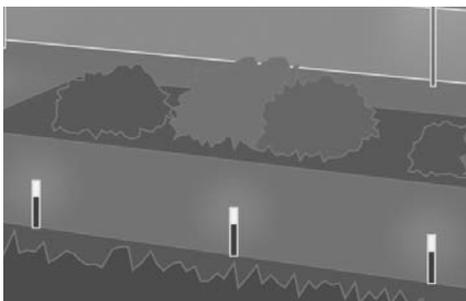
Werfer-Spiegel-Leuchten erzeugen aus der Höhe hohe Beleuchtungsstärken mithilfe eines meist leicht konvex geformten Spiegels, der das Licht eines starken Strahlers in den Raum streut.



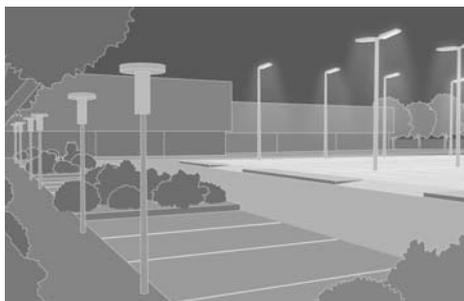
Vitrinenbeleuchtung: Faseroptische Beleuchtungssysteme und LED-Module sind aufgrund ihrer schlanken Abmessungen besonders gut für Anstrahlungen in Vitrinen geeignet.



Sicherheitsleuchten erleichtern die Orientierung bei einem Netzausfall, so dass Gebäude schnell verlassen werden können. Sie müssen unabhängig vom Stromnetz betrieben werden.



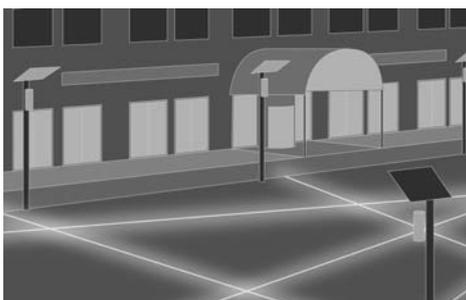
Pollerleuchten werden sowohl im privaten Bereich als auch in öffentlichen Anlagen häufig zur Beleuchtung von Wegen eingesetzt. Sie haben oft auch tagsüber dekorative Qualität.



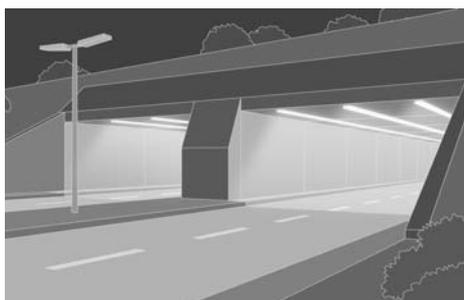
Mastleuchten und **Lichtstelen** werden vielfach eingesetzt. Hohe Mastleuchten sind richtig für die Beleuchtung großer Flächen, Lichtstelen erhellen Wege und kleine Parkplätze.



Mastauslegerleuchten, je nach Beleuchtungsaufgabe als Ein- oder Zweifachausleger erhältlich, eignen sich als universale und energieeffiziente Lösungen in der Straßenbeleuchtung.



Lineare Bodeneinbauleuchten setzen dekorative Akzente auf Plätzen und Straßen. Die Lichtbänder stellen bei Betrieb mit RGB-Steuerungen auch farbiges Licht zur Verfügung.



Tunnelleuchten arbeiten im Dauerbetrieb unter erschwerten Schmutzbedingungen. Sie müssen besonders robust und wartungsarm sein. LED-Leuchten bieten hier viele Vorteile.



Fassadenleuchten, Down- und Uplights im Außenbereich akzentuieren Fassaden und lenken den Blick auf Details. Ihr Licht gibt zudem Sicherheit und Orientierung.

Lichtplanung

Die richtige Beleuchtung sorgt für ein angenehmes Lichtklima, ist Voraussetzung für gutes Sehen und Zufriedenheit. Um den vielfältigen Anforderungen an eine ergonomisch und lichttechnisch einwandfreie Beleuchtung gerecht zu werden, ist eine sachkundige Planung erforderlich.

In Innenräumen geht es vor allem darum, dass alle Sehaufgaben – vor allem an Arbeitsplätzen – gut erfüllt werden können und Störungen, etwa durch Blendung, weitestgehend vermieden werden. Neue Beleuchtungskonzepte orientieren sich an den konkreten Lichtbedürfnissen und konzentrieren sich auf die jeweilige Sehaufgabe. So lassen sich Menge und Qualität der Beleuchtung präzise für jeden Bereich des Arbeitsplatzes bestimmen.

Bei der Planung empfiehlt sich die Beachtung der Arbeitsstättenregel ASR A3.4 sowie der Norm DIN EN 12464-1 als anerkannte Regel der Technik. Die Norm definiert die Beleuchtung für den Bereich der Sehaufgabe, der Tätigkeit oder den Raumbereich. Eine ausgewogene Mischung notwendiger Helligkeitsniveaus ist für alle Arbeitsbereiche die richtige Wahl. Die Beleuchtung kann nach drei Konzepten angelegt werden:

- **Auf den Raumbereich bezogene Beleuchtung** – bietet im ganzen Raum gleichmäßiges Licht und ist zu bevorzugen, wenn die Anordnung der Arbeitsplätze noch nicht feststeht oder flexibel bleiben soll. Umsetzung: direkt-/indirekt

strahlende Pendelleuchten oder großflächige Leuchten in und an der Decke.

- **Auf den Tätigkeitsbereich bezogene Beleuchtung** – fokussiert auf den Arbeitsbereich, der mit mindestens 500 Lux beleuchtet wird. Diese Variante ist immer sinnvoll, wenn Arbeitsplätze unterschiedliche Sehaufgaben aufweisen, die individuelle Beleuchtungsstärken erfordern, oder wenn Arbeitsinseln voneinander getrennt werden sollen. Der Umgebungsbereich wird mit mindestens 300 Lux erhellt. Umsetzung: direktstrahlende Anbauleuchten sowie Pendel- oder Stehleuchten mit direkt-/indirekter Lichtverteilung; für den Umgebungsbereich können z. B. Downlights eingesetzt werden.

- **Auf den Bereich der Sehaufgabe bezogene Beleuchtung** – ist in der Regel auf Teilflächen konzentriert. Eine typische Teilfläche ist z. B. die Arbeitsfläche auf dem Schreibtisch. Sie kann einfach mit individuell einstellbaren Schreibtischleuchten erhellt werden.

Komplexe Beleuchtungsaufgaben erfordern das Know-how von Spezialisten. Die Licht-

planung sollten deshalb qualifizierte Fachplaner übernehmen, die z. B. durch entsprechende Lehrgänge zertifiziert sind. Sie kennen nicht nur den aktuellen Stand der Technik, sondern auch die relevanten Regelwerke, die beachtet werden müssen. Ebenfalls wichtig ist, dass alle Baubeteiligten von Beginn an interdisziplinär zusammenarbeiten. Vor dem Lichtkonzept steht stets eine Objektanalyse:

- Welche Tätigkeiten und Sehaufgaben fallen an welchem Ort an?
- Wie lauten die Anforderungen der Nutzer und der Investoren?
- Welche Vorgaben müssen durch Architektur, Möblierung oder Maschinenanordnungen beachtet werden?

Erst wenn das Lichtkonzept steht, werden die geeigneten Lichtquellen und Leuchten ausgewählt. Zunächst wird die Anzahl der Lichtquellen für die geforderte Beleuchtungsstärke berechnet, anschließend Anzahl, Typ und Anordnung der Leuchten festgelegt sowie entsprechende Lichtmanagementsysteme gewählt. Sie sind unverzichtbar, wenn dynamische Lichtszenarien oder eine biologisch wirksame Beleuchtung realisiert werden sollen.

[79] Beleuchtungsplanung geschieht heute am Computer. Spezielle Programme helfen bei lichttechnischen Berechnungen und liefern realitätsnahe Simulationen, im Beispiel eine innerstädtische Freifläche mit anschließender Straße.



Planung am Computer

Mit dem Wirkungsgradverfahren kann die Anzahl der erforderlichen Leuchten ermittelt werden, die für die normgerechte Beleuchtung notwendig sind (= mittlere Beleuchtungsstärke). Für die Berechnung der räumlichen Verteilung der Beleuchtungsstärke stehen diverse Computerprogramme zur Verfügung.

Diese Planungsprogramme ermöglichen über menügesteuerte Eingaben die komplette lichttechnische Berechnung einer Beleuchtungsanlage – von einer ersten überschlägigen Ermittlung bis zur ausführlichen lichttechnischen Dokumentation eines Projekts inklusive Materiallisten. Grafische Darstellungen vermitteln ein anschauliches Bild der Beleuchtungsanlage.

Straßenbeleuchtung

Die Straßenbeleuchtung dient der Verkehrssicherheit bei Dunkelheit. Sie ermöglicht bzw. verbessert in den Dunkelstunden die Informationsaufnahme. Dabei gilt das Motto: „gut sehen und gut gesehen werden“.

Die Beleuchtungsanlage wird nach dem Gefährdungspotenzial und den Sehaufgaben der Hauptnutzer ausgelegt. Mit zunehmender Verkehrsstärke und unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern wie Autofahrern, Radfahrern und Fußgängern steigt die Gefährdung. Auch die Übersichtlichkeit einer Straße und mögliche Konfliktzonen sind von Bedeutung bei der Festlegung des Beleuchtungsniveaus.

Vereinfacht gesagt gilt: Je größer das Unfallrisiko, desto mehr Licht muss für die Straßenbeleuchtung zur Verfügung stehen. Hinweise zur Klassifizierung geben entsprechende Normen wie die DIN EN 13201-1. In mehreren Schritten leitet das Auswahlverfahren zur entsprechenden Anforderung und der mindestens einzuhaltenden lichttechnischen Werte. Ziel der Beleuchtungsplanung ist es, die geforderten Güte Merkmale der jeweiligen Beleuchtungssituation – wie Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte, Gesamt- und Längsgleichmäßigkeit und Blendungsbegrenzung – zu erreichen.

Die sinnvolle Positionierung der Masten und Lichtpunkthöhen, eine gute Lichtstärkeverteilung und optimaler Lichtstrom führen zu einer wirtschaftlichen Lösung. Der Wechsel auf eine moderne Straßenbeleuchtung mit langlebigen Leuchtmitteln, hoher Lichtausbeute und optimaler Lichtlenkung bringt erhebliche Einsparungen für die Kommunen. Von Reduzierschaltungen bis zu Lichtmanagementsystemen reichen die Möglichkeiten, mit moderner Technik viel Energie und Kosten zu sparen.

 Mehr Informationen zur Straßenbeleuchtung gibt es in Heft *licht.wissen 03 „Straßen, Wege und Plätze“*; über Bürobeleuchtung informiert Heft *licht.wissen 04 und über Industriebeleuchtung Heft licht.wissen 05. Zur Beleuchtung von Arbeitsstätten hat licht.de den „Leitfaden zur DIN EN 12464-1“ herausgegeben.*

Beleuchtungsplanung nach dem Wirkungsgradverfahren

Die Druckschrift „Projektion von Beleuchtungsanlagen nach dem Wirkungsgradverfahren“ der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft LiTG e.V. beschreibt die Arbeitsweise und nennt Raumwirkungsgrade für eine Anzahl von Standardleuchten.

Die erforderliche Leuchtenzahl je nach gewünschter Beleuchtungsstärke wird mit folgender Formel berechnet:

$$n = \frac{E \cdot A}{z \cdot \Phi \cdot \eta_B \cdot WF}$$

Darin bedeuten:

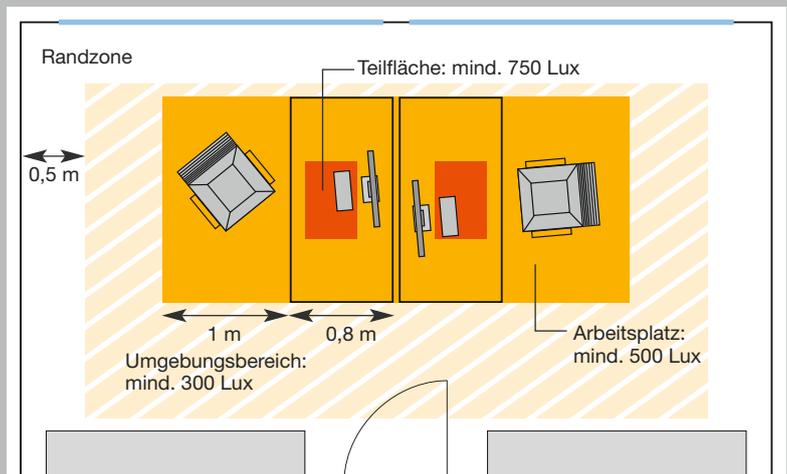
- n = Leuchtenanzahl
- E = Beleuchtungsstärke
- A = Fläche oder Teilfläche
- z = Anzahl Lampen je Leuchte
- Φ = Lichtstrom einer Lampe
- η_B = Beleuchtungswirkungsgrad
(= Leuchten-Betriebswirkungsgrad
[= η_{LB}] x Raumwirkungsgrad [= η_R])
- WF = Wartungsfaktor

Der Raumwirkungsgrad ist von der Lichtstromverteilung der Leuchte, der Raumgeometrie und den Reflexionsgraden im Raum abhängig. Die Leuchtenhersteller stellen Informationen zu den Beleuchtungswirkungsgraden zur Verfügung.

Planung der Beleuchtung

[80] Ein Arbeitsplatz im Büro besteht aus den Arbeits- und Bewegungsflächen sowie zugehörigen Stellflächen (in der Grafik orange ausgeführt). Ihn umgibt bis zu den Raumbegrenzungsflächen der Umgebungsbereich. Mit dieser Festlegung werden die Anforderung der DIN EN 12464-1 an einen Büroarbeitsplatz erfüllt. Bei der Berechnung kann ein Streifen von 0,5 Metern an den Wänden entfallen, wenn darin keine Bereiche der Sehaufgabe liegen.

Arbeitsplätze sollten mit mindestens 500 Lux beleuchtet sein; anspruchsvolle Sehaufgaben erfordern auf Teilflächen mindestens 750 Lux. Geringer sind die Beleuchtungsanforderungen im unmittelbaren Umgebungsbereich mit einer Beleuchtungsstärke von mindestens 300 Lux.





Lichtmanagement: komfortabel und effizient

Bedarfsgerecht und äußerst komfortabel, ergonomisch und sehr effizient: Mit maßgeschneiderten Lichtmanagementsystemen wird die Beleuchtung flexibel und nachhaltig.

Mit modernem Lichtmanagement wird die Beleuchtung intelligent. Digitale Steuerung sorgt dafür, dass stets das richtige Licht zur richtigen Zeit in der richtigen Menge zur Verfügung steht: vormittags konzentriert arbeiten bei tageslichthell-aktivierendem Licht, abends bei gemütlich-warmer Beleuchtung entspannen. Das richtige Licht unterstützt den Menschen also nicht nur bei seinen Sehauftgaben. Es erzeugt zudem eine angenehme Atmosphäre und fördert das Wohlbefinden, denn Licht beeinflusst auch unseren biologischen Rhythmus – unsere „innere Uhr“.

Die Beleuchtung passt sich immer mehr speziellen Anforderungen und persönlichen Bedürfnissen an. Je nach Ausbaustufe und Bedarf lassen sich Lösungen für Leuchten, einzelne Räume oder komplexe Gebäude realisieren – und ganz bequem auch schon per Smartphone steuern. Bausteine des Lichtmanagements sind:

- abrufbare Lichtszenen für verschiedene Tätigkeiten (etwa im Konferenzraum) und Inszenierungen (wie im Schaufenster oder an Fassaden);
- Bewegungsmelder: Sie sorgen dafür,

dass Licht nur dann eingeschaltet wird, wenn jemand im Raum ist oder eine Außenfläche betritt;

- Regelung des Beleuchtungsniveaus in Abhängigkeit vom Tageslicht durch dimmen und/oder Teilabschaltungen.

Lichtmanagement spart Energie

Natürliches Tageslicht ist kostenlos verfügbar, wirkt positiv auf das Wohlempfinden und wird auch von der Arbeitsstättenregel ASR A3.4 gefordert. Sensoren messen im Raum und im Freien die natürliche Helligkeit; künstliches Licht wird nach Bedarf hinzu geschaltet und gedimmt.

An sicherheitsrelevanten Stellen, wo das Licht nicht ausgeschaltet werden darf, kann alternativ das Beleuchtungsniveau stark heruntergefahren werden. Dafür werden Präsenzmelder und zur Lichtquelle passende Dimm-Systeme eingesetzt, auch in Kombination mit einer Zeitsteuerung. Auf diese Weise kann der Stromverbrauch einzelner Leuchten gegenüber der installierten Leistung bis zu 50 Prozent gesenkt werden, ohne dass der Nutzer Lichtqualität einbüßt.

Mehr Sicherheit

Lichtmanagementsysteme bieten auch in der städtischen Straßenbeleuchtung viele Vorteile. So lassen sich einzelne Lichtpunkte oder Gruppen schalten oder dimmen, um das Beleuchtungsniveau den tatsächlichen Erfordernissen anzupassen: Bei stärkerem Verkehrsaufkommen, an kritischen Stellen mit erhöhter Unfallgefahr oder bei ungünstiger Witterung wird das Beleuchtungsniveau angehoben, in Zeiten mit geringem Verkehrsaufkommen gesenkt. Der Wartungsplan ist hinterlegt; defekte Lichtquellen werden automatisch gemeldet.

Auch Schutz vor Einbruch ist möglich. So kann etwa der Wachdienst über das System die Beleuchtung einschalten. Die Sicherheitsbeleuchtung kann direkt integriert und besondere Anforderungen von gefährlichen Arbeitsplätzen, wie etwa beim Fräsen, berücksichtigt werden.

Lichtmanagement fürs Wohlbefinden

In der Innenraumbeleuchtung werden intelligente Lichtsteuerungen zunehmend eingesetzt, um eine biologisch wirksame Beleuchtung nach dem Vorbild des Tageslichts



82



83



84

zu realisieren. Wechselnde Helligkeiten und Lichtfarben motivieren und unterstützen die Gesundheit auf natürliche Weise, vor allem in tageslichtarmen Bereichen an Arbeitsplätzen, in Schule oder Pflege. So fördert großflächiges tageslichtweißes Licht mit hohen Blauanteilen von mindestens 5.300 Kelvin tagsüber die Konzentration. Abends stimmen warme Lichtfarben (bis zu 3.300 Kelvin) und niedrige Beleuchtungsstärken den Körper dann auf die Nachtruhe ein.

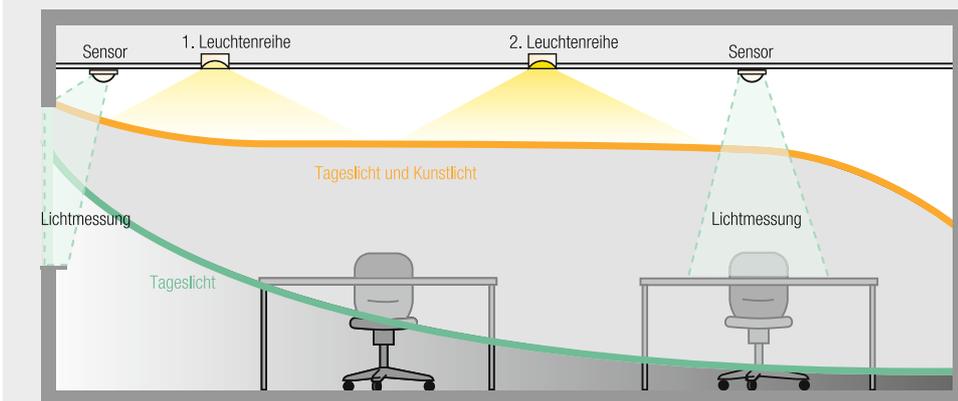
Über Lichtmanagement informiert Heft *licht.wissen 12*; dem Thema *biologisch wirksames Licht* widmet sich Heft *licht.wissen 19*.

[81] Flexibles Licht für die neue Mode: Lichtfarbe und Helligkeit der LED-Beleuchtung wird auf die jeweilige Kollektion und die Tageszeit abgestimmt.

[82 – 84] Eine biologisch wirksame Beleuchtung mit wechselnden Lichtfarben und Helligkeiten unterstützt den Tag-Nacht-Wechsel von Patienten und fördert die Genesung.

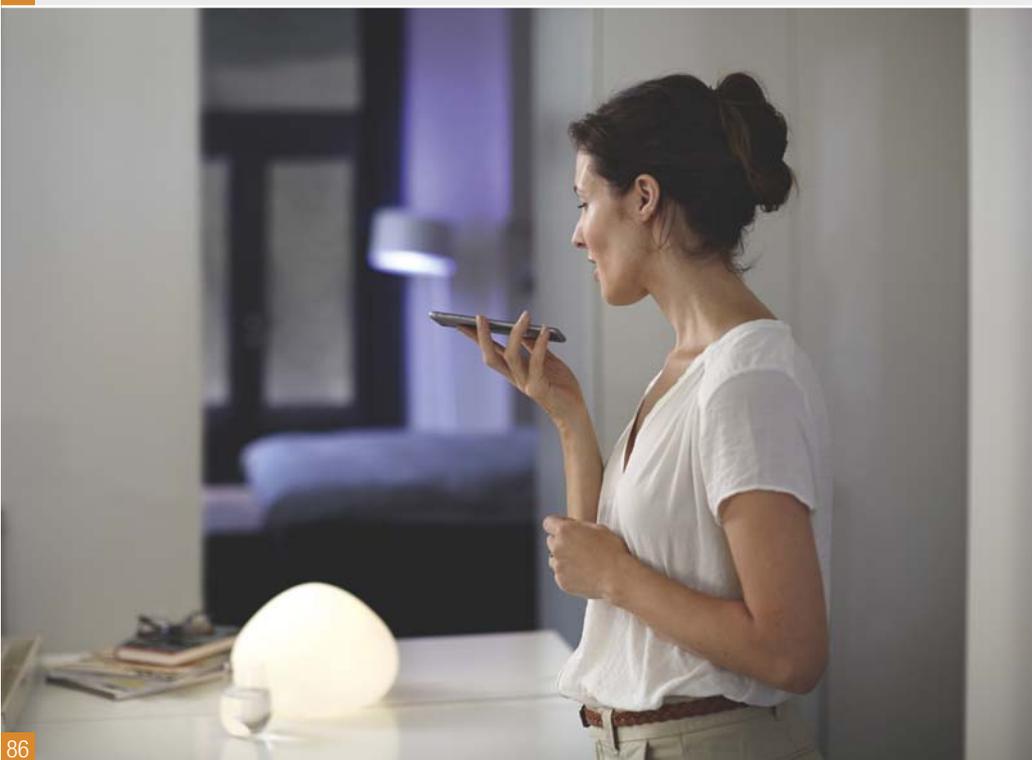
[85] Tageslichtabhängige Lichtsteuerung spart Energie: Lichtsensoren am Fenster und im Raum messen die Lichtmenge und steuern das Beleuchtungsniveau nach dem Tageslichteinfall.

[86] Smarte Beleuchtung: Einfache Lösungen lassen sich auch bequem mit dem Smartphone steuern.



85

© licht.de



86

Energieeffizientes Licht

Energieeffizienz ist die Summe von hohem Wirkungsgrad des Leuchtensystems in Verbindung mit einer bedarfsgerechten Anwendung und einer hohen Qualität der Beleuchtung. So wird die Umwelt geschont.

Zu den Qualitätsmerkmalen einer Beleuchtungsanlage zählt heute ein geringer Energieverbrauch. Der Einsatz effizienter Lichttechnik und die intelligente Nutzung von Tageslicht schonen die Umwelt und senken die Kosten.

Mehr Lichtqualität, weniger Kosten

Die entsprechende Beleuchtungstechnik ist vorhanden. Wie viel einzelne Maßnahmen sparen können, zeigen die Grafiken zu den Sparpotenzialen auf Seite 49. Folgende Komponenten tragen zum Erfolg bei:

- Leuchten mit hohen Betriebswirkungsgraden und optimierter Lichtlenkung durch entsprechende Raster und Reflektoren,
- effiziente Lichtquellen mit hohen Lichtausbeuten (z. B. LED-Module),
- moderne elektronische Betriebs- und Vorschaltgeräte,
- intelligent geplante Lichtkonzepte mit unterschiedlichen Schaltgruppen, die einzeln und unabhängig voneinander gedimmt und gesteuert werden können,
- Lichtmanagementsysteme, die das Tageslicht und eine Präsenzkontrolle einbeziehen.

Präsenzmelder dafür, dass Leuchten automatisch gedimmt oder abgeschaltet werden, solange kein Licht gebraucht wird. Noch mehr Effizienz bietet die Nutzung des natürlichen Tageslichts: In Kombination mit einem Lichtmanagementsystem kann damit gegenüber einer alten Anlage der Energiebedarf um bis zu 80 Prozent gesenkt werden.

Lichtmanagementsysteme gibt es in unterschiedlichen Ausbaustufen (*siehe dazu auch Seite 46f.*). Die Möglichkeiten reichen von der einfachen Regelung einzelner Leuchten bis zu komplexen Anlagen, die in die Gebäudesystemtechnik integriert sind.

EnEV: Energiesparen ist Pflicht

Zum effizienten Umgang mit den Ressourcen verpflichtet auch die Energieeinsparverordnung (EnEV) in der aktuellen Version vom Oktober 2014. Sie regelt den maximal zulässigen Gesamtenergiebedarf von Gebäuden inklusive der Beleuchtung. Nach der EnEV muss für jedes Gebäude ein Energieausweis erstellt werden – und vor Neubau oder Sanierung stets der primäre oder tatsächliche Energiebedarf der Beleuchtung ermittelt werden. Grundlage der

Steuersysteme bieten hohen Komfort und maximales Einsparpotenzial. So sorgen

[87] Überzeugendes Beispiel: Natürliches Tageslicht erhellt tagsüber die Büroräume – unterstützt von LEDs und intelligentem Lichtmanagement, die effizient für gute Arbeitsbedingungen sorgen.

[89 + 90] Sowohl in der Innen- als auch in der Außenbeleuchtung spart der Wechsel zu energieeffizienten Leuchtmitteln in Kombination mit modernem Lichtmanagement bis zu 80 Prozent Strom und Betriebskosten.



Berechnung ist das Verfahren nach DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“. Teil 4 behandelt den Nutz- und Endenergiebedarf für die Beleuchtung.

Beleuchtungsqualität geht vor

Energie sparen ist wichtig. Doch darf die Beleuchtungsqualität nicht unter Sparmaßnahmen leiden. Deshalb gelten für die künstliche Beleuchtung – und übrigens auch für das einfallende Tageslicht – die lichttechnischen Gütemerkmale (siehe dazu auch Seite 15). Denn das Licht wird für die Menschen geplant: Und nicht nur in der Arbeitswelt soll es bedarfsgerecht sein, hohe Ansprüche an die visuelle Ergonomie erfüllen, das Wohlbefinden fördern und die Gesundheit erhalten.

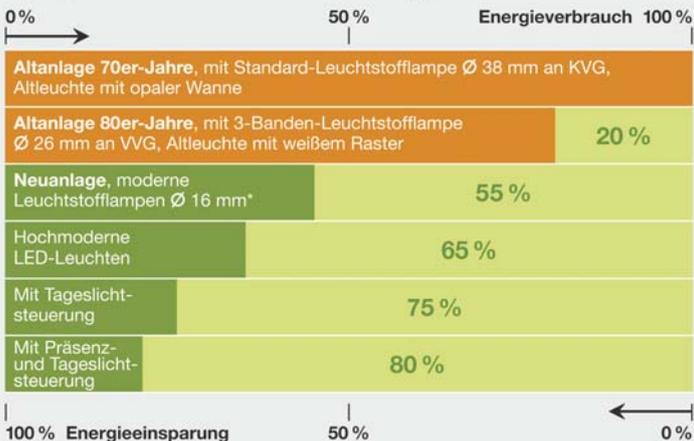
 Infos zu nachhaltiger Beleuchtung gibt's in Heft *licht.wissen 20*; über Lichtmanagement informiert Heft *licht.wissen 12*.

 Mehr Informationen rund um die Sanierung von Beleuchtungsanlagen, Kostenplanung und Finanzierung bieten die *dena-Lotsen zur Innen- und Straßenbeleuchtung* (www.lotse-innenbeleuchtung.de / www.lotse-strassenbeleuchtung.de).



88

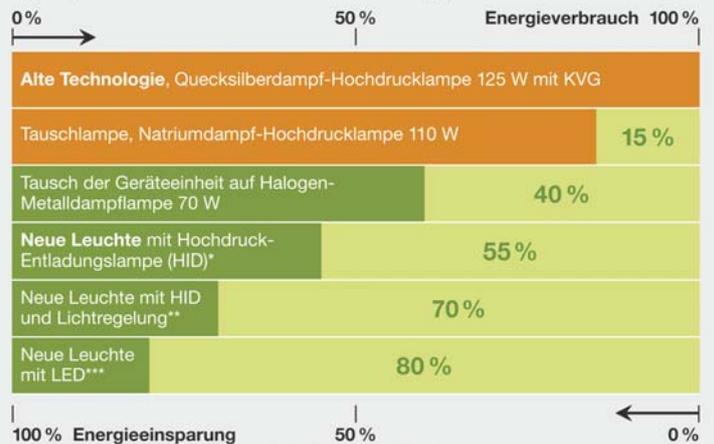
Sparpotenziale Innenbeleuchtung



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

89

Sparpotenziale Außenbeleuchtung



* Natriumdampf-Hochdrucklampe oder Halogen-Metall dampflampe
 ** Natriumdampf-Hochdrucklampe oder Halogen-Metall dampflampe, mit Regelsystem und 50 % Leistung während 2.000 Std.
 *** Mit Regelsystem und 50 % Leistung während 2.000 Std. © licht.de

90

Nachhaltige Lichttechnik: „grün“ und gut

Moderne Lichtquellen und effiziente Steuerung der Beleuchtung verbrauchen wenig Energie und entlasten die Umwelt. „Grüne“ Lichttechnik kann noch mehr: Sie überzeugt mit guten Ökobilanzen, spart Kosten und sorgt für mehr Lebensqualität.

Mit jeder Kilowattstunde Strom, die eingespart wird, sinkt der Ausstoß der Kohlendioxid (CO₂)-Emission. Deshalb ist Energiesparen auch Klimaschutz – und europaweit ein Thema. Die europäische Kommission verfolgt in dieser Frage ehrgeizige Ziele: Im „Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO₂-armen Wirtschaft bis 2050“ untersucht sie neue Wege zur Senkung der Treibhausgas-Emissionen um 80 bis 95 Prozent.

Ressourcen schonen

Der Anteil der Beleuchtung am weltweiten Stromverbrauch ist nach Angaben der Internationalen Energieagentur (IEA) bereits von ursprünglich rund 19 auf 15 Prozent (2014) gesunken. Moderne Lichttechnik bietet hohes Einsparpotenzial und kann viel zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen. Effiziente Lichtquellen, optimierte Leuchten und elektronische Steuerung schonen natürliche Ressourcen, können recycelt werden und sparen Kosten. Sie erleichtern Sehaufgaben und fördern das Wohlbefinden der Menschen. Eine Steuerung sorgt zudem dafür, dass Licht nur dann eingeschaltet ist, wenn es benötigt wird.

Ökodesign-Richtlinie (ErP): Energiesparen ist Pflicht

Zunehmend verpflichten europäische und nationale Gesetzgebung Kommunen, Unternehmen und auch Privathaushalte zum intelligenten Umgang mit Energie. So werden Energieverschwender stufenweise aus den Regalen verbannt, wie z. B. 2015 ineffiziente Hochdruck-Quecksilberdampfampfen.

Den Rahmen für die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte legt die Ökodesign-Richtlinie – korrekt: ErP-Richtlinie (Energy-related Products/Richtlinie 2005/32/EG) – fest. Sie trat im November 2009 in Kraft und löste die vormalige EuP-Direktive (Energy using Products) ab. Hersteller sind dazu verpflichtet, technische Informationen zu ihrem Produkt in einer begleitenden Dokumentation sowie im Internet zur Verfügung zu stellen.

LEDs sparen viel CO₂

Das Beratungsunternehmen McKinsey legte in der erstmals im August 2011 veröffentlichten und 2012 aktualisierten Studie „Lighting the way: Perspectives on the global lighting market“ dar, dass Beleuch-

[91] Studie von Prof. Dr. Gerhard Eisenbeis zur Insektenverträglichkeit von LEDs im Vergleich zu konventionellen Lichtquellen. Im Untersuchungszeitraum (Sommer 2011) in Frankfurt am Main wurden die getesteten Lichtquellen mit Insektenfanggefäßen versehen, täglich ausgeleert und die Ausbeute gezählt. Das beste Ergebnis erzielten warmweiße LEDs.

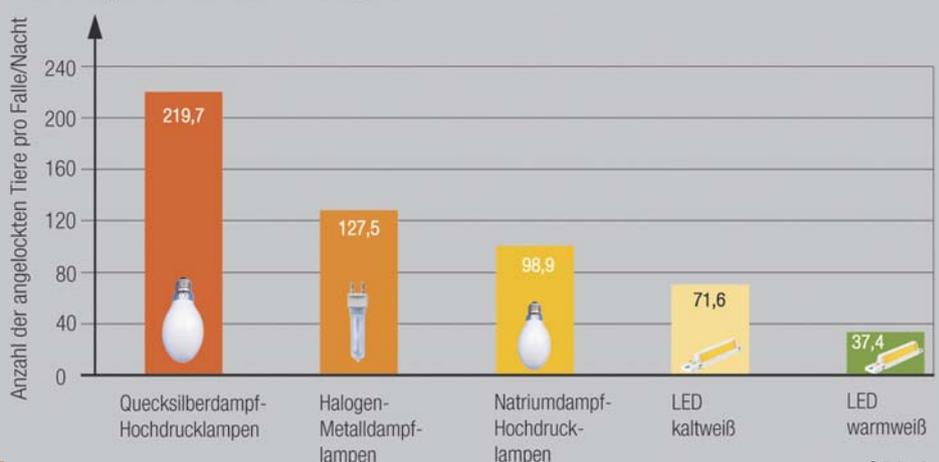
[92 + 93] Energieeffiziente LEDs und präzise ausgerichtete Leuchten mit Reflektortechnik sparen Energie, schützen vor „Lichtsmog“ und schonen nachtaktive Insekten.

Prüfung der photobiologischen Sicherheit

Im Spektrum von Lichtquellen für die Allgemeinbeleuchtung gibt es stets auch nicht sichtbare Strahlung, z. B. unter 380 nm ultraviolette (UV-) Strahlung und über 780 nm infrarote (IR-) Strahlung. Auch Blauanteile im sichtbaren Licht stellen eine gewisse Gefährdung für Augen und Haut dar.

Seit 2011 ist deshalb die Prüfung der photobiologischen Sicherheit nach DIN EN 62471 in der Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG festgeschrieben und somit verpflichtend für die CE-Kennzeichnung von Lichtquellen, Leuchten und Beleuchtungssystemen.

Insektenflug an unterschiedlichen Lichtquellen



tungslösungen auf LED-Basis im Vergleich zu anderen Klimaschutzmaßnahmen bei künftigen Entwicklungen in der Lichtbranche das höchste CO₂-Einsparpotenzial bieten. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass für die Einsparung von einer Tonne CO₂ pro Jahr durch energieeffiziente LED-Beleuchtung nur ein Fünftel der Kosten anfallen, die aufgebracht werden müssten, wenn die gleiche Menge CO₂ durch den Einsatz von Solaranlagen eingespart werden würde.

LEDs werden zudem als angenehm empfunden. So ermittelte das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) beim Wettbewerb „Kommunen in neuem Licht“ unter anderem die Akzeptanz von LED-Beleuchtung im Vergleich zu konventioneller Technik. Ein hoher Anteil der befragten Bürger bevorzugte die LED-Beleuchtung, vor allem in Bezug auf Farbtreue, Helligkeit und Sicherheitsempfinden.

Lichtsmog vermeiden

In der Außenbeleuchtung bieten LED-Technik und digitale Steuerung nicht nur hohe Effizienz: Durch präzise Lichtlenkung vermeiden sie unerwünschte Lichtimmissionen, die vor allem in Ballungsgebieten zunehmend als „Lichtsmog“ beklagt werden, und schonen nachaktive Insekten.

„Lichtsmog“ sollte schon im Planungsstadium einer Beleuchtungsanlage ausgeschlossen werden. Allerdings geben in Deutschland bislang weder das Gesetz

noch verwaltungsrechtliche Bestimmungen konkrete Grenzwerte für Lichtimmissionen vor. Alternativ können Mess- und Bewertungsmethoden sowie die daraus abgeleiteten maximal zulässigen Werte der LiTG für eine Bewertung herangezogen werden (= Lichttechnische Gesellschaft, Publikation Nr. 17/1998; www.litg.de). Ebenfalls relevant ist die zuletzt 2012 aktualisierte „Richtlinie zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen“ (= Licht-Richtlinie), die der Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) den Umweltschutzbehörden zur Anwendung empfohlen hat. Mehrere europäische Länder, darunter Tschechien, Italien und Spanien, haben bereits Gesetze zum Schutz des Nachthimmels erlassen.

Lebensräume von Insekten schützen

Künstliches Licht lockt Insekten. Für die meisten nachtaktiven Insekten besteht daher die Gefahr, dass nächtliche Beleuchtung ihren natürlichen Lebensrhythmus stört. Insektenaugen reagieren empfindlicher auf die spektrale Zusammensetzung von Licht. Studien zufolge werden sie von LED-Licht weitaus weniger angezogen, da es keine UV-Strahlung enthält (siehe Grafik 90).

Wohin mit alten Lampen und Leuchten?

Zum nachhaltigen Umgang mit Ressourcen zählt auch die Wiederverwertung von Rohstoffen. Das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) regelt die Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung bzw. das Recycling von entsprechenden Geräten.

Zuständig sind dafür die jeweiligen Hersteller bzw. Importeure. Sie können diese Aufgabe auch an Dritte übergeben. Ausgediente Lampen und Leuchten aus der Straßenbeleuchtung werden zum Beispiel von dem Gemeinschaftsunternehmen Lightcycle-Retourlogistik und Service GmbH angenommen (www.lightcycle.de). Informationen zur Entsorgung gibt der ZVEI unter www.zvei.org.

Schädliche Stoffe in Lampen

Mit der im Mai 2011 novellierten Fassung der RoHS-Richtlinie (Restriction of the Use of certain Hazardous Substances) werden Hersteller von Lichtquellen europaweit verpflichtet, schädliche Stoffe wie Blei, Quecksilber, Nickel oder Cadmium nur in vorgegebenen, minimalen Mengen zu verwenden.

 Mehr Informationen gibt es in Heft *licht.wissen 20 „Nachhaltige Beleuchtung“*; über LED-Technologie informiert der ZVEI-Leitfaden *„Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung: Begriffe, Definitionen und Messverfahren.“* Beide Publikationen gibt es bei www.licht.de zum Download.



Beleuchtungskosten

Ob Neuanlage oder Sanierung: Grundlage aller Entscheidungen ist eine detaillierte Betrachtung der Beleuchtungskosten – und aller Faktoren, die sie beeinflussen. Dazu zählt bei einer Sanierung auch ein Vergleich zur Altanlage. Der größte Kostenanteil entfällt in der Regel auf den Betrieb.

Ist die lichttechnische Qualität festgelegt, müssen Planer und Entscheider im nächsten Schritt eine Kostenkalkulation erstellen und die Wirtschaftlichkeit einer Beleuchtungsanlage berechnen. Bestes Instrument dafür ist eine Analyse der Kosten über den gesamten Lebenszyklus – von der Produktauswahl über den Betrieb bis zur Entsorgung. Diese Analyse vergleicht nicht nur die Kosten der Anschaffung, sondern bildet alle anfallenden Kosten ab: Investition, Energie und Wartung sowie Entsorgung. So ist sichergestellt, dass die Wirtschaftlichkeit einer Anlage korrekt beurteilt werden kann.

Wichtig zu wissen: Im Zeitalter steigender Strompreise und äußerst effizienter Beleuchtungslösungen betragen die Betriebsausgaben für Energie, Wartung und Instandhaltung rund 80 Prozent der gesamten Lebenszykluskosten; Anschaffung und Installation schlagen dagegen nur mit rund 20 Prozent zu Buche. Innerhalb der Betriebskosten dominieren deutlich die Energiekosten: Hier lässt sich also mit dem größten

Hebel ansetzen, wenn Ausgaben für die Beleuchtung dauerhaft gesenkt werden sollen – ein überzeugendes Argument für den Einsatz energieeffizienter Beleuchtungstechnik mit LEDs und intelligentem Lichtmanagement.

Betrachtungszeitraum festlegen

Wichtig in der Lebenszyklusbetrachtung ist die Festlegung eines geeigneten Betrachtungszeitraums. Dieser sollte so gewählt werden, dass er dem wirtschaftlichen Horizont des Endkunden beziehungsweise der Anwendung entspricht. Dies gilt insbesondere dann, wenn es sich um ein Projekt in einem Mietgebäude handelt. Hier entsteht ein Investor-/Mieter-Dilemma, da nicht der Investor von der Einsparung profitiert, sondern der Mieter. Hier gibt es Modelle, etwa 50:50, damit beide Seiten von den Einsparungen profitieren.

Viele Investoren scheuen sich, den Betrachtungszeitraum auf mehr als fünf Jahre anzulegen, da sie selbst in einer sich schnell ändernden Welt eine Zukunftsprog-

nose für einen sehr langen Zeitraum nicht sicher erstellen können. In diesem Fall empfiehlt es sich, den Betrachtungszeitraum so zu wählen, dass er etwa 30 bis 50 Prozent über der Amortisationsdauer der einfachsten Beleuchtungslösung liegt. Damit ist sichergestellt, dass auch investitionsintensivere Lösungen (z. B. eine Lichtsteuerung) mit höherer Einsparung ihre Wirtschaftlichkeit beweisen und umgesetzt werden können.

Grundsätzlich gilt: Je länger der Betrachtungszeitraum gewählt werden kann, desto eher können optimierte Lösungen gewählt werden, die zu Beginn eine höhere Investition erfordern.

Kosten über den Lebenszyklus

Relevante Kostengrößen einer Lebenszyklusbetrachtung sind Wartungs-, Energie-, Reparatur-, Zins- und Anschaffungskosten, Förderungen sowie die Kosten für Demontage und Entsorgung. Leuchtenhersteller müssen Angaben zur Ausfallquote ihrer Produkte machen. Eventuell anfallende Er-



satzinvestitionen sind in der Analyse ebenfalls zu berücksichtigen.

Bei Betrachtung aller Kosten über die Lebensdauer fällt auf, dass Anlagen mit einer höheren Anfangsinvestition und damit auch einer längeren Amortisationszeit auf lange Sicht gleichwohl mehr Kosten sparen können als solche, die sich schneller amortisieren. Die Amortisationszeit als Entscheidungsparameter liefert deshalb in der Regel nur die einfachste Alternative, aber selten auch die beste und langfristig attraktivste Lösung.

So sind hochwertige LED-Leuchten plus Lichtmanagementsystem in der Anschaffung zwar meist teurer, überzeugen aber auf der Langstrecke dank hoher Effizienz und geringen Wartungskosten mit den geringsten Lebenszykluskosten. Zugleich bieten sie eine verlässlich höhere Lichtqualität – ein Plus fürs Wohlbefinden.



95

Kostenverteilung im Lebenszyklus einer Straßenleuchte

Lebenszykluskosten (TCO = Total Cost of Ownership) entstehen über einen definierten Zeitraum (z.B. 20 Jahre) und umfassen die Gesamtkosten von Investition zuzüglich Betrieb (inkl. Energiekosten) und Entsorgung



Investitionskosten

- Kosten der Anlage
- Installationskosten



Betriebskosten

- Energiekosten
- Wartungskosten
- Kosten für Ersatzteile
- Bestellkosten
- Lagerhaltungskosten



Kosten am Ende der Lebensdauer

- Entsorgungskosten
- Demontagekosten

© licht.de

96

[94 + 95] Moderne LED-Leuchten sparen Strom, senken die Betriebskosten und geben angenehm helles Licht.

[96] Die Investitionskosten spielen bei der Betrachtung der Kosten der gesamten Lebensdauer nur eine untergeordnete Rolle: Moderne Technologie kostet in der Regel zwar mehr in der Anschaffung, überzeugt aber im Betrieb durch hohe Effizienz und beste Lichtqualität.

Auf den Punkt: Messen von Beleuchtungsanlagen

Für die Überprüfung von Beleuchtungsanlagen gibt es geeignete Verfahren, die vor allem für professionelle Anwender wie Architekten, Lichtplaner und Installateure gedacht sind.

Messungen haben zum einen das Ziel, den Ist-Zustand einer vorhandenen Beleuchtungsanlage zu erfassen, um Hinweise auf Wartungs-, Instandhaltungs- oder Erneuerungsbedarf einer Anlage zu erhalten. Zum anderen lassen sich auf diesem Weg unterschiedliche Beleuchtungsanlagen miteinander vergleichen und die Lichtqualität neuer Beleuchtungsprojekte überprüfen.

In den relevanten Normen und Vorschriften sind die wichtigsten Messgrößen für eine einheitliche Bewertung der Beleuchtungsqualität festgelegt:

- die **Beleuchtungsstärke E** – z. B. als horizontale Beleuchtungsstärke E_h , als vertikale Beleuchtungsstärke E_v , als zylindrische Beleuchtungsstärke E_z oder halbzylindrische Beleuchtungsstärke E_{hz} ,
- die **Leuchtdichte L** – z. B. in der Straßenbeleuchtung, Tunnelbeleuchtung oder Innenraumbelichtung,
- der **Reflexionsgrad ρ** – z. B. für Decke, Wände und Boden bei Arbeitsstätten in Innenräumen und bei Sporthallen,
- die **Reflexionseigenschaften** von Fahrbahnoberflächen – z. B. in der Straßen- und Tunnelbeleuchtung,
- die **Netzspannung U und/oder die Umgebungstemperatur t_a** bei Beleuchtungsanlagen mit Lampen, deren Lichtstrom von der Betriebsspannung und/oder der Raum- bzw. Umgebungstemperatur abhängig sind.

Vorbereitung einer Messung

In der Praxis wird am häufigsten die Beleuchtungsstärke einer Anlage gemessen. Messgeräte – sogenannte Luxmeter – sind an den spektralen Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ des menschlichen Auges angepasst und simulieren dessen Lichtempfindlichkeit. Zudem müssen sie schräg einfallendes Licht cosinusgetreu bewerten.

Lichtmessungen sind theoretisch auch mit dem Smartphone und entsprechenden

Apps möglich. In der Praxis zeigen sich aber häufig gravierende Messfehler (bis über 50 Prozent).

Vor jeder Messung werden folgende Informationen erfasst:

- geometrische Maße der Beleuchtungsanlage,
- Art des Raumes und der dort ausgeübten Tätigkeiten,
- Größen, die gemessen werden, und Lage der Messpunkte,
- allgemeiner Zustand der Anlage, wie z. B. Alter, Zeitpunkt der letzten Reinigung und des letzten Lampenwechsels, Grad der Verschmutzung.

Bei Messungen sollte stets das Tageslicht verschattet sein. Ideal ist eine Messung bei Dunkelheit bzw. unter lichtdichter Abdeckung von Fensterflächen. Gelingt dies nicht, muss die Beleuchtungsstärke bei eingeschalteter und unmittelbar danach nochmals bei ausgeschalteter Anlage gemessen werden; die Differenz der Messwerte entspricht der Beleuchtungsstärke des künstlichen Lichts. Vor der Messung sind außerdem Netzspannung und Umgebungstemperatur zu prüfen. Außerdem sollten neue, eingebrannte Lichtquellen (Entladungslampen = mind. 100 Std. Betrieb) verwendet werden.

Messraster und Messhöhe

Zur Messung der Beleuchtungsstärken wird die Grundfläche eines Raumes in möglichst quadratische Teilflächen aufgeteilt. Dieses Messraster darf nicht mit dem Rastermaß der Leuchtenanordnung übereinstimmen, um nicht direkt unter den Leuchten jeweils nur Maximalwerte zu messen. Jedoch kön-

Raumlänge	Messpunktabstand
5 m	0,5 m
10 m	1 m
50 m	3 m

nen Symmetrieeigenschaften von Beleuchtung und Raum bzw. Flächen im Freien zu einer sinnvollen Reduzierung des Messumfanges genutzt werden. Vorgaben zum Messraster gibt es in DIN EN 12464 und DIN EN 12193.

Die Messwerte werden tabellarisch dargestellt. Eine grafische Darstellung der Beleuchtungsstärke in Isolux-Kurven ergibt sich, wenn man Messpunkte gleicher Beleuchtungsstärken miteinander verbindet.

Die Gleichmäßigkeit U_0 der Beleuchtungsstärke ergibt sich als Quotient aus der kleinsten gemessenen Beleuchtungsstärke E_{\min} und der ermittelten mittleren Beleuchtungsstärke E .

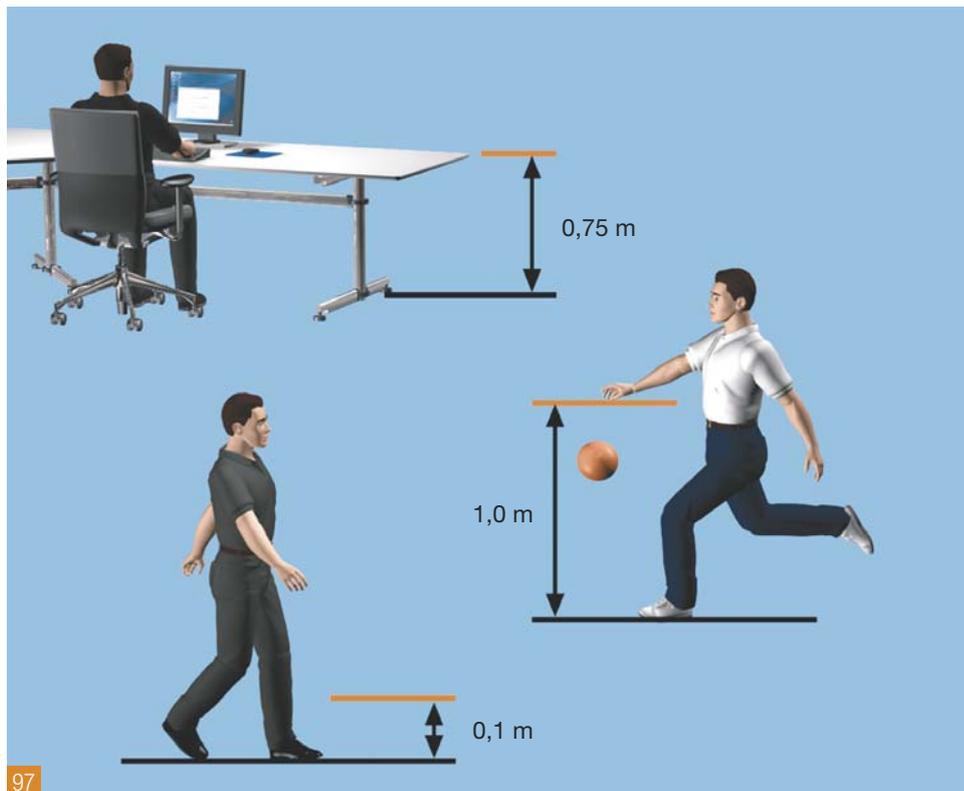
Messprotokoll erstellen

Zu jeder Messung wird ein Messprotokoll erstellt, in dem zum Beispiel außer den gemessenen Werten auch die

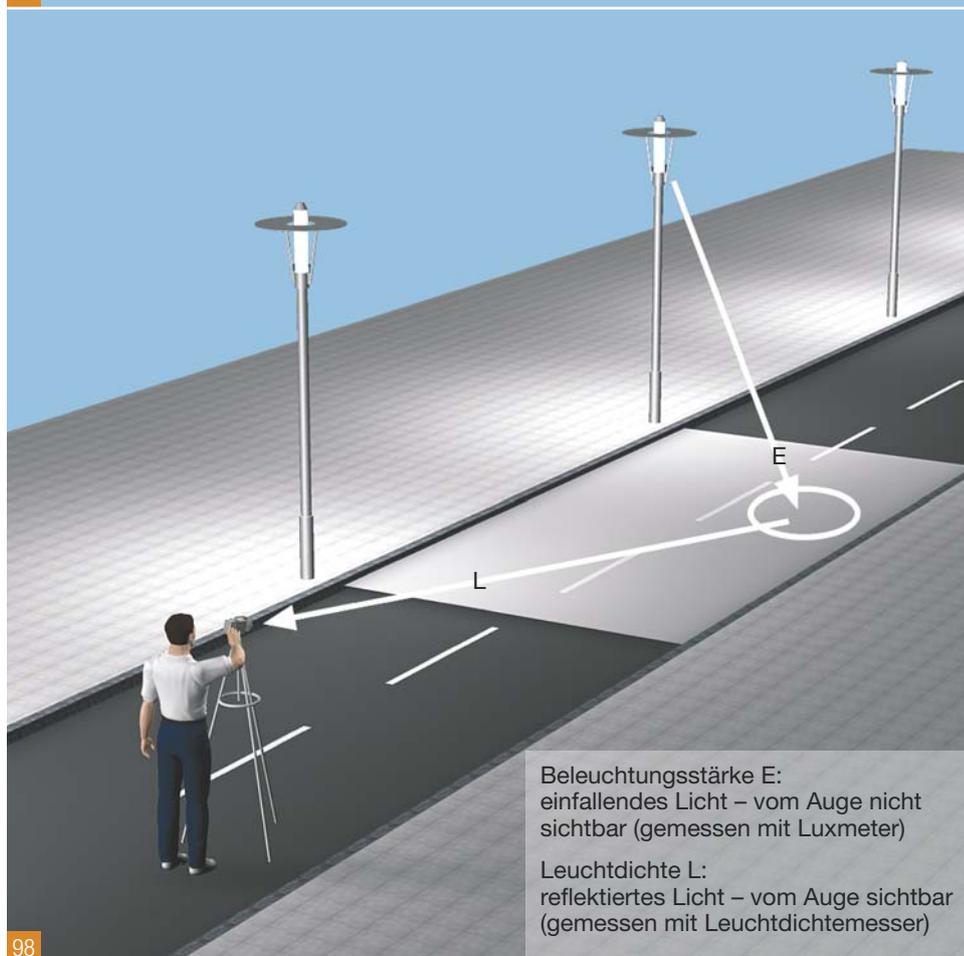
- Umfeldbedingungen,
- Angaben zu Lichtquellen, Leuchten und Geometrie der Beleuchtungsanlage festgehalten sind. Wer nicht nur die Kennwerte der Beleuchtungsqualität einträgt, sondern zugleich alle technischen Daten einer Anlage erfasst (z. B. auch Betriebsstunden pro Jahr, Stromkosten, Reinigungszyklus und Wartungsfaktoren), hat jederzeit eine einfach zu aktualisierende Übersicht zur Hand, um wirtschaftliche Entscheidungen zu treffen.

[97] Horizontale Beleuchtungsstärken werden in Innenräumen (Arbeitsstätten) 0,75 m über dem Boden und max. 0,1 m über dem Boden von Verkehrswegen, Straßen und Parkflächen gemessen. Vertikale Beleuchtungsstärken in Innen- und Außensportanlagen werden 1,0 m über dem Boden gemessen.

[98] Zur Bewertung einer Straßenbeleuchtung wird die Leuchtdichte L der Straßenoberfläche/Fahrbahn mit einem Leuchtdichtemesser gemessen.



97



98

Beleuchtungsstärke E:
einfallendes Licht – vom Auge nicht sichtbar (gemessen mit Luxmeter)

Leuchtdichte L:
reflektiertes Licht – vom Auge sichtbar (gemessen mit Leuchtdichtemesser)

Lichtmessgeräte und ihre Genauigkeit

Klasse	Güte	Anwendung
A	hohe	Präzisionsmessungen
B	mittlere	Betriebsmessungen
C	geringe	Orientierende Messungen



Normen, Verordnungen und Literatur

Künstliche Beleuchtung ist komplex. Normen und Verordnungen regeln die Anforderungen an die Komponenten einer Beleuchtungsanlage sowie für die Beleuchtung in Innen- oder Außenbereichen.

Grundlegende Normen zur Beleuchtung

Die jeweils aktuellen Fassungen der DIN-Normen des Deutschen Instituts für Normung e.V. sind erhältlich bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, www.beuth.de.

DIN EN 12665 (2011)

Licht und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung

DIN 5032-1 (1999)

Lichtmessung – Teil 1:
Photometrische Verfahren

DIN 5032-4 (1999)

Lichtmessung – Teil 4:
Messungen an Leuchten

DIN 5032-9 (2015)

Lichtmessung – Teil 9:
Messung der lichttechnischen Größen von inkohärent strahlenden Halbleiterlichtquellen

DIN SPEC 5031-100 (2015)

Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik –
Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren

Normen für Innen- und Außenbereiche

DIN EN 12464-1 (2014)

Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten –
Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen –
Teil 2: Arbeitsplätze im Freien

DIN SPEC 67600 (2013)

Biologisch wirksame Beleuchtung –
Planungsempfehlungen

DIN 5035-3 (2006)

Beleuchtung mit künstlichem Licht –
Beleuchtung im Gesundheitswesen

DIN 5035-6 (2006)

Beleuchtung mit künstlichem Licht –
Messung und Bewertung

DIN 5035-7 (2004)

Beleuchtung mit künstlichem Licht –
Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen
(Die Anwendung der Norm ist nur zulässig, wenn die Anforderung nicht im Widerspruch zu DIN EN 12464-1 steht)

DIN 5035-8 (2007)

Beleuchtung mit künstlichem Licht –
Arbeitsplatzleuchten – Anforderungen, Empfehlungen und Prüfung

DIN EN 1838 (2013)

Angewandte Lichttechnik – Notbeleuchtung

DIN EN 12193 (2007)

Licht und Beleuchtung –
Sportstättenbeleuchtung

Reihe DIN EN 13201 (2004ff.)

zur Straßenbeleuchtung – Teile 1 bis 5

Reihe DIN EN 13032

Licht und Beleuchtung –
Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten –
Teile 1 bis 4

Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR)

Die Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) werden vom Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA) ermittelt bzw. angepasst und vom Bundesministerium für Arbeit und Sozial bekannt gegeben.

ASR A3.4 „Beleuchtung“

ASR A3.4/3 „Sicherheitsbeleuchtung, optische Sicherheitsleitsysteme“

Publikationen der LiTG

Adresse der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft e.V. (LiTG):
Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin,
www.litg.de.



100

Publikation 12.3:2011
„Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen“

Publikation 13:1991
„Kontastwiedergabefaktor CRF – ein Gütemerkmal der Innenbeleuchtung“

Publikation 18:1999
„Verfahren zur Berechnung von horizontalen Beleuchtungsstärkeverteilungen in Innenräumen“

Publikation 20:2003
„Das UGR-Verfahren zur Bewertung der Direktblendung der künstlichen Beleuchtung in Innenräumen“

Publikation 25:2011
„Beurteilung der photobiologischen Sicherheit von Lampen und Leuchten“

Publikation 27:2015
„Ausgewählte Themen aus der Lichtmesstechnik“

Publikation 31:2015
„Farbqualität: Definition und Anwendungen“

Publikation 17:1998
„Straßenbeleuchtung und Sicherheit“

EU-Verordnungen

Verordnung (EU) Nr. 1194/2012 der Kommission vom 12. Dezember 2012 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des

Rates im Hinblick auf die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lampen mit gebündeltem Licht, LED-Lampen und dazugehörigen Geräten.

Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruck-Entladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb und zur Aufhebung der Richtlinie 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates.

Delegierte Verordnung (EU) Nr. 874/2012 der Kommission vom 12. Juli 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates in Hinblick auf die Energieverbrauchskennzeichnung von elektrischen Lampen und Leuchten.

Verordnung (EG) Nr. 859/2009 der Kommission vom 18. September 2009 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 244/2009 hinsichtlich der Anforderungen an die Ultraviolettstrahlung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht.

Delegierte Verordnung (EU) Nr. 518/2014 der Kommission vom 5. März 2014 zur Änderung der delegierten Verordnungen (EU) Nr. 1059/2010, (EU) Nr. 1060/2010, (EU) Nr. 1061/2010, (EU) Nr. 1062/2010, (EU) Nr. 626/2011, (EU) Nr. 392/2012, (EU) Nr. 874/2012, (EU) Nr. 665/2013, (EU) Nr.

811/2013 und (EU) Nr. 812/2013 der Kommission im Hinblick auf die Kennzeichnung energieverbrauchsrelevanter Produkte im Internet.

Verordnung (EU) Nr. 347/2010 der Kommission vom 21. April 2010 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission in Bezug auf die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruck-Entladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb.

Weitere Infos

Leitfaden „Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung: Begriffe, Definitionen und Messverfahren.“

Fachverband Licht im Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V., 2015 (www.zvei.org)

„Fotobiologische Sicherheit der Beleuchtung“, ZVEI, 2014 (www.zvei.org)

„Ecodesign Requirements for Directional Lamps, Light Emitting Diode Lamps and Related Requirements“, LightingEurope, 2013 (www.lightingeurope.org)

[99 + 100] LED-Medienfassadenleuchten: Mit Einbruch der Dunkelheit präsentiert die Fassade ein eindrucksvolles Farbenspiel. Eine Steuerung sorgt dafür, dass auch bewegte Bilder abgespielt werden können. Die Beleuchtung ist ebenso außergewöhnlich wie energieeffizient.

Jedes Heft!

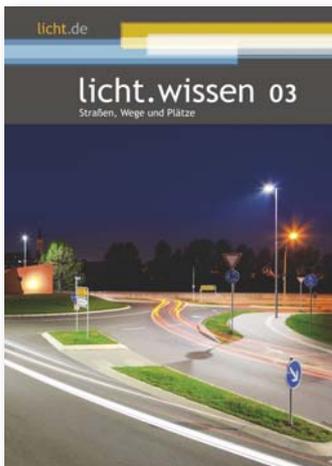
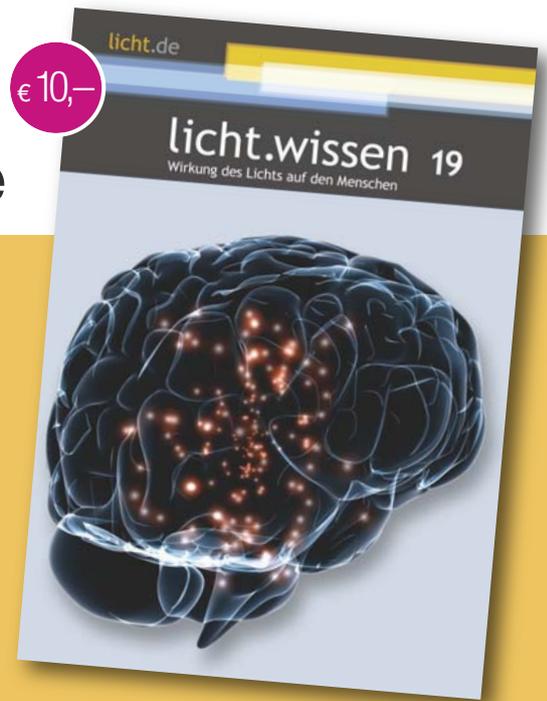
€ 10,-

Die Schriftenreihe von licht.de

licht.wissen 19

Wirkung des Lichts auf den Menschen

56 Seiten über die biologische Wirkung des Lichts: Heft 19 informiert über den aktuellen Stand der Forschung und erläutert anhand von Praxisbeispielen den Umgang mit melanopischem Licht.



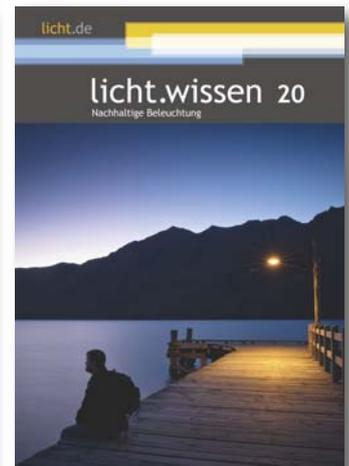
[licht.wissen 03] Beste Sehbedingungen und maximale Energieeffizienz: Heft 03 beschreibt, wie eine moderne Straßenbeleuchtung für mehr Sicherheit sorgt, Unfallgefahren reduziert und zu einem attraktiven Stadtbild beiträgt.



[licht.wissen 04] Eine optimale Beleuchtung im Büro fördert das Wohlbefinden und spart Energie- und Wartungskosten. Heft 04 stellt auf 56 Seiten Anwendungen vor und erklärt, welche Normen beachtet werden müssen.



[licht.wissen 14] 60 Seiten Anregungen für individuelle Beleuchtungsideen. Die Gliederung des Heftes folgt einem Hausrundgang. Fünf Spezial-Kapitel erklären lichttechnische Grundbegriffe, „Licht-Tipps“ ergänzen die Anwendungskapitel.



[licht.wissen 14] Effizient und komfortabel: Moderne Lichttechnik kann viel zu einer nachhaltigen Gestaltung unserer Umwelt beitragen. Heft 20 zeigt viele Praxisbeispiele und gibt wichtige Informationen für den Planungs- und Bauprozess.

licht.wissen – per Post oder als kostenfreie PDF-Datei (Download) unter www.licht.de/lichtwissen

- | | | |
|--|---|---|
| 01 Die Beleuchtung mit künstlichem Licht (2016) | 08 Sport und Freizeit (2010) | 15 Gute Beleuchtung rund ums Haus (2009) |
| 02 Besser lernen mit gutem Licht (2012) | 09 Sanierung in Handel, Gewerbe und Verwaltung (2014) | 16 Stadtmarketing mit Licht (2010) |
| 03 Straßen, Wege und Plätze (2014) | 10 Notbeleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung (2016) | 17 LED: Das Licht der Zukunft (2010) |
| 04 Licht im Büro, motivierend und effizient (2012) | 11 Gutes Licht für Hotellerie und Gastronomie (2005) | 18 Licht für Museen und Ausstellungen (2016) |
| 05 Industrie und Handwerk (2009) | 12 Beleuchtungsqualität mit Elektronik (2003) | 19 Wirkung des Lichts auf den Menschen (2014) |
| 06 Shopbeleuchtung, attraktiv und effizient (2011) | 13 Arbeitsplätze im Freien (2007) | 20 Nachhaltige Beleuchtung (2014) |
| 07 Gesundheitsfaktor Licht (2012) | 14 Ideen für Gutes Licht zum Wohnen (2009) | |

All booklets are available in English as PDFs, free download at www.licht.de/en

Alles über Beleuchtung!

Herstellernerneutrale Informationen

licht.de informiert über die Vorteile guter Beleuchtung. Die Fördergemeinschaft Gutes Licht hält zu allen Fragen des künstlichen Lichts und seiner richtigen Anwendung umfangreiches Informationsmaterial bereit. Die Informationen sind herstellerneutral und basieren auf den relevanten technischen Regelwerken nach DIN und VDE.

licht.wissen

Die Hefte 1 bis 20 der Schriftenreihe licht.wissen geben Informationen zur Lichtanwendung. Diese Themenhefte erläutern anhand vieler Beleuchtungsbeispiele lichttechnische Grundlagen und zeigen beispielhafte Lösungen. Sie erleichtern damit auch die Zusammenarbeit mit Fachleuten der Licht- und Elektrotechnik. Alle lichttechnischen Aussagen sind grundsätzlicher Art.

licht.forum

licht.forum behandelt aktuelle Fragen der Lichtanwendung und stellt Beleuchtungstrends vor. Diese kompakten Fachinformationen erscheinen in loser Folge.

www.licht.de

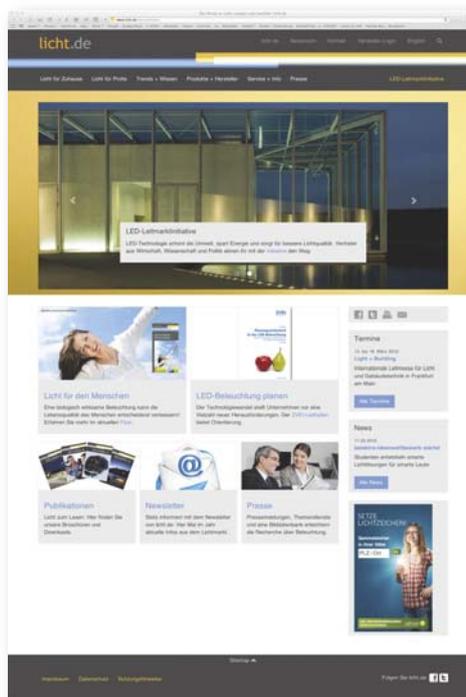
Ihr umfangreiches Lichtwissen präsentiert die Brancheninitiative auch im Internet unter www.licht.de. Architekten, Planer, Installateure und Endverbraucher finden hier auf rund 5.000 Seiten praxisorientierte Tipps, viele Lichtanwendungen und aktuelle Informationen zu Licht und Beleuchtung. Eine Datenbank mit umfangreichen Produktübersichten weist den direkten Weg zum Hersteller.



www.twitter.com/licht_de
www.twitter.com/all_about_light



www.facebook.com/lichtde



Impressum

Herausgeber

licht.de
Fördergemeinschaft Gutes Licht
– eine Brancheninitiative des ZVEI e.V. –
Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt am Main
Tel. 069 6302-353, Fax 069 6302-400
licht.de@zvei.org, www.licht.de

Redaktion und Gestaltung

rftw. kommunikation, Darmstadt

Druck

e&b engelhardt und bauer – Kraft Druck GmbH,
Ettlingen

ISBN-Nr. Druckausgabe 978-3-945220-03-0
ISBN-Nr. PDF-Ausgabe 978-3-945220-04-7
Februar 2016 (02/16/10/01V)

Berücksichtigt wurden die bei Herausgabe gültigen DIN-Normen und VDE-Vorschriften, wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN, Deutsches Institut für Normung e. V. Maßgebend für das Anwenden der DIN-Norm ist deren jeweils aktuellste Fassung, erhältlich bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenastraße 6, 10787 Berlin.

Der komplette oder auszugsweise Nachdruck von licht.wissen 01 ist nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Bildnachweis

Bildnummern Rückseite

			101
102	103	104	
105	106	107	

Bilder

[04] fotolia.com, E. Schittenhelm; [08] fotolia.com, Piotr Wawrzyniuk.

Alle anderen Bilder, Visualisierungen und Grafiken stammen von licht.de-Mitgliedsunternehmen oder wurden im Auftrag von licht.de angefertigt.

Gedruckt mit mineralölfreien Farben



licht.wissen 01

Die Beleuchtung
mit künstlichem Licht



licht.de

Fördergemeinschaft Gutes Licht
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Germany
Tel. +49 (0)69 63 02-353
Fax +49 (0)69 63 02-400
licht.de@zvei.org
www.licht.de