

licht.wissen 01

Die Beleuchtung mit künstlichem Licht



Inhalt

Medium Licht	2
Vom Licht der Natur ... zum künstlichen Licht	4
Licht – physikalisch betrachtet	6
Licht – physiologisch betrachtet	9
Größen und Begriffe der Lichttechnik	12
Die Güteermale der Beleuchtung	15
Beleuchtungsniveau – Wartungswert und Leuchtdichte	16
Blendungsbegrenzung – Direktblendung	18
Blendungsbegrenzung – Reflexblendung	20
Harmonische Helligkeitsverteilung	22
Lichtrichtung und Schattigkeit	24
Lichtfarbe	26
Farbwiedergabe	28
Lichterzeugung durch Temperaturstrahler, Entladungslampen und LEDs	30
Lampen	34
Leuchten – Allgemeine Anforderungen und lichttechnische Eigenschaften	36
Leuchten – Elektrotechnische Eigenschaften, Vorschaltgeräte	40
Leuchten – Betriebsgeräte, Regeln, Steuern, BUS-Systeme	44
Leuchten	48
Beleuchtungsplanung	50
Messen von Beleuchtungsanlagen	52
Beleuchtungskosten	54
Energieeffizientes Licht	56
Licht und Umwelt	58
Normen, Literatur	59
Die Publikationen von licht.de	60
Impressum und Bildnachweis	61



01



02



03

[01] „Wohnzimmer mit der Schwester des Künstlers“ (1847), Adolf Menzel (1815 – 1905), Neue Pinakothek, München

[02] „Caféterrasse am Abend“ (1888), Vincent van Gogh (1853 – 1890), Rijksmuseum Kröller-Müller, Otterlo, Niederlande

[03] „Der Nachtwandler“ (1927), René Magritte (1898 – 1967), in Privatbesitz

Medium Licht

Schon immer hat das Medium Licht die Menschen interessiert – natürlich auch in der Kunst und Architektur. Helligkeit und Schatten, Farbigkeit und Kontrast beeinflussen die Atmosphäre und Stimmung einer räumlichen Situation oder auch nur eines flüchtigen Augenblicks.

Für alle, die in das Thema Licht und Beleuchtung „einsteigen“ oder sich allgemein mit den Grundkenntnissen der Beleuchtungstechnik vertraut machen möchten, ist das Heft 01 der licht.de-Schriftenreihe licht.wissen bestimmt. Es ist zugleich der Einstieg in eine Schriftenreihe, die allen, die auf dem Gebiet der Beleuchtung planen, sich kundig machen wollen oder Entscheidungen zu treffen haben, mit Informationen zur Lichtenanwendung Hilfestellung geben möchte.

Zentrales Ziel aller licht.de-Veröffentlichungen ist es, Bewusstsein für ein Medium zu entwickeln, dessen man sich ohne großen Nachdenkens gerne bedient und dessen Verfügbarkeit als selbstverständlich vorausgesetzt wird. Erst wenn man sich näher mit dem „Lichtmachen“, der künstlichen Beleuchtung, befassen muss, wird es oftmals schwieriger, weil technischer.

Eine wirkungsvolle Lichtenanwendung setzt entsprechende technische Kenntnisse voraus – bei dem Planer selbstverständlich, bei dem zu Beratenden in Grundzügen wünschenswert, allein schon deshalb, um Gespräche über „Gutes Licht“ zu erleichtern. Diese Voraussetzungen durch vermitteltes Basiswissen und Informationen über Licht, Lampen und Leuchten zu verbessern, ist das Grundanliegen dieser Publikation und der sich daran anschließenden weiteren Hefte.

Licht wird in diesen Heften aber nicht nur als physikalische Strahlung verstanden, sondern in seiner ganzen Bedeutung für den Menschen. Licht spielt als visuell wirksame Strahlung in erster Linie eine physiologische Rolle, indem es die Sehleistung beeinflusst, und hat auch eine psychologische Wirkung, die auf unser Wohlbefinden einwirkt.

Licht hat weiterhin eine chronobiologische Wirkung auf den menschlichen Organismus. Heute weiß man, dass ein spezieller Empfänger in der Netzhaut z. B. das Schlafhormon Melatonin steuert. Licht beeinflusst und synchronisiert so unsere „innere Uhr“, den circadianen Rhythmus, der durch den Wechsel von Tag und Nacht sowie die Jahreszeiten gesteuert wird und damit aktive und passive Phasen des Menschen regelt.

Die Schriften von licht.de wollen deshalb nicht nur über die Physik des Lichts informieren, sondern auch die physiologische und psychologische Wirkung von gutem Licht sowie Ideen und Hinweise für die richtige Anwendung von Licht in verschiedenen Bereichen vermitteln – von der Straßenbeleuchtung über die Beleuchtung in Industrie, Schulen und Büros bis hin zur Beleuchtung des Wohnumfeldes.

[04] Farbiges Licht setzt Akzente.



Vom Licht der Natur ... zum künstlichen Licht

Licht ist Leben – einfacher lässt sich die Verknüpfung von Licht und Leben nicht beschreiben.

Der Mensch orientiert sich vorrangig mit seinen Augen – seine Umwelt ist eine Sehwelt. Das Auge ist das wichtigste Sinnesorgan und empfängt etwa 80 % aller Informationen. Ohne Licht wäre dies unmöglich – Licht ist das Medium, das die visuelle Wahrnehmung erst möglich macht.

Ungenügendes oder gar kein Licht ruft Unsicherheit hervor – es fehlen Informationen und Orientierungsmöglichkeiten, z. B. um den Weg „sicher zu finden“. Künstliche Beleuchtung während der Dunkelstunden vermittelt dagegen ein „sicheres Gefühl“.

Licht dient also nicht nur dem Sehen, sondern nimmt Einfluss auf unser Wohlbefinden und unsere Stimmung.

Beleuchtungsniveau, Lichtfarbe, Schatteneffekte oder der Wechsel von Hell/Dunkel beeinflussen augenblickliche Empfindungen und bestimmen den Lebensrhythmus des Menschen.

Bei Sonnenlicht werden z. B. Beleuchtungsstärken von etwa 100.000 Lux gemessen, im Schatten unter einem Baum ungefähr 10.000 Lux, in einer mond hellen Nacht 0,2 Lux und beim Sternenlicht noch weniger.

Die meiste Zeit des Tages verbringen wir heute in Innenräumen – bei Beleuchtungsstärken zwischen 50 und 500 Lux. Da Licht der natürliche „Zeitgeber“ des Menschen ist, aber erst bei relativ hoher Intensität für das circadiane System wirksam wird (> 1.000 Lux), leben wir meist in „chronobiologischer Finsternis“. Die Folgen sind Schlafstörungen, Energielosigkeit, Verstimmungen oder sogar schwere Depressionen.

Wie gesagt: Licht ist Leben. Eine gute Beleuchtung ist wichtig, um unsere Welt zu sehen. Was wir sehen wollen, muss beleuchtet sein. Gutes Licht beeinflusst aber auch unsere Empfindungen und damit unsere Lebensqualität.

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.

Die großartigen Zeichnungen in der Höhle von Altamira können nur bei künstlichem Licht entstanden sein – vor etwa 15.000 Jahren. Das Licht der Lagerfeuer, der Kienespäne und der Öl- und Talglampen war im Leben prähistorischer Menschen eine den Lebensablauf entscheidend verändernde Errungenschaft.

Doch nicht nur in Räumen wurde Licht geschaffen, sondern auch im Freien. 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 Dynamo-Maschinen Elektrizität auf wirtschaftliche Art erzeugen konnte. Doch erst als Th. A. 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.

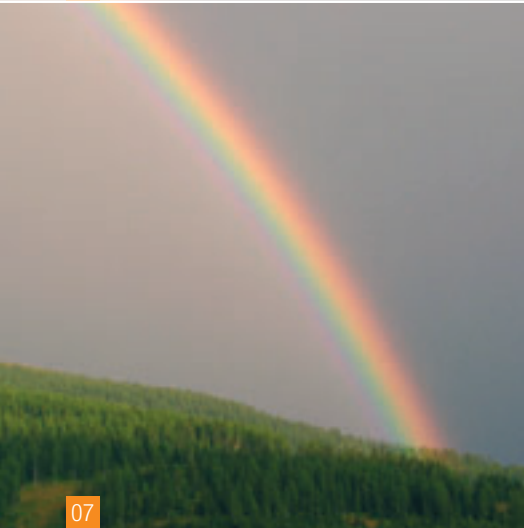
Mit jeder neuen Lichtquelle – vom Lagerfeuer, dem Kienspan, der Kerze bis hin zur Glühlampe – wurden „Leuchten“ entwickelt, die diese „Lampen“ anwendbar machten. Die Entwicklung von Lampen und Leuchten hat in den letzten Jahrzehnten einen dynamischen Verlauf genommen, die modernsten Technologien, neue optische Systeme, neue Werkstoffe, optimale Wirtschaftlichkeit und zunehmend Umweltbelange einbezieht.



05



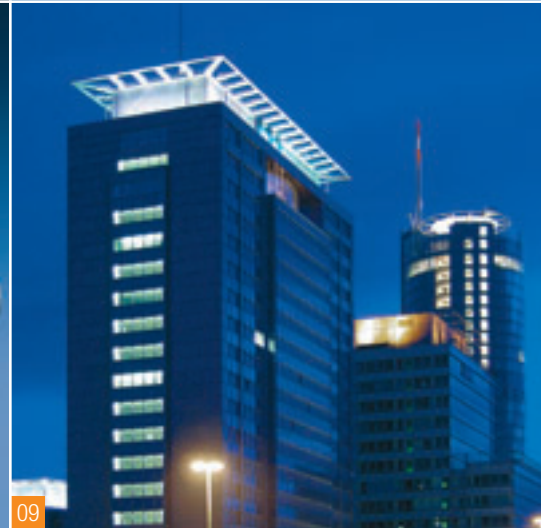
06



07



08



09



10

[05] Das Licht der Sonne bestimmt mit seinem sich über das Jahr verändernden Tag-Nacht-Wechsel das Leben.

[06] Nachts beträgt das Licht von Mond und Sternen nur noch den 500.000sten Teil des Sonnenlichtes.

[07] Regenbogen: Die Regentropfen wirken als Prisma.

[08] Der Fortschritt bei der Entwicklung elektrischer Entladungslampen hat zusammen mit modernen Leuchten zu leistungsstarken Beleuchtungen geführt.

[09] Ein Leben ohne künstliche Beleuchtung ist für die meisten Menschen nicht mehr vorstellbar.

[10] Seit mehr als 2.000 Jahren erleuchtet Kunstlicht den Himmel und gibt den Menschen Sicherheit und Orientierung.

Licht – physikalisch betrachtet

Schon immer waren die Menschen vom Licht fasziniert und bestrebt hinter sein Geheimnis zu kommen. Dabei entstanden heute skurril anmutende, damals aber durchaus ernsthaft vertretene Theorien.

Da z. B. zwischen einer leuchtenden Flamme und dem sichtbaren Gegenstand keine Verbindung zu erkennen war, vermutete man, dass vom Auge „Sehstrahlen“ ausgingen, die vom Objekt reflektiert würden und in die Augen zurückfielen. Nur, wenn diese Theorie richtig wäre, müsste man auch im Dunkeln sehen können ...

Durch Beobachtung des innersten der vier von Galileo Galilei entdeckten großen Jupiter-Monde konnte O. Römer 1675 eine Angabe über die Lichtgeschwindigkeit machen: $2,3 \times 10^8$ m/s.

Genauer sind die Messungen der Lichtgeschwindigkeit nach einem von Leon Foucault angegebenen Versuchsaufbau mit $2,98 \times 10^8$ m/s. Für die Lichtgeschwindigkeit im leeren Raum und in Luft wird allgemein der aufgerundete Wert von 3×10^8 m/s gleich 300.000 km/s benutzt.

Entsprechend benötigt das Licht etwa 1,3 s vom Mond zur Erde, von der Sonne zur Erde etwa $8\frac{1}{3}$ Minuten. Von dem Fixstern Alpha im Zentaurus braucht es bereits 4,3 Jahre, vom Andromeda-Nebel etwa 2.500.000 Jahre und von den entferntesten Spiralnebeln mehr als 5 Milliarden Jahre.

Anschauliche Modelle des Lichtes gestatten es, beobachtete Gesetzmäßigkeiten und Wirkungen zu beschreiben.

Das Korpuskular-Modell des Lichtes, nach dem sich Energieeinheiten (Quanten) mit Lichtgeschwindigkeit geradlinig von der Lichtquelle ausbreiten, wurde von Isaac Newton entwickelt. Das Wellenmodell des Lichtes, nach dem man sich Lichterscheinungen ähnlich wie die Schallvorgänge vorzustellen hat, stammt von Christiaan Huygens. Über 100 Jahre lang war unter den Wissenschaftlern keine Einigkeit darüber zu erzielen, welches Modell das richtige sei. Heute werden zur Erklärung der Eigen-

schaften des Lichtes beide Modellvorstellungen angewendet: Licht ist der sichtbare Teil der elektromagnetischen Strahlung, die aus schwingenden Energiequanten besteht.

Wiederum Newton entdeckte, dass weißes Licht Farben enthält. Richtet man ein enges Lichtbündel auf ein Glasprisma und projiziert die austretenden Strahlen auf eine weiße Fläche, so wird das farbige Lichtspektrum sichtbar.

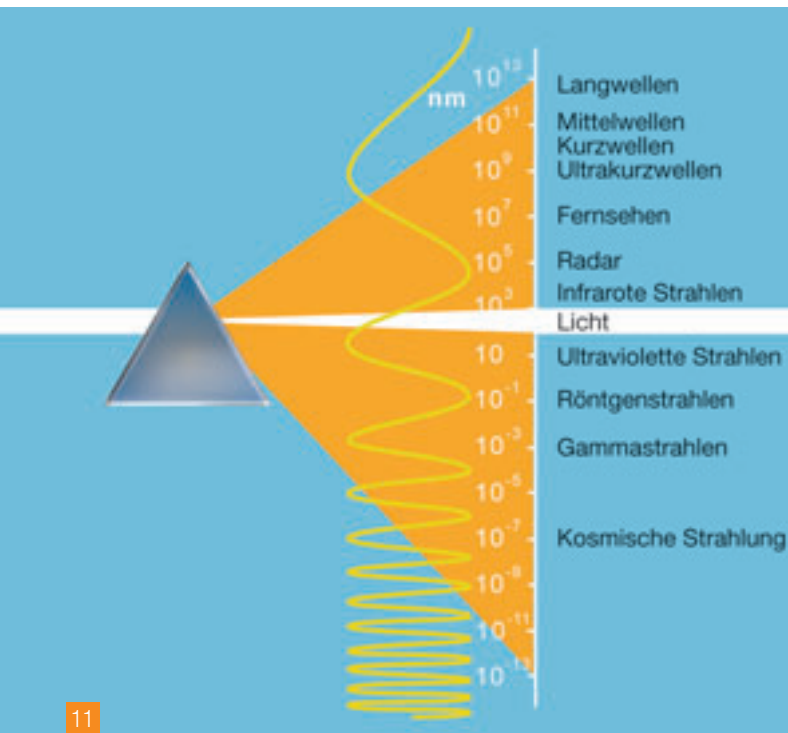
In einem weiteren Versuch richtete Newton die farbigen Strahlen auf ein zweites Prisma, aus dem dann wieder weißes Licht austrat. Das war der Beweis, dass weißes Sonnenlicht die Summe aller Farben des Spektrums ist.

Im Jahre 1822 gelang es Augustin Fresnel die Wellenlänge des Lichtes zu bestimmen und zu zeigen, dass jeder Spektralfarbe eine ganz bestimmte Wellenlänge zukommt. Sein Ausspruch „Licht zu Licht gebracht ergibt Dunkelheit“ fasst seine Erkenntnis zusammen, dass Licht gleicher Wellenlänge sich gegenseitig auslöscht, wenn es in entsprechender Phasenlage zueinander gebracht wird.

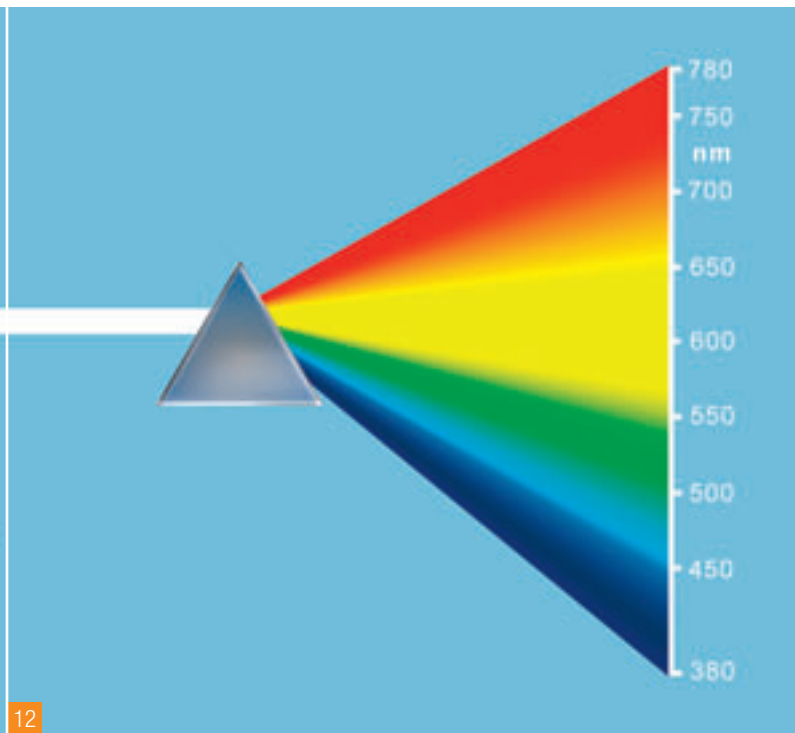
Max Planck beschreibt die Quantentheorie mit der Formel:

$$E = h \cdot \nu$$

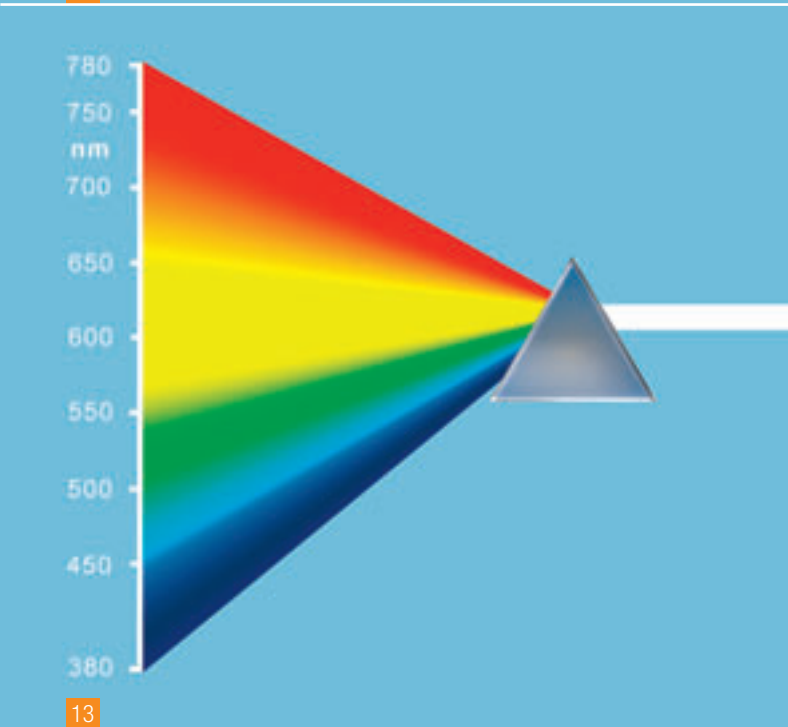
Die Energie E eines Energiequants (einer Strahlung) ist proportional abhängig von deren Frequenz ν , multipliziert mit einer Konstanten h (Planck'sches Wirkungsquantum).



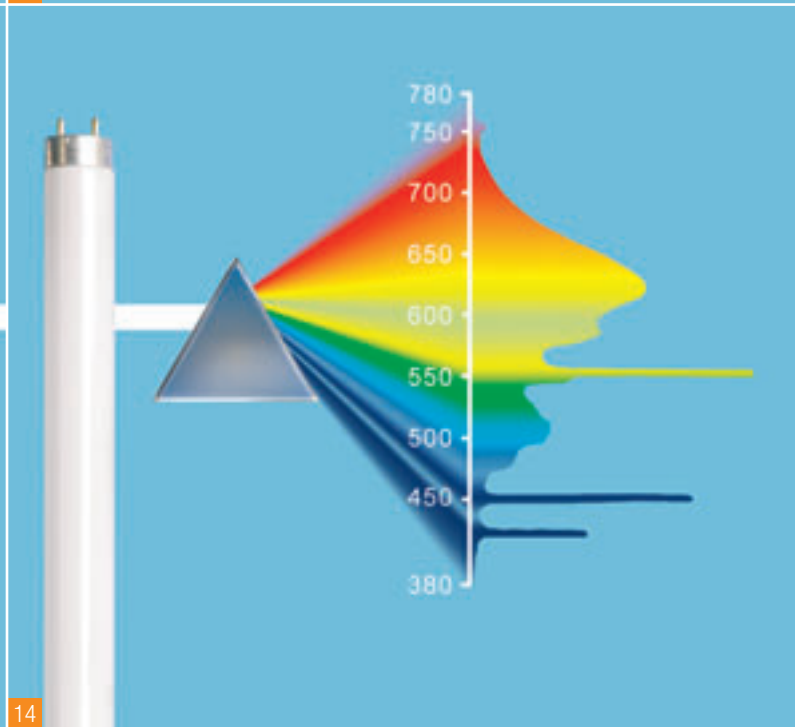
11



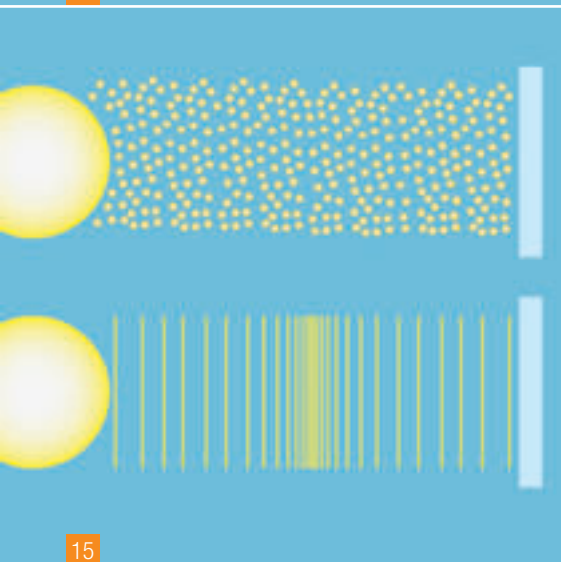
12



13



14



15

[11] In dem weiten Bereich der elektromagnetischen Strahlung nimmt das sichtbare Licht nur ein schmales Band ein.

[12] Mithilfe eines Prismas wird „weißes“ Sonnenlicht in seine Spektralfarben zerlegt.

[13] Das Prisma summiert Spektralfarben zu weißem Licht. Sonnenlicht ist die Kombination aller Farben seines Spektrums.

[14] Zerlegt man das künstliche Licht einer Leuchtstofflampe, so wird ersichtlich, dass je nach Typ die einzelnen Spektralfarben mehr oder weniger wiedergegeben werden.

[15] Sowohl das Korpuskular- als auch das Wellen-Modell des Lichtes werden eingesetzt, um seine Wirkungen und Gesetzmäßigkeiten anschaulich zu beschreiben.

Die Atmosphäre um die Erde lässt sichtbare, ultraviolette und infrarote Strahlung so durch, dass organisches Leben möglich ist.

Das Maß der Wellenlänge ist der Nanometer (nm) = 10^{-9} m = 10^{-7} cm. Ein Nanometer ist der zehnmillionste Teil eines Zentimeters.

Licht ist der relativ kleine Bereich innerhalb der elektromagnetischen Strahlung, für die das Auge empfindlich ist. Das Lichtspektrum reicht von 380 nm (violett) bis 780 nm (rot).

Zu jeder Wellenlänge gehört ein bestimmter Farbeindruck, und vom kurzwelligen Violett über Blau, Blaugrün, Grün, Grüngelb, Orange bis zum langwelligen Rot weist das Spektrum des Sonnenlichtes einen kontinuierlichen Übergang auf.

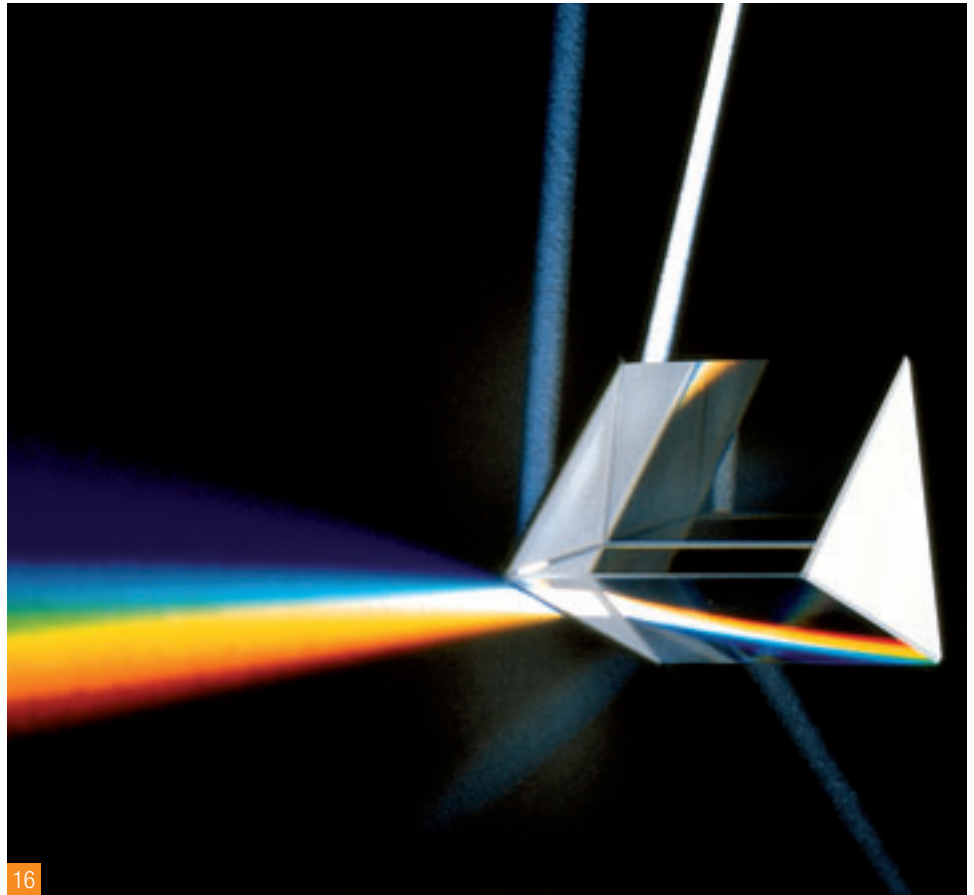
Farben oder farbige Gegenstände werden nur farbig gesehen, wenn im Spektrum der Lichtquelle auch diese Farben vorhanden sind. Das ist z. B. bei der Sonne, den Glühlampen und Leuchtstofflampen mit sehr guten Farbwiedergabeeigenschaften der Fall.

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

Der IR-Bereich umfasst die Wellenlängen zwischen 780 nm und 1 mm und ist für das Auge unsichtbar. Erst wenn IR-Strahlung auf einen Gegenstand trifft, wird sie absorbiert und in Wärme umgewandelt. Ohne diese Wärmestrahlung der Sonne würde die Erde in ewigem Eis erstarren. Heute kommt dem Sonnenlicht bei der alternativen Energiegewinnung, z. B. im Bereich der Photovoltaik und der Solartechnik, eine zunehmende technisch-ökologische Bedeutung zu.

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, Solarien;



- > UV-B (280 bis 315 nm), Erythemwirkung (Hautrötung), Sonnenbrand;
- > UV-C (100 bis 280 nm), Zellzerstörung, Entkeimungslampen.

Neben der positiven Wirkung der ultravioletten Strahlung – z. B. UV-B für den Aufbau des Vitamin D – kann ein Zuviel davon auch zu Schädigungen führen. Die Ozonschicht der Atmosphäre schützt uns vor schädlicher UV-Strahlung, insbesondere vor UV-C. Wird sie in ihrer Wirkung beeinträchtigt („Ozonloch“), kann das nachteilige Folgen für das Leben auf der Erde haben.

[16] Ein Prisma macht das farbige Spektrum des Lichts sichtbar.

[17+18] Im Vergleich zum Tageslicht wirkt eine rote Rose im monochromatischen gelben Licht der Natriumdampf-Niederdrucklampe unnatürlich, da deren Spektrum kein Rot, Blau und Grün enthält und diese Farben somit nicht wiedergibt.

Licht – physiologisch betrachtet

Der optische Teil des Auges lässt sich mit dem einer fotografischen Kamera vergleichen.

Die bilderzeugende Optik besteht aus der Hornhaut, der Linse und dem dazwischenliegenden Kammerwasser. Die notwendige Anpassung der Brennweite für scharfes Sehen unterschiedlich entfernter Objekte wird durch eine Krümmungsänderung der brechenden Flächen der Augenlinse bewirkt. Diese Akkommodationsfähigkeit nimmt mit dem Alter infolge der Verhärtung des Linsenkörpers ab.

Die vor der Augenlinse liegende Regenbogenhaut oder Iris wirkt mit ihrer veränderbaren zentralen Öffnung – der Pupille – wie eine einzustellende Blende und kann den eintretenden Lichtstrom in einem Bereich von etwa 1:16 regeln. Gleichzeitig verbessert sie die Tiefenschärfe. Das Augeninnere ist mit einer klar durchsichtigen Masse, dem Glaskörper, ausgefüllt.

Die Netzhaut auf der Augenhinnenwand ist die „Projektionsfläche“ und trägt etwa 130 Millionen Sehzellen. Sie hat nahe der optischen Achse des Auges eine kleine Vertie-

fung, die Sehgrube, in der die Sehzellen für das Tages- und Farbsehen besonders dicht angeordnet sind und die damit die Stelle der höchsten Sehschärfe ist.

Zwei Arten von Sehzellen – die Zapfen und die Stäbchen – übernehmen je nach den Helligkeiten (Leuchtdichten) das Sehen:

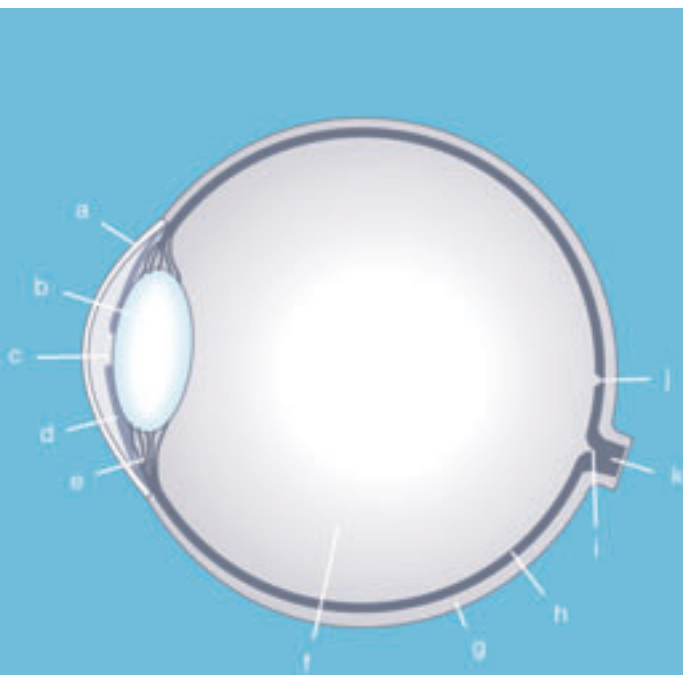
Die etwa 120 Millionen Stäbchen sind für das Helligkeitssehen hochempfindlich, für das Farbsehen jedoch relativ unempfindlich. Sie sind daher bei niedrigen Leuchtdichteebenen bevorzugt tätig (Nachtsehen); ihre maximale spektrale Empfindlichkeit liegt im Blaugrün bei 507 nm.

Die etwa 7 Millionen Zapfen sind die für das Farbsehen empfindlicheren Rezeptoren und übernehmen bei höheren Leuchtdichten das so genannte Tagessehen; ihre maximale spektrale Gesamtempfindlichkeit liegt im Gelbgrün bei 555 nm. Durch die Existenz von drei Zapfenarten mit je einer anderen spektralen Empfindlichkeit (rot,

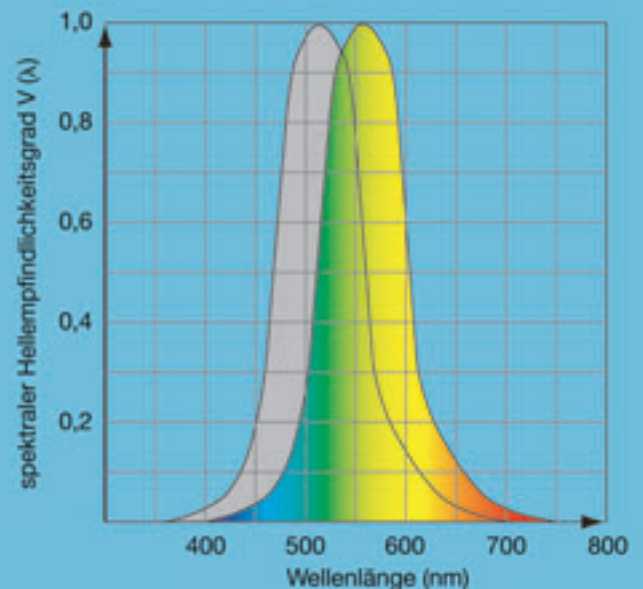
[19] Die Augen sind ein Sinnesorgan mit außergewöhnlichen Fähigkeiten. Nur wenige, aber hochsensible „Bauteile“ ergänzen sich zu einem erstaunlichen Seh-Instrument:

- a Hornhaut
- b Linse
- c Pupille
- d Regenbogenhaut (Iris)
- e Linsenbänder/Linsenmuskel
- f Glaskörper
- g Lederhaut
- h Netzhaut (Retina)
- i Blinder Fleck
- j Sehgrube (Fovea centralis)
- k Sehnerv

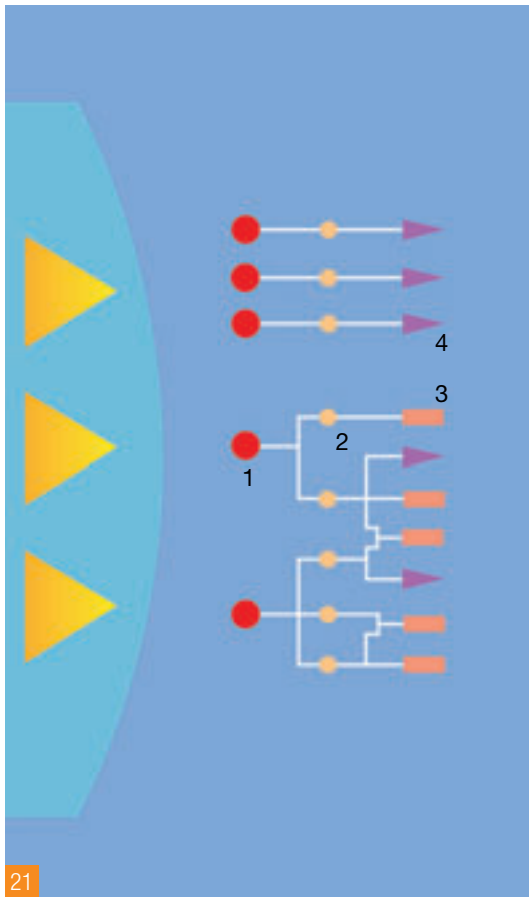
[20] Kurve der relativen spektralen Helligkeitsempfindlichkeit für Tagessehen (Zapfen) $V(\lambda)$ und Nachtsehen (Stäbchen) $V'(\lambda)$



19



20



grün, blau), die zusammen einen „Farbeindruck“ bewirken, wird das Farbsehen möglich.

Die Fähigkeit des Auges, sich an höhere oder niedrigere Leuchtdichte-Niveaus anzupassen, wird als Adaptation bezeichnet. Der Bereich der Anpassungsfähigkeit erstreckt sich über Leuchtdichten im Verhältnis von 1:10 Milliarden. Hierbei regelt die Pupille den eintretenden Lichtstrom in einem Umfang von nur etwa 1:16, während der weit größere Bereich durch die „Parallel-Schaltung“ der Ganglien-Zellen beeinflusst wird.

Der jeweilige Adaptationszustand bestimmt die augenblickliche Sehleistung. Je höher also das Beleuchtungsniveau ist, umso höher ist auch die Sehleistung und umso geringer sind die Sehfehler. Der Adaptationsverlauf, und damit die Adaptationszeit, hängt von den Leuchtdichten am Beginn und am Ende der 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.

Formenempfindlichkeit und Sehschärfe sind Voraussetzungen, um Einzelheiten zu erkennen. Die Sehschärfe hängt außer vom Adaptationszustand auch von dem Auflösungsvermögen der Netzhaut und von der Qualität der optischen Abbildung ab. Zwei Punkte werden gerade dann noch getrennt voneinander erkannt, wenn sie so auf der Netzhaut abgebildet werden, dass jeweils das Bild eines Punktes auf einem Zapfen liegt und sich ein weiterer Zapfen „unge reizt“ dazwischen befindet.

Gründe für ungenügende Sehschärfe können sein: Augenfehler, wie Kurz- oder Übersichtigkeit; zu geringe Kontraste; zu geringe Leuchtdichten.

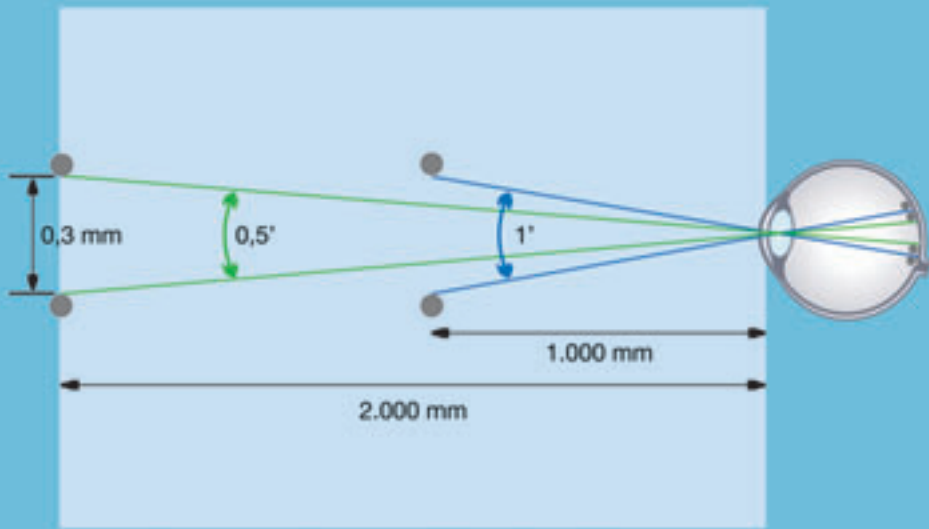
Sehen und Erkennen hat 4 Mindest-Voraussetzungen:

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*. Ein Geschoss z. B. ist viel zu schnell. Langsam anlaufende Räder sind im Detail zu erkennen, bis diese bei höheren Umdrehungen immer undeutlicher werden. Die Beleuchtungstechnik hat die Aufgabe, aufgrund der Kenntnis der physiologisch-optischen Eigenschaften des Auges – z. B. durch hohe Leuchtdichte und Leuchtdichtegleichmäßigkeit im Gesichtsfeld – gute Sehbedingungen zu schaffen.



$$\text{Visus} = \frac{1}{\text{Sehwinkel in Sehminuten}}$$

$$\text{Visus} = \frac{1}{0,5'} = 2$$

$$\text{Visus} = \frac{1}{1'} = 1$$

25

[21] Schematischer Aufbau der Netzhaut:

- 1 Ganglien-Zellen
- 2 Bipolare Zellen
- 3 Stäbchen
- 4 Zapfen

[22–24] Die Adaptation des Auges: Kommt man aus dem Hellen in einen dunklen Raum, sieht man zuerst „nichts“ – erst im Lauf der Zeit treten die einzelnen Gegenstände aus dem Dunkel hervor.

[25] Werden zwei Punkte mit 0,3 mm Abstand aus einer Entfernung von 2 m Abstand erkannt, beträgt die Sehschärfe 2. Muss man 1 m an das Detail herangehen um es zu erkennen, beträgt die Sehschärfe nur 1.

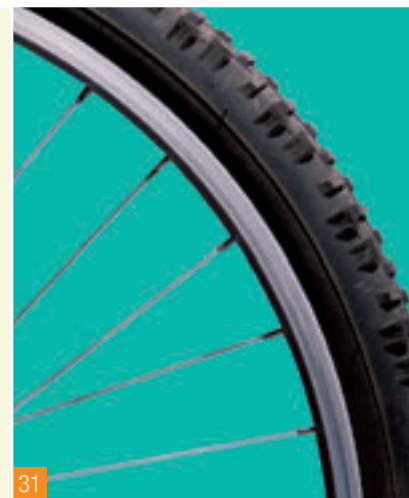
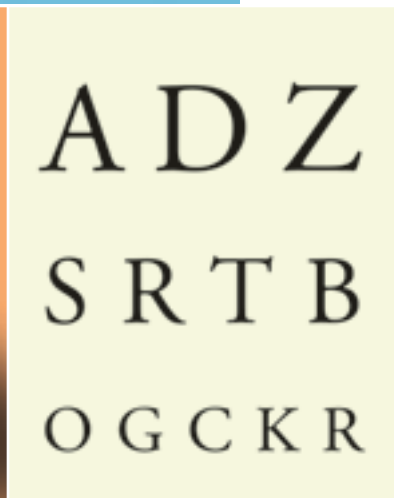
[26–32] Sehen und Erkennen hat vier Voraussetzungen: Mindestleuchtdichte, Mindestkontrast, Mindestgröße, Mindestzeit.



26



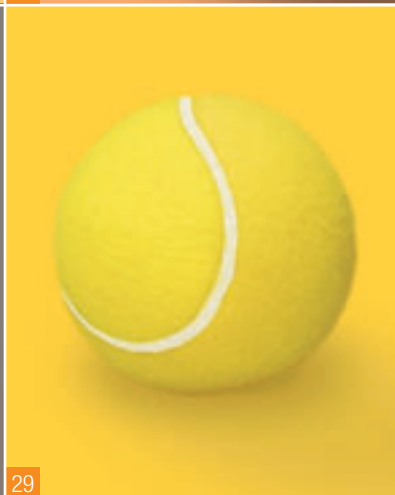
28



31



27



29

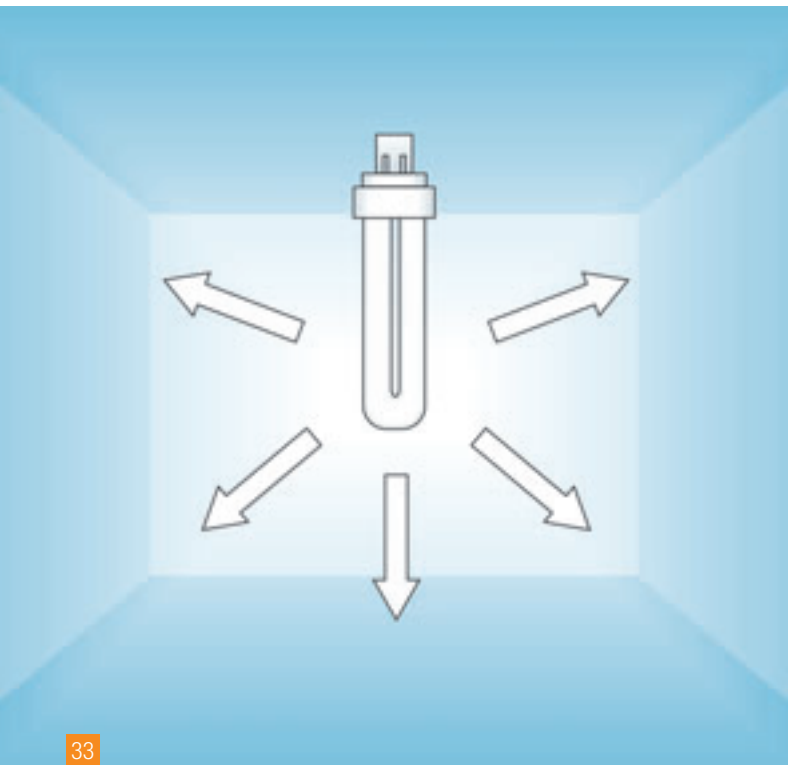


30

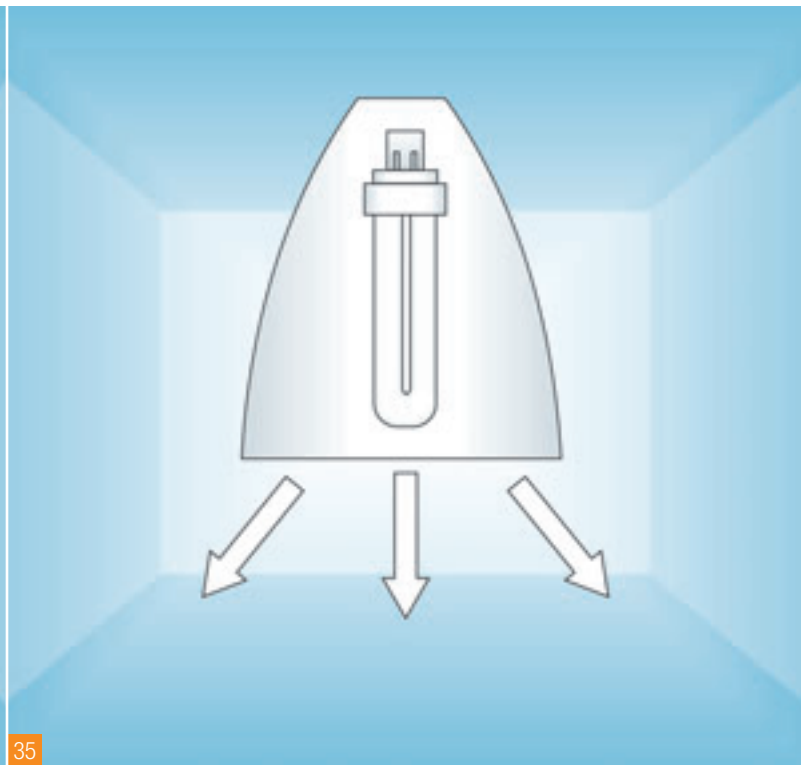


32

Größen und Begriffe der Lichttechnik



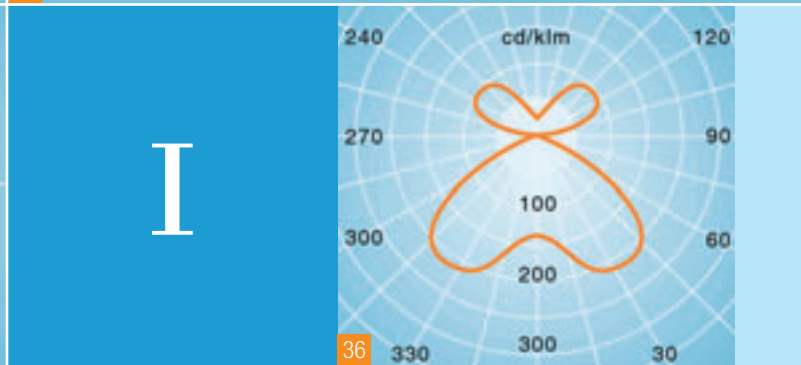
33



35



34



36

Der Lichtstrom Φ

ist die Lichtleistung einer Lampe. Er wird in Lumen (lm) gemessen. Werte darüber findet man in den Listen der Lampenhersteller.

Eine Glühlampe 100 W hat etwa 1.380 lm, eine Kompaktleuchtstofflampe 20 W mit eingebautem elektronischen Vorschaltgerät (EVG) etwa 1.200 lm.

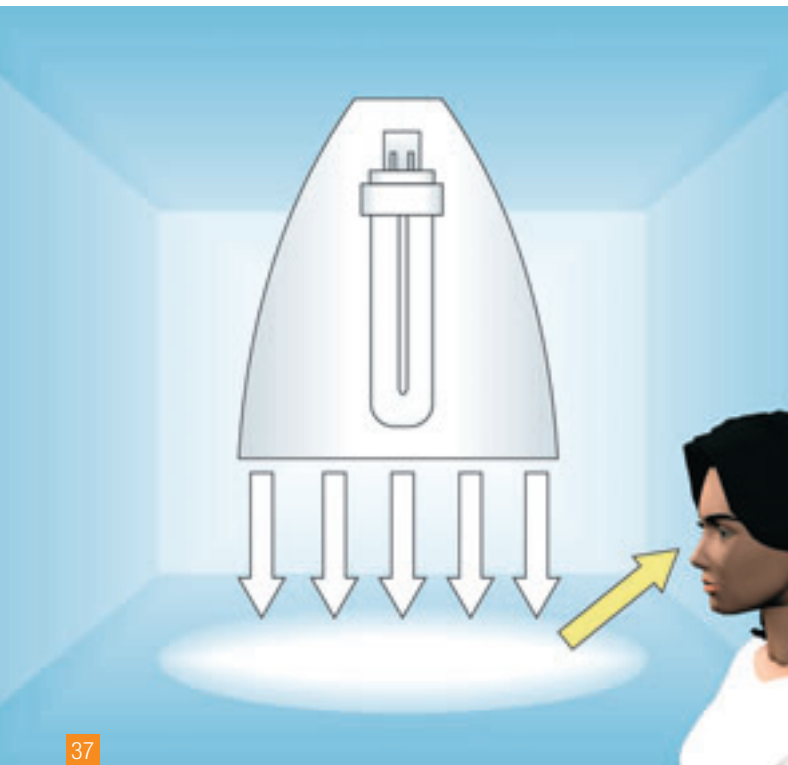
Die Lichtstärke I

ist der Teil des Lichtstromes, der in eine bestimmte Richtung strahlt. Sie wird in Candela (cd) gemessen.

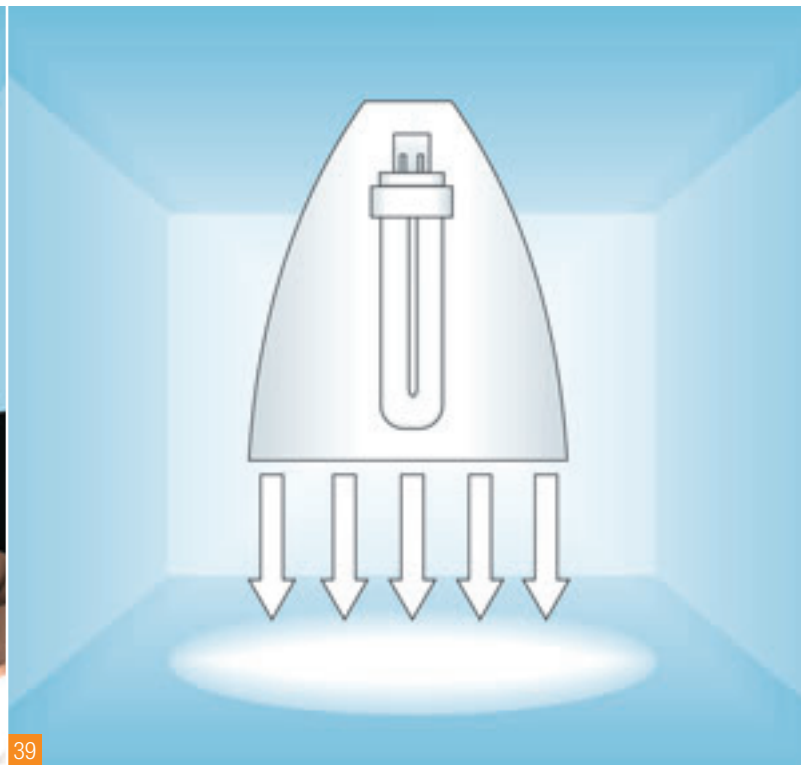
Die Lichtstärkeverteilung von Reflektorlampen und Leuchten wird grafisch in Form von Kurven dargestellt. Man nennt sie Lichtstärkeverteilungskurven (LVK).

Um die LVK verschiedener Leuchten vergleichen zu können, sind sie üblicherweise einheitlich auf 1.000 lm = 1 klm bezogen.

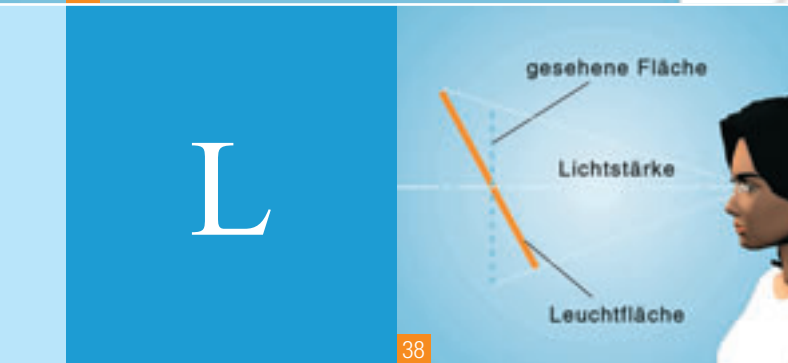
Dies wird in der LVK mit der Angabe cd/klm gekennzeichnet. Die Darstellung erfolgt in Polarkoordinaten, für Scheinwerfer häufig in xy-Koordinaten.



37



39



38



40

Die Leuchtdichte L

gemessen in Lichtstärke pro Flächeneinheit (cd/m^2), beschreibt den Helligkeitseindruck, den eine beleuchtete oder leuchtende Fläche dem Auge vermittelt. Bei Lampen verwendet man die „handlichere“ Einheit cd/cm^2 . Die Leuchtdichte beschreibt die physiologische Wirkung des Lichtes auf das Auge und wird in der Außenbeleuchtung als Planungsgröße verwendet. Für vollkommen diffus reflektierende Oberflächen – wie sie oft in Innenräumen vorkommen – 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 Beleuchtungsstärke E

wird horizontal und vertikal in der Maßeinheit Lux (lx) gemessen. Die Beleuchtungsstärke gibt den Lichtstrom an, der von der Lichtquelle auf eine bestimmte Fläche trifft.

Die Lichtausbeute η

ist der Lichtstrom einer Lampe bezogen auf ihre elektrische Leistungsaufnahme. Die Lichtausbeute wird in Lumen pro Watt (lm/W) angegeben.

Zum Beispiel:

Eine Glühlampe hat ca. 14 lm/W, eine Kompaktleuchtstofflampe 20 W mit eingebautem EVG ca. 60 lm/W.

Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB}

ist das Verhältnis von abgegebenem Lichtstrom der Leuchte zu dem Lichtstrom der in ihr betriebenen Lampen, gemessen unter genormten Betriebsbedingungen.

Die Blendung

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

Die Blendung ist abhängig von der Leuchtdichte und Größe der Lichtquelle, ihrer Lage zum Betrachter, der Helligkeit des Umfeldes und des Hintergrundes. Die Blendung sollte durch richtige Anordnung und Abschirmung der Leuchten und überlegte Auswahl der Farben und Oberflächenstruktur der Raumflächen so gering wie möglich gehalten werden – ganz vermeiden kann man sie nicht.

Direktblendung ist besonders in der Straßenbeleuchtung zu vermeiden, weil sie die Verkehrssicherheit beeinträchtigt.

Besondere Beachtung gilt der Vermeidung von Reflexblendung z. B. bei der Planung von Bildschirmarbeitsplätzen.

Der Reflexionsgrad ρ

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

Dunkle Flächen benötigen eine hohe, hellere 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 (z. B. einer abgefahrenen Straßenoberfläche) eine wichtige Planungsgröße.

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

richten sich nach der zu leistenden Sehaufgabe. Werte der Beleuchtungsstärke für die Innenraumbeleuchtung stehen in der europäischen Norm DIN EN 12464-1; Werte für „Arbeitsstätten im Freien“ gibt DIN EN 12464-2 vor.

Werte für die Beleuchtungsstärke bzw. für die Leuchtdichte der Straßenbeleuchtung enthält die DIN EN 13201-2. Die ebenfalls harmonisierte europäische Norm DIN EN 12193 gilt für die Sportstättenbeleuchtung.

Wartungswerte sind örtliche Mittelwerte der Beleuchtungsanlage, die zu keiner Zeit unterschritten werden dürfen.

Die Gleichmäßigkeit

der Beleuchtungsstärke bzw. der Leuchtdichte ist ein weiteres Qualitätsmerkmal. Sie wird als Verhältnis der minimalen zur mittleren Beleuchtungsstärke ($g_1 = E_{\min}/\bar{E}$) bzw. in der Straßenbeleuchtung als Verhältnis der minimalen zur mittleren Leuchtdichte ($U_0 = L_{\min}/\bar{L}$) angegeben.

In bestimmten Anwendungsfällen ist das Verhältnis der minimalen zur maximalen Beleuchtungsstärke $g_2 = E_{\min}/E_{\max}$ von Bedeutung.

Wartungsfaktor WF

Durch die 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 werden, die den Neuwert der Beleuchtungsstärke bzw. Leuchtdichte in Bezug auf den Wertungswert festlegen.

Ist das nicht möglich, wird für die Innenraumbeleuchtung ein Wartungsfaktor bei normalen Alterungs- und Verschmutzungsbedingungen von 0,67, bei kritischen Bedingungen bis zu 0,5 empfohlen. Wertungswert und Wartungsfaktor bestimmen den Neuwert: Wertungswert = Neuwert x Wartungsfaktor.

Die Gütemerkmale der Beleuchtung

In der Summe stehen die Gütemerkmale für Beleuchtungsqualität. Daher genügt es nicht, eine Beleuchtungsanlage nur nach einem Merkmal, zum Beispiel der Beleuchtungsstärke, auszulegen.

Analog den unterschiedlichen Tätigkeiten in Beruf und Freizeit – z. B. in einem Buch lesen, feinste elektronische Bauteile montieren, technische Zeichnungen erstellen, in einer Druckerei Farbkontrollen durchführen usw. – sind auch die Sehaufgaben in ihren Anforderungen unterschiedlich. Aus diesen Sehaufgaben leiten sich die Anforderungen an die Güte der Beleuchtung ab.

Die Qualität der Planung und Ausführung ist maßgebend für die Güte der künstlichen Beleuchtung, die durch Gütemerkmale beschrieben wird. Hierbei bestimmt als entsprechendes Gütemerkmal

- > das *Beleuchtungsniveau* die Helligkeit,
- > die *Blendungsbegrenzung* das störungsfreie Sehen ohne Direkt- oder Reflexblendung,
- > die *harmonische Helligkeitsverteilung* das ausgewogene Verhältnis der Leuchtdichten,
- > die *Lichtfarbe* das Aussehen der Lampen und in Verbindung mit

> der *Farbwiedergabe* das fehlerfreie Erkennen und Unterscheiden von Farben sowie die Raumstimmung,

> die *Lichtrichtung* und

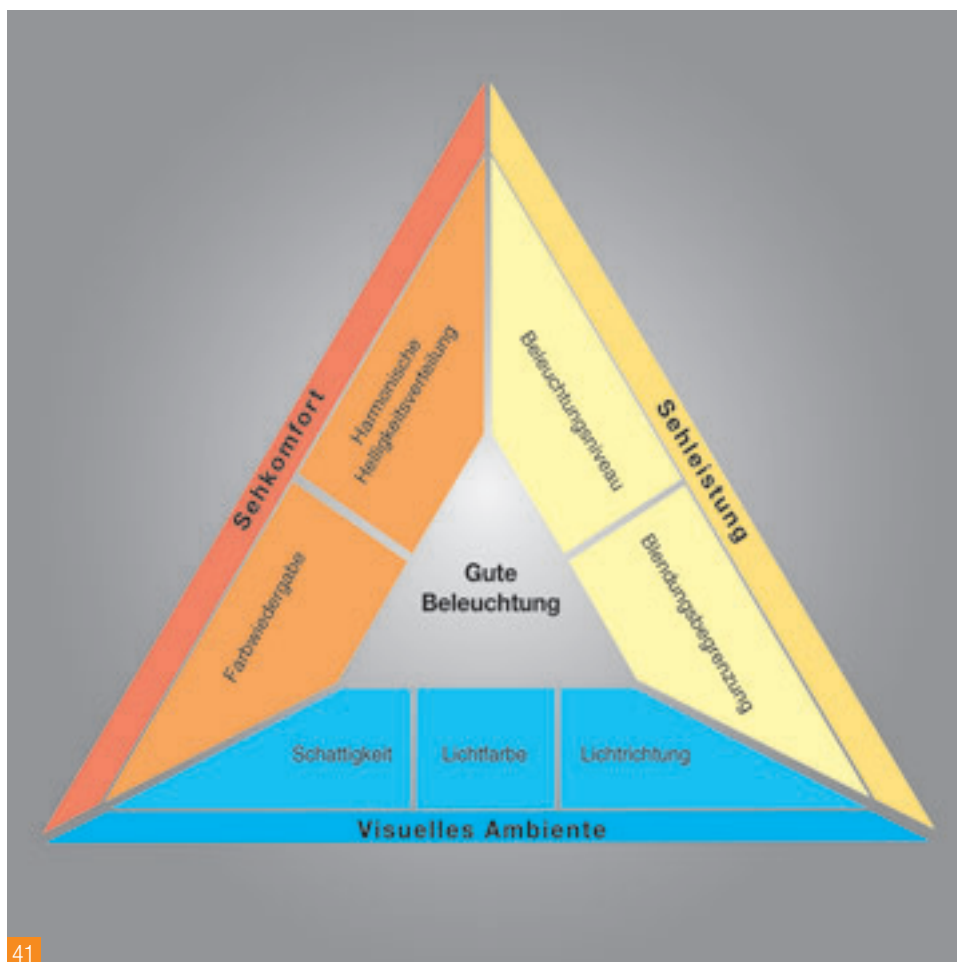
> die *Schattigkeit* das Erkennen von Körperlichkeit und Oberflächenstrukturen.

Je nach Nutzung und Erscheinungsbild eines Raumes kommt den Gütemerkmalen unterschiedliche Gewichtung zu. So wird bevorzugt beeinflusst:

> die *Sehleistung* durch Beleuchtungsniveau und Blendungsbegrenzung,

> der *Sehkomfort* durch Farbwiedergabe und harmonische Helligkeitsverteilung,

> das *visuelle Ambiente* durch Lichtfarbe, Lichtrichtung und Schattigkeit.



[41] Die lichttechnischen Gütemerkmale stehen zueinander in Beziehung.

Beleuchtungsniveau – Wartungswert und Leuchtdichte

Für Innenräume und für bestimmte Anwendungsfälle in der Außenbeleuchtung nennen Normen den Wertungswert der Beleuchtungsstärke. Die Leuchtdichte ist ein Gütemerkmal zum Beispiel der Straßenbeleuchtung.

Das Beleuchtungsniveau wird durch die Beleuchtungsstärke und die Reflexionseigenschaften der beleuchteten Fläche beeinflusst und bestimmt die Sehleistung.

Hier einige Beispiele für Reflexionsgrade:

- > Weiße Wände bis 85 %
- > Helle Holzverkleidung bis 50 %
- > Rote Ziegelsteine bis 25 %

Je geringer die Reflexionsgrade sind und je schwieriger die Sehaufgabe ist, umso höher muss die Beleuchtungsstärke sein.

Wartungswert

Der Wertungswert der Beleuchtungsstärke ist der Mittelwert auf der Bewertungsfläche, der nicht unterschritten werden darf. Mit zunehmender Betriebszeit verringert sich die Beleuchtungsstärke durch Alterung und Verschmutzung von Lampen, Leuchten und der Räume. Um diese Abnahme zu kompensieren, muss die Neuanlage eine höhere Beleuchtungsstärke aufweisen (Neuwert).

In der Planung wird diese Abnahme mit dem Wertungsfaktor erfasst: Wertungswert = Wertungsfaktor • Neuwert

Wertungsfaktor

Der Wertungsfaktor hängt von der Art der Lampen und Leuchte, der Staub- und Verschmutzungsgefahr des Raums bzw. der Umgebung sowie von der Wertungsmethode und dem Wertungsintervall ab. Meist sind zum Zeitpunkt der Planung der Beleuchtung die später betriebsbedingten Einflüsse auf die Abnahme der Beleuchtungsstärke nicht ausreichend bekannt, sodass bei einem Wertungsintervall von drei Jahren ein Wertungsfaktor von 0,67 (in sauberen Räumen) bzw. von bis zu 0,5 (in schmutzi-

gen Räumen, z. B. Raucherräumen) anzusetzen ist.

Üblicherweise 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 erforderlichen Wertungswerte der Beleuchtungsstärke werden für Arbeitsstätten in Innenräumen für verschiedene Raumarten, Aufgaben oder Tätigkeiten in DIN EN 12464-1 sowie für Arbeitsplätze im Freien in DIN EN 12464-2 angegeben.

Beispiele:

Verkehrsflächen	100 lx
Büro	500 lx
Operationsfeld	bis 100.000 lx

Für die ebenfalls europäisch harmonisierte Norm DIN EN 12193 zur Sportstättenbeleuchtung werden für jede Sportart Referenzflächen (in Bodenhöhe) und die geforderten Beleuchtungsstärken festgelegt. Die Beleuchtungsstärke ist einfach messbar, ihre Berechnung relativ unkompliziert. Daher wird sie in der Planung der Innenraumbeleuchtung verwendet.

Leuchtdichte

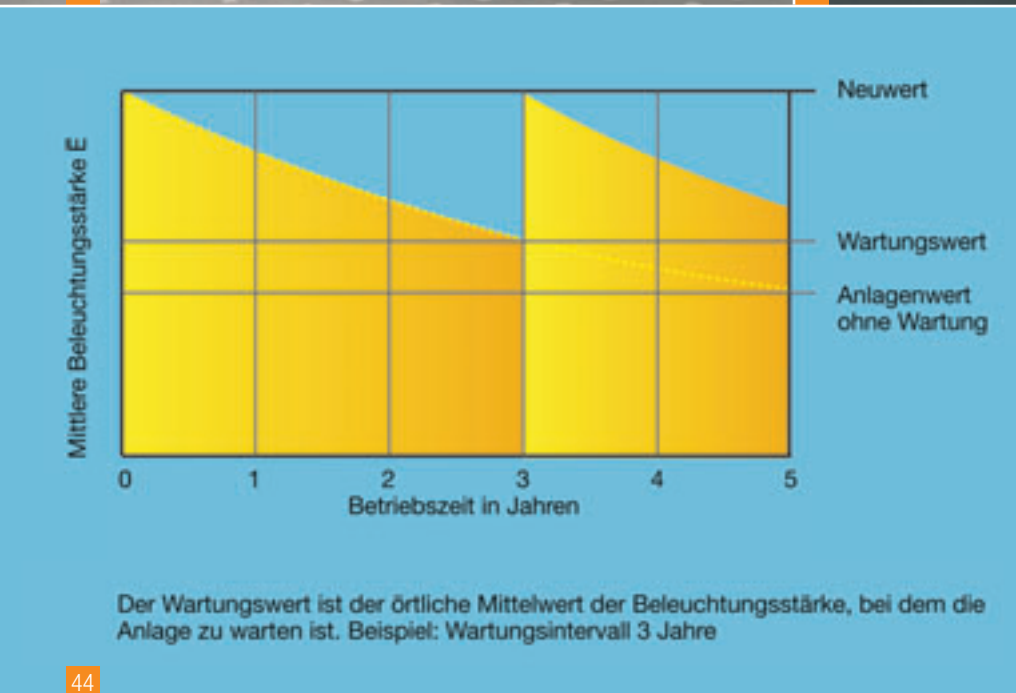
Ein höherer Planungs- und Messaufwand ist zur Bestimmung der Leuchtdichte L (gemessen in cd/m^2) erforderlich.

Bei der Straßenbeleuchtung ist die Leuchtdichte für die Beurteilung der Güte der Beleuchtungsanlage unerlässlich. Der Kraftfahrer sieht das von der „gesehenen Fahrbahnfläche“ in seine Richtung reflektierte Licht – die material- und richtungsabhängige Leuchtdichte.



42

43



44

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

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

[44] Neuwert (Anfangswert) und Wartungswert

Wegen der genormten Reflexionseigenschaften der Fahrbahnbeläge und der Festlegung des Beobachterstandortes ist die Leuchtdichte als Planungsgröße in der Straßenbeleuchtung eingeführt.

Die Beleuchtung einer Straße ist abhängig vom Lichtstrom der Lampen, der Lichtstärkeverteilung der Leuchten, der Geometrie der Beleuchtungsanlage und den Reflexi-

onseigenschaften des Straßenbelages. Die Güteigenschaften der Straßenbeleuchtung sind in DIN EN 13201-2 aufgeführt.

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

Blendungsbegrenzung – Direktblendung

Direktblendung entsteht durch zu hohe Leuchtdichten, wie z. B. durch ungeeignete oder ungeeignet angebrachte Leuchten oder durch freistrahkende Lampen.

Blendung beeinträchtigt das Wohlbefinden (psychologische Blendung) und kann auch die Sehleistung merkbar herabsetzen (physiologische Blendung) und ist daher zu begrenzen.

Das TI-Verfahren in der Straßenbeleuchtung

Wie gefährlich Blendung in der Straßenbeleuchtung ist und die Sicherheit reduzieren kann, weiß jeder Kraftfahrer aus eigener Erfahrung. Deshalb ist die wirksame Begrenzung der physiologischen Blendung ein wichtiges Kriterium für gute Straßenbeleuchtung.

Das Verfahren für die Blendungsbegrenzung in der Straßenbeleuchtung orientiert sich an der physiologischen Wirkung der Blendung und zeigt, wie stark die Erkennbarkeitsschwelle des Auges durch Blendung reduziert wird.

In der Außenbeleuchtung wird die physiologische Blendung nach dem TI-Verfahren (Threshold Increment) bewertet.

Der TI-Wert gibt an, um wie viel Prozent die Sehschwelle aufgrund von Blendung erhöht wird. Die Sehschwelle ist der Leuchtdichteunterschied, bei dem ein Objekt gerade noch vor seinem Hintergrund erkannt wird.

Beispiel:

Bei einer blendfreien Straßenbeleuchtung adaptiert das Auge auf die mittlere Fahrbahnleuchtdichte L . Ein Sehobjekt auf der Fahrbahn ist gerade sichtbar, wenn es gegenüber seiner Umgebung einen Leuchtdichteunterschied (Schwellenwert) von ΔL_0 aufweist. Befinden sich dagegen Blendlichtquellen im Gesichtsfeld, erzeugen diese im Augeninneren ein Streulicht, das sich wie ein Schleier auf die Netzhaut legt. Diese zusätzliche „Schleierleuchtdichte“ L_s bewirkt, dass das Auge auf ein höheres Niveau $L + L_s$ adaptiert, obwohl die mittlere Fahr-

bahnleuchtdichte L unverändert bleibt. Das Sehobjekt mit dem Leuchtdichteunterschied ΔL_0 gegenüber seiner Umgebung wird unsichtbar.

Der notwendige Leuchtdichteunterschied muss bei Blendung auf ΔL_{BL} erhöht werden, um dieses Objekt wieder wahrnehmen zu können. Die Erhöhung um $\Delta L_{BL} - \Delta L_0$ kann bei gegebener mittlerer Fahrbahnleuchtdichte L als Maß für die Blendwirkung verwendet werden. Die prozentuale Schwellenwerterhöhung TI (Threshold Increment) von ΔL_0 auf ΔL_{BL} ist als Maß für die physiologische Blendung eingeführt und wird nach der folgenden Formel berechnet:

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

Das UGR-Verfahren in der Innenbeleuchtung

In der Innenraumbeleuchtung wird die psychologische Blendung nach dem vereinheitlichten UGR-Verfahren (unified glare rating) beurteilt. Diesem Verfahren liegt eine Blendformel zugrunde. Diese berücksichtigt alle Leuchten der Anlage, die zum Blendeindruck beitragen. Zur Bewertung der Blendung werden UGR-Tabellen herangezogen, denen die UGR-Formel zugrunde liegt und die die Leuchtenhersteller zur Verfügung stellen.

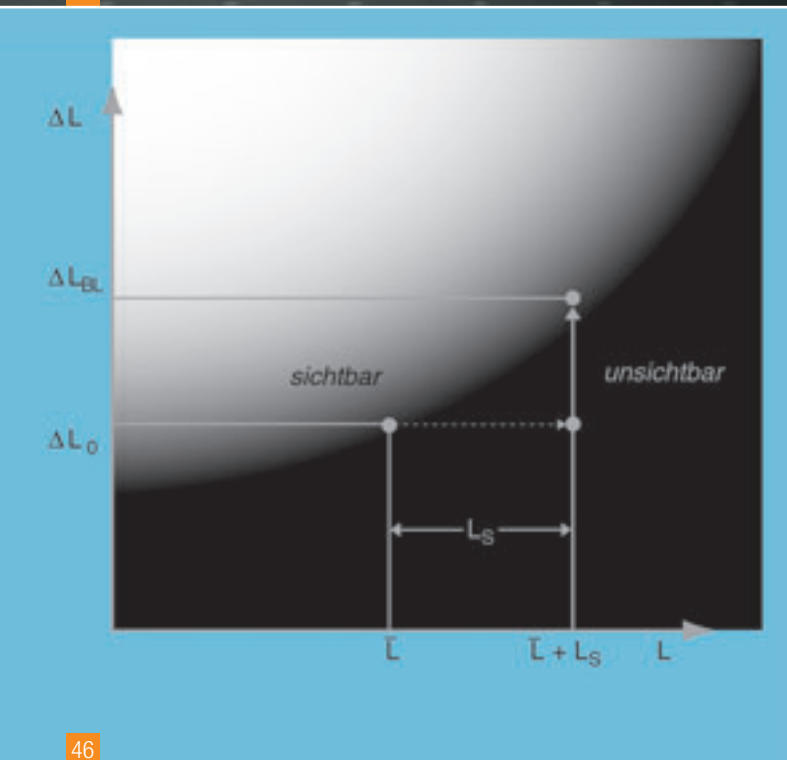
$$UGR = 8 \log \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \Omega}{p^2}$$



45

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

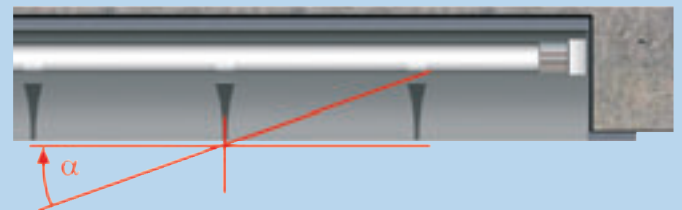
[46] Bewertung der physiologischen Blendung nach dem TI-Verfahren: Leuchtdichteunterschied ΔL als Funktion der Adaptationsleuchtdichte L . Bei Blendung muss der Leuchtdichteunterschied auf ΔL_{BL} erhöht werden, damit das Sehobjekt wieder erkennbar ist.



46

Abschirmmaßnahmen gegen Blendung

Um eine Blendung durch helle Lichtquellen zu vermeiden, sollten Lampen abgeschirmt werden. Für die nachfolgend angegebenen Lampen-Leuchtdichten muss der zugehörige Mindestabschirmwinkel eingehalten werden.



Lampen-Leuchtdichte cd/m^2	Mindestabschirmwinkel α
20.000 bis < 50.000	15°
50.000 bis < 500.000	20°
≥ 500.000	30°

47

Blendungsbegrenzung – Reflexblendung

Reflexblendung führt zu ähnlichen Störungen wie die Direktblendung und beeinträchtigt vor allem die Kontraste, die zum störungsfreien Sehen notwendig sind.

Mit Reflexblendung werden Störungen bezeichnet, die z. B. von Lampen, Leuchten oder auch Fenstern mit zu hohen Leuchtdichten stammen und an spiegelnden oder glänzenden Oberflächen wie z. B. auf nassem Asphaltstraßen, auf Kunstdruckpapier oder auf Bildschirmen auftreten.

Die Begrenzung der Reflexblendung lässt sich mit der richtigen Auswahl der Lampen und Leuchten und deren Anordnung im Raum lösen.

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

Bei den üblichen Büroarbeiten ist ein Mindestwert von CRF = 0,7 ausreichend, nur bei Arbeiten mit hochglänzenden Materialien ist ein höherer Wert erforderlich.

Reflexblendung auf Bildschirmen ist die häufigste Ursache von Beanstandungen. Diese werden wirksam vermieden, wenn Bildschirm und helle Flächen wie Fenster, Leuchten, helle Wände so zueinander angeordnet werden, dass sich diese nicht im Bildschirm spiegeln. Ist dies nicht möglich,

sind die Leuchtdichten der sich im Bildschirm spiegelnden Flächen zu reduzieren.

Für Leuchten gelten die angegebenen Leuchtdichtegrenzwerte (siehe Tabelle unten), die von der Art der Entspiegelungsmaßnahmen am Bildschirm abhängig sind und für alle Ausstrahlungswinkel der Leuchte oberhalb von 65° zur Senkrechten, jedoch rund um diese Achse, gelten.

Bildschirme	Mittlere Leuchtdichten von Leuchten und Flächen, die sich im Bildschirm spiegeln
Bildschirme mit Positivdarstellung	≤ 1.000 cd/m ²
Bildschirme mit Negativdarstellung und hochwertiger Entspiegelung Nachweis über Prüfzertifikat erforderlich	
Bildschirme mit Negativdarstellung und weniger guter Entspiegelung	≤ 200 cd/m ²



48



49



50



51

[48] Reflexblendung durch Lichtreflexe auf dem Sehobjekt führen zu Blendstörungen und damit zu schlechten Sehbedingungen.

[49] Reflexe auf Bildschirmen sind besonders störend. Für direktstrahlende Leuchten, die sich im Bildschirm spiegeln können, muss deren Leuchtdichte begrenzt werden.

[50+51] Je nach Art der Bildschirmklasse muss die mittlere Leuchtdichte von Leuchten, die sich im Bildschirm spiegeln können, ab dem Grenzausstrahlungswinkel von $\gamma = 65^\circ$ (rundum in 15° -Schritten ermittelt) auf 200 cd/m^2 bzw. 1.000 cd/m^2 begrenzt werden, um störende Reflexe zu vermeiden.

Harmonische Helligkeitsverteilung

Die Leuchtdichte ist das Maß für den Helligkeitseindruck, den die Augen von einer leuchtenden oder beleuchteten Fläche haben.

[52–54] Für den Sehkomfort in Innenräumen ist eine harmonische Helligkeitsverteilung wichtig.

[55–57] Auf Fahrbahnen wird Sicherheit durch eine gute Längsgleichmäßigkeit – was einer harmonischen Helligkeitsverteilung entspricht – erzielt.

[58] Für eine harmonische Helligkeitsverteilung muss die Beleuchtung abgestimmt werden mit der Farbgebung und Oberflächenbeschaffenheit der Raumausstattung.

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

[60] Auch eine Fußgängerzone sollte gleichmäßig und damit „sicher“ beleuchtet sein, was nicht „langweilig“ zu heißen braucht.

Große Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld beeinträchtigen die Sehleistung und das Wohlbefinden und müssen daher vermieden werden. Das gilt sowohl für die Innenraumbeleuchtung als auch in Außenbereichen, z. B. in Sportstätten oder bei der Straßenbeleuchtung.

Die Leuchtdichte einer Schreibtisch-Arbeitsfläche sollte z. B. nicht geringer als ein Drittel der Leuchtdichte des Dokumentes sein.

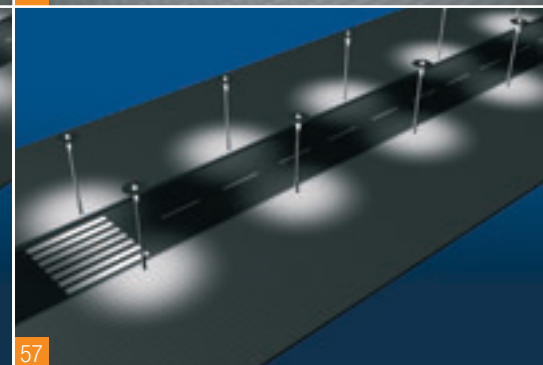
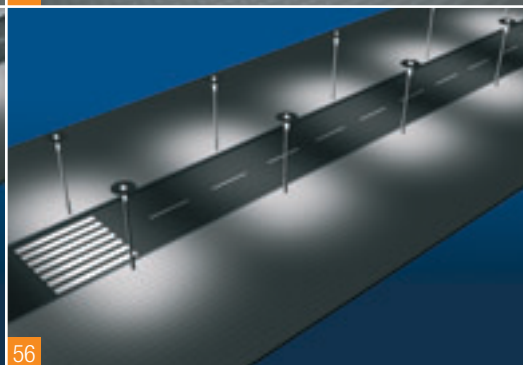
Das gleiche Verhältnis wird empfohlen für die Leuchtdichte der Arbeitsfläche zur Leuchtdichte der entfernteren Umgebung. Das Leuchtdichteverhältnis von Sehaufgabe und ausgedehnten Flächen im entfernten Umfeld sollte nicht mehr als 10:1 betragen.

Zu geringe Leuchtdichteunterschiede ergeben einen gleichförmig monotonen Raumeindruck, der ebenfalls als unangenehm empfunden wird.

Im Sinne von Sicherheit durch rechtzeitiges Erkennen von Hindernissen und Gefahren auf der Straße ist eine gute örtliche Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte wichtig.

Eine harmonische Helligkeitsverteilung z. B. bei Büroräumen ist durch eine auf die Farbgebung und Oberflächenbeschaffenheit der Raumausstattung abgestimmte Beleuchtung möglich. Zu einer ausgewogenen Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld tragen bei:

- > Eine raumbezogene oder arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung.
- > Eine Verbesserung der Gleichmäßigkeit durch indirekte Anteile der Beleuchtung.
- > Ein Verhältnis der minimalen zur mittleren Beleuchtungsstärke (E_{min} / \bar{E}) von mindestens 0,7.
- > Nicht zu geringe Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen.





58



59



60

Lichtrichtung und Schattigkeit

Ohne Licht können wir keine Gegenstände sehen, ohne Schatten sind Gegenstände nur zweidimensionale Bilder. Erst die Lichtrichtung und die Schattigkeit lassen Objekte plastisch erscheinen und geben ihnen Tiefe.

Zur guten Erkennbarkeit von Körpern, Oberflächen und Strukturen gehören Licht und Schatten. Ein heller Raum mit ausschließlich diffusem Licht ohne Schattenbildung wirkt monoton, die fehlende Orientierung und die mangelhafte Erkennbarkeit von Objekten und Entfernungen führen zu Unbehagen.

Im Gegenteil dazu bilden punktförmige Lichtquellen mit extrem gerichtetem Licht tiefe Schatten mit harten Schattenrändern. In diesen „Schlagschatten“ ist dann fast nichts mehr zu erkennen und es können optische Täuschungen entstehen, die oftmals eine Gefahrenquelle darstellen, z. B. bei der Handhabung von Werkzeugen oder Maschinen oder bei falscher Treppenbeleuchtung.

Lichtrichtung und Schattigkeit bestimmen auch das visuelle Ambiente mit. Ein gutes Verhältnis von diffusem Licht, z. B. durch indirekte Lichtanteile, zum gerichteten Licht, z. B. durch direktstrahlende Rasterleuchten oder Downlights, bewirkt eine angenehme Schattigkeit.

Die Lichtrichtung wird meist durch das Tageslicht bestimmt, das aus einer bestimmten Richtung durch die Fenster in den Raum fällt. Zu starke Schattenbildung, z. B. vor der schreibenden Hand, kann durch das Kunstlicht 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.

Bei der Leuchtenanordnung parallel zum Fenster kann hierzu tagsüber die hintere Leuchtenreihe im Raum eventuelle Schlagschatten aufhellen, mit abnehmendem Tageslichtanteil wird die vordere Leuchtenreihe am Fenster zugeschaltet bzw. abhängig vom Tageslichtangebot „zugedimmt“ und ersetzt schließlich das natürliche Licht.

Bei bestimmten Sehaufgaben, z. B. bei der Beurteilung von Oberflächenbeschaffenheiten, ist wiederum eine ausgeprägte Schattigkeit durch gerichtetes Licht notwendig.

Im Sport ist bei schnellen Ballspielen, wie Tennis oder Squash, auf die ausreichende Schattigkeit des Balls zum rechtzeitigen Erkennen und Einschätzen von Flugbahn und Ballaufsatz zu achten.





63



64



65



66

[61+62] Die meisten Menschen bevorzugen einen Lichteinfall vorwiegend von links oben, der eine störende Schattenbildung vor der schreibenden Hand vermeidet.

[63] Um eine zu harte Schattenbildung zu vermeiden, werden die Scheinwerfer so angeordnet, dass die Scheinwerferlichtbündel die Schatten gegenseitig aufhellen.

[64] Licht und Schatten modellieren die Details der Figur aus weißem Marmor nach.

[65+66] Nur gerichtetes Streiflicht lässt die Struktur der Wand plastisch werden, die in diffusem Licht verflacht.

Lichtfarbe

Der Mensch erlebt seine Umwelt nicht nur als Hell und Dunkel, Licht und Schatten, sondern auch durch Farben.

Die Lichtfarbe einer Lampe wird mit der Farbtemperatur T_f und der Maßeinheit Kelvin (K) beschrieben. Die Kelvin-Temperaturskala beginnt beim absoluten Nullpunkt (0 Kelvin $\approx -273^\circ\text{C}$).

Die Farbtemperatur der Farbe einer Lichtquelle wird durch Vergleich mit der Farbe eines „Schwarzen Strahlers“ bestimmt. Der „Schwarze Strahler“ ist ein „idealisiert“ Körper, z. B. aus Platin, der alles Licht, das auf ihn fällt, schluckt, und dessen Reflexionsstrahlung somit gleich Null ist.

Wenn ein „Schwarzer Strahler“ langsam erhitzt wird, durchläuft er eine Farbskala von Dunkelrot, Rot, Orange, Gelb, Weiß bis zum Hellblau. Je höher die Temperatur, desto weißer wird die Farbe. Die Temperatur eines „Schwarzen Strahlers“ in K, bei der mit der zu bestimmenden Lichtquelle Farbgleichheit besteht, ist die ähnlichste Farbtemperatur der Lichtquelle.

Eine Glühlampe mit ihrem warmweißen Licht hat z. B. eine ähnlichste Farbtemperatur von 3.000 K, eine neutralweiße Leuchtstofflampe 4.000 K und eine tageslichtähnliche Leuchtstofflampe 6.000 K.

Die Norm teilt die Lichtfarben der Lampen in drei Gruppen tw – tageslichtweiß, nw – neutralweiß und ww – warmweiß ein.

Die Lichtfarbe der Lampen:

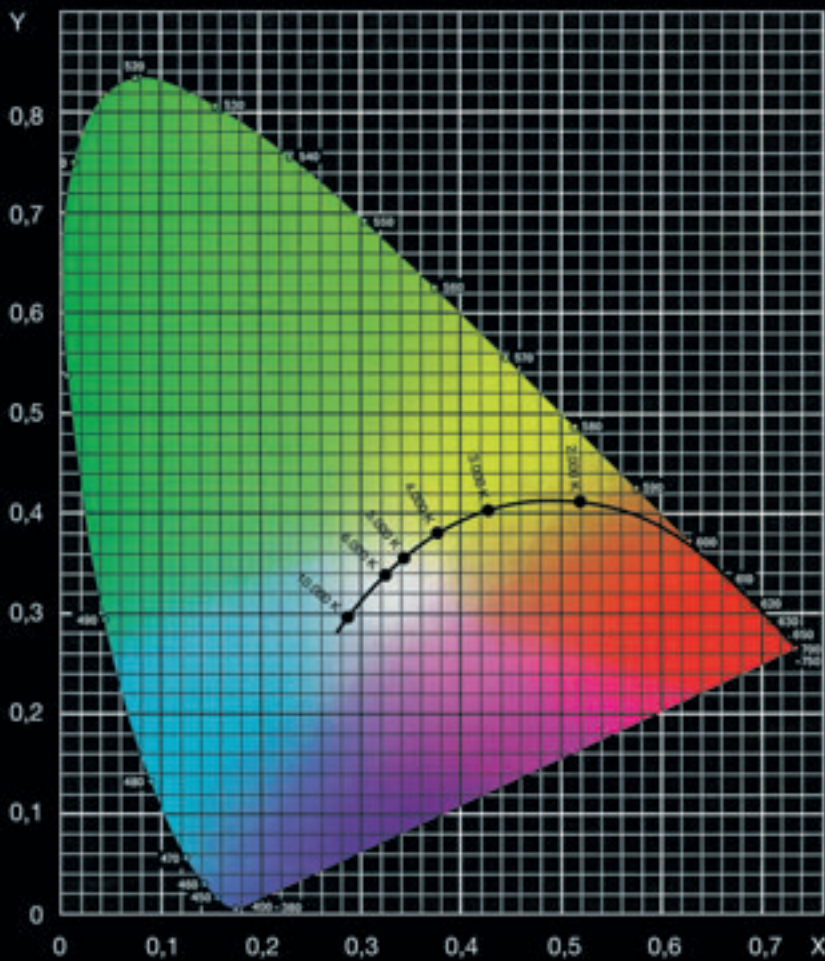
Lichtfarbe	Farbtemperatur in Kelvin
warmweiß	< 3.300
neutralweiß	3.300 – 5.300
tageslichtweiß	> 5.300

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

Die herstellereutrale Farbbezeichnung von Lampen besteht aus drei Ziffern. Die erste Ziffer kennzeichnet die Farbwiedergabe (R_a -Bereich), die zweite und dritte Ziffer kennzeichnen die Farbtemperatur (in Kelvin).

Ziffer	R_a -Bereich	Lichtfarbe	Farbtemperatur in Kelvin
1. Ziffer		2. + 3. Ziffer	
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





68

[67] Wie wir Farben sehen, hängt nicht nur alleine von der Lichtfarbe und der Farbwiedergabe der Lampe ab. Wenn die Lichtfarbe vom Tageslicht abweicht, können wir die Farben in gewissen Grenzen entsprechend der gespeicherten „Erfahrungs-Sehwerte“ automatisch korrigieren.

[68] Von der internationalen Beleuchtungskommission CIE wurde ein Farbdreieck festgelegt, in dem die Farben von Lichtquellen und Körperfarben einzuordnen sind. Bei $x = y = 0,333$ liegt Unbunt, d. h. Weiß, Grau oder Schwarz, je nach Helligkeit.

Um diesen Punkt liegen alle anderen Farbarten. Auf den Geraden vom Unbuntort zur Begrenzungskurve (welche die Spektralfarben des Sonnenlichtes darstellt) liegen die Farben mit dem gleichen Farbton – mit zur Begrenzungskurve hin zunehmender Sättigung.

Das Farbdreieck beinhaltet alle realen Farben. Der eingezeichnete Kurvenzug beschreibt die Farben des „Schwarzen Strahlers“ bei den genannten Temperaturwerten (in Kelvin).

[69–71] Leuchtstofflampen haben ein Linien- oder Bandenspektrum. Als Beispiel sind hier die Spektren von Leuchtstofflampen der drei Gruppen tw, nw und ww gezeigt.

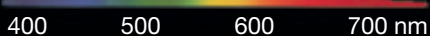
[72] Die Glühlampe weist im Vergleich dazu ein kontinuierliches Spektrum auf.



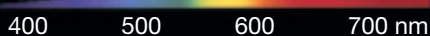
69



70



71



72

Farbwiedergabe

Licht und Farbe bestimmen das „Klima“ eines Raumes und beeinflussen durch „Wärme“ oder „Kälte“ Stimmungen und Wohlbefinden.

Korrekte Farbwahrnehmung auch bei künstlichem Licht ist eine wichtige Aufgabe guter Beleuchtung. Der Farbeindruck wird durch die Wechselwirkung zwischen der Farbe der betrachteten Gegenstände, also deren spektralen Reflexionsgraden, und der spektralen Zusammensetzung des Lichtes bestimmt.

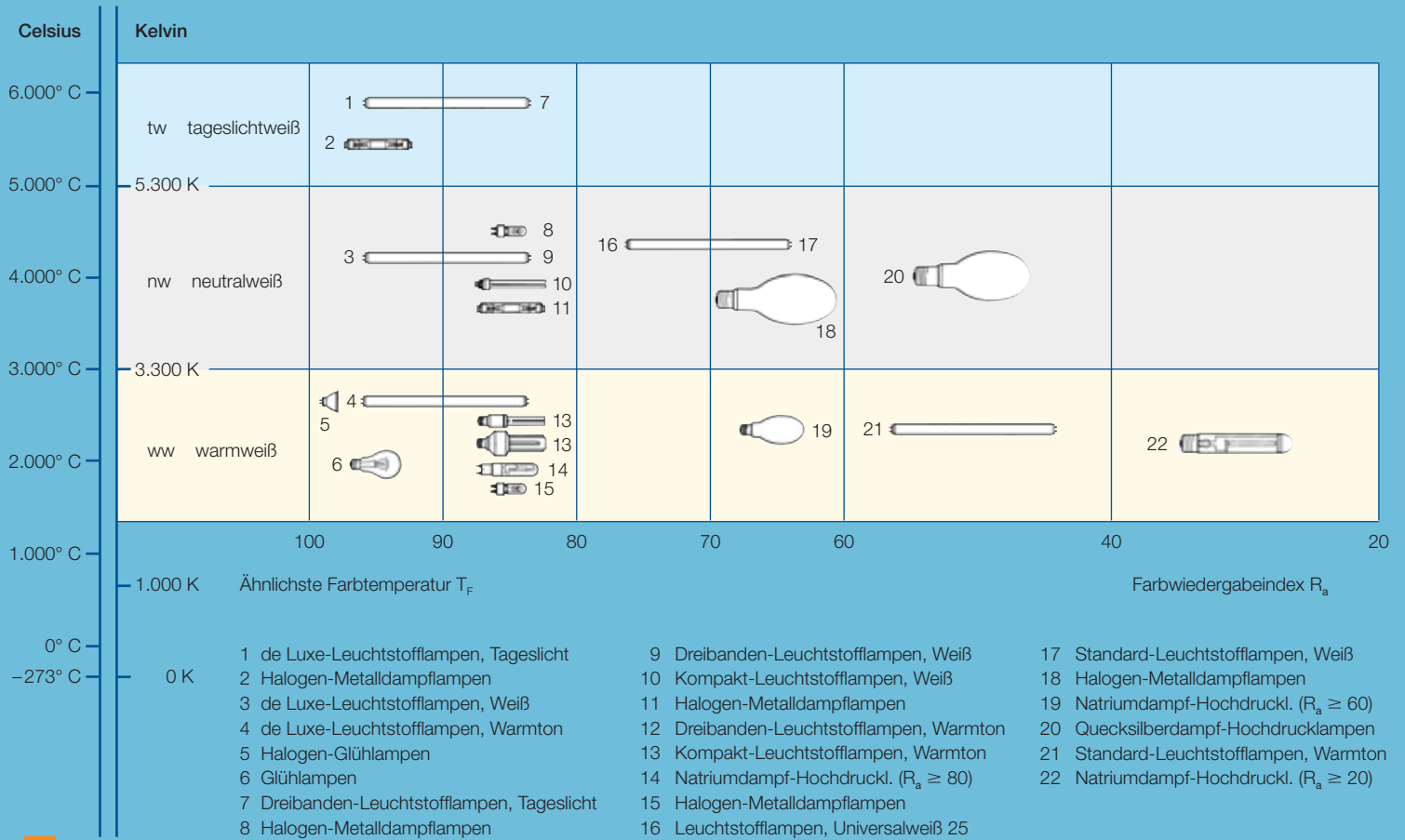
Aus der Erfahrung des täglichen Lebens sind dem Menschen eine Reihe von Körperfarben bekannt, die je nach Beleuchtung zwar unterschiedlich aussehen können, für die aber unabhängig davon bestimmte „Erfahrungs-Sehwerte“ vorhanden sind.

Z. B. ist die Farbe der menschlichen Haut bei Tageslicht „gespeichert“. Fehlt im künstlichen Licht eine Spektralfarbe oder sind einige im Spektrum der Lampe überbetont (z. B. bei Glühlampenlicht), erscheint die Hautfarbe zwar andersfarbig, aber aufgrund der Erfahrung trotzdem „natürlich“. Bei anderen farbigen Materialien, für die keine „Erfahrungswerte“ vorliegen, können jedoch völlig andere Farbwahrnehmungen eintreten.

Zur Beschreibung der farblichen Wirkung der Lichtquellen werden deren Farbwiedergabeeigenschaften angegeben. Dies erfolgt in Stufen für den „allgemeinen Farbwiedergabe-Index“ R_a . Der Farbwiedergabe-Index kennzeichnet das Maß der Übereinstimmung der Körperfarbe mit ihrem Aussehen unter der jeweiligen Bezugslichtquelle.

Zur Bestimmung der R_a -Werte von Lichtquellen werden acht – in der Umwelt dominante und festgelegte – Testfarben jeweils mit der Bezugslichtquelle (mit $R_a = 100$) und der zu prüfenden Lichtquelle beleuchtet. Je geringer oder größer die Abweichung der Farbwiedergabe der beleuchteten Testfarbe ist, umso besser oder schlechter ist die Farbwiedergabeeigenschaft der geprüften Lichtquelle.

Eine Lichtquelle mit $R_a = 100$ lässt alle Farben wie unter der Bezugslichtquelle optimal erscheinen. Je niedriger der Wert für R_a ist, umso weniger gut werden die Körperfarben der beleuchteten Gegenstände wiedergegeben.



73



74

[73] Elektrische Lampen werden entsprechend ihrer Lichtfarbe in die Gruppen tw, nw oder ww und ihres Farbwiedergabe-Index R_a von 20 bis 100 klassifiziert.

[74] Die unterschiedlichen Farbwiedereigenschaften von Lampen führen trotz gleicher Lichtfarbe zu unterschiedlichen Farbwahrnehmungen. Wenn z. B. in dem Spektrum der Lampen nur wenig Rot vorhanden ist (rechts), werden auch die roten Körperfarben nur unvollkommen wiedergegeben.

Lichterzeugung durch Temperaturstrahler, Entladungslampen und LEDs

Grundsätzlich erzeugen Lampen das Licht entweder durch Temperaturstrahlung oder durch Gasentladung, deren Strahlung entweder direkt sichtbar ist oder durch Umwandlung durch Leuchtstoff sichtbar wird.

Glühlampen

Die Glühlampe ist ein Temperaturstrahler, bei der durch Widerstandserhitzung Licht erzeugt wird. Sie besteht aus einem Wolframdraht in einem Glaskolben, der je nach Ausführung evakuiert oder mit Stickstoff oder Edelgas (Argon) gefüllt ist.

Durch die Edelgasfüllung wird die Temperatur der Wolframwendel erhöht und die Abdampfung verringert. Dadurch wird die Lichtausbeute erhöht und die Lichtstromabnahme, bedingt durch verhinderte Schwärzung der Innenseite des Glaskolbens, reduziert. Eine weitere Verbesserung der Lichtausbeute wird durch die doppelte Wendelung des Widerstandsdrahtes erreicht.

Grundsätzlich haben Glühlampen jedoch eine schlechte Lichtausbeute. Wirtschaftlicher erzeugen Halogen-Glühlampen ihr Licht, die besten Lichtausbeute-Werte erzielen Entladungslampen.

Unter der mittleren Lebensdauer versteht man bei Glühlampen die Lebenszeit, die 50 % aller Lampen unter normalen Betriebsbedingungen erreichen. Für Allgebrauchsglühlampen beträgt sie 1.000 h. Einfluss auf die Lebensdauer und den Lichtstrom der Glühlampe hat die Höhe der anliegenden Netzspannung.

Halogenlampen

Eine Weiterentwicklung der Glühlampe ist die Halogenlampe, bei der der Kolben mit Halogengas gefüllt ist. Dieser Füllgaszusatz sorgt dafür, dass sich abdampfende Wolfram-Atome nach einem „Kreisprozess“ wieder auf der Wendel ablagern und so eine Kolbenschwärzung verhindert wird.

Die wesentlichen Vorteile der Halogenlampen sind eine höhere Lichtausbeute von bis zu etwa 25 lm/W, eine längere Lebensdauer, z. B. 2.000 Stunden, konstanter Lichtstrom, eine weiße Lichtfarbe und kleine Abmessungen.

Unterschieden werden Halogenlampen in Hochvoltlampen für den Betrieb an 230 V und in Niedervoltlampen für Spannungen von 6, 12 oder 24 V.

Halogen-Reflektorlampen mit Metallreflektor oder verspiegeltem Glasreflektor bündeln das Licht in unterschiedlichsten Ausstrahlungswinkeln.

Bei den Kaltlichtspiegel-Reflektorlampen werden $\frac{2}{3}$ der Wärme (IR-Strahlung) durch den infrarotdurchlässigen Spiegel nach hinten abgeführt und somit dem Lichtbündel entzogen. Dadurch sind z. B. Museumsobjekte vor zu starker Erwärmung geschützt.

Alle Temperaturstrahler können problemlos gedimmt werden, Niedervolt-Lampen benötigen dafür jedoch einen speziellen Dimmer, der auf den Transformator abgestimmt sein muss.

Entladungslampen

Entladungslampen erzeugen Licht beim Stromdurchgang durch ionisiertes Gas oder Metaldampf. Je nach Gasfüllung wird sichtbares Licht direkt abgestrahlt oder UV-Strahlung durch Leuchtstoffe auf der Innenseite der Glaskolben in sichtbares Licht umgewandelt.

Entsprechend dem Betriebsdruck im Entladungsrohr wird in Niederdruck- und Hochdrucklampen unterschieden.



75

Entladungslampen benötigen zum Betrieb ein Vorschaltgerät, das hauptsächlich dazu dient, den durch die Lampen fließenden Strom zu begrenzen. Zur Zündung werden Starter oder Zündgeräte gebraucht, die genügend hohe Spannungs- und Energie-Impulse liefern, um die Gassäule (Entladungsstrecke) zu ionisieren und dadurch die Lampe zu zünden.

Bei Entladungslampen wird in den meisten Fällen für die Angabe der Lebensdauer der Begriff Nutzlebensdauer verwendet. Die Nutzlebensdauer berücksichtigt die nicht wieder funktionsfähigen Lampen in einer Beleuchtungsanlage, die z. B. durch Wendenbruch ausgefallen sind, und den Lichtstromrückgang, der durch die Ermüdung des Leuchtstoffes und die Verschlechterung des Entladungsmechanismus bedingt ist. Der sich hieraus ergebende Anlagenlichtstrom darf einen bestimmten Mindestwert (80 %) nicht unterschreiten.

Elektronische Vorschaltgeräte

Bei Verwendung von elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) wird die Lichtausbeute und Lebensdauer der Lampen erhöht. Darüber hinaus starten die Lampen sofort und flackerfrei und erzeugen ein ruhiges flimmerfreies Licht ohne Stroboskopeffekte. Defekte Lampen werden automatisch abgeschaltet.

Leuchtstofflampen

Dreibanden-Leuchtstofflampen sind Niederdruck-Entladungslampen. Sie haben drei oder fünf besonders prägnante Spektralbereiche im blauen, grünen und roten Bereich, welche die guten Farbwiedergabeeigenschaften ausmachen.

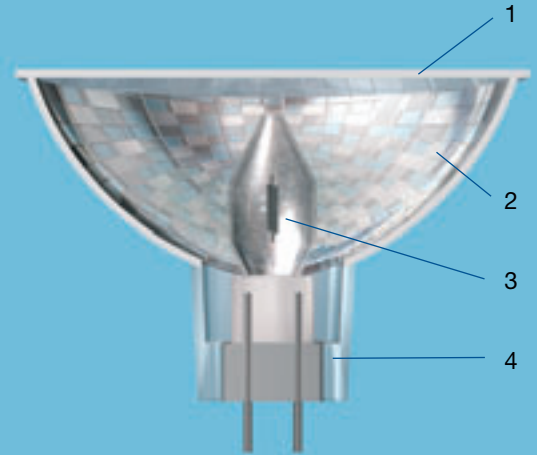
Die auf der Innenseite der Lampenrohre aufgetragene Leuchtstoffschicht wandelt die im Wesentlichen unsichtbare UV-Strahlung der Gasentladung in sichtbares Licht um. Die chemische Zusammensetzung des Leuchtstoffes bestimmt u. a. die Lichtfarbe und Farbwiedergabe.

Dreibanden-Leuchtstofflampen mit 26 mm Rohrdurchmesser haben eine hohe Lichtausbeute und lange Lebensdauer. Wie bei allen anderen Leuchtstofflampen-Ausführungen auch, ist die Höhe ihres Lichtstroms von ihrer Umgebungstemperatur abhängig: Bei z. B. -20°C sinkt der Lichtstrom unter 20 %, bei $+60^{\circ}\text{C}$ unter 80 %.

Eine noch höhere Lichtausbeute besitzen Dreibanden-Leuchtstofflampen mit 16 mm Rohrdurchmesser und reduzierter Lampenlänge. Diese T5-Leuchtstofflampen können ausschließlich an elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) betrieben werden.



76



77

[75] In den evakuierten Lampenkolben der ersten Glühlampen konnten sich abfliegende Wolfram-Moleküle auf der Innenseite des Glaskolbens absetzen und diesen zunehmend schwärzen. Heute begrenzt Edelgas die Bewegungsfreiheit der Wolfram-Moleküle.

● Wolfram ● Edelgas

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

● Wolfram ● Halogen

[77] Die Niedervolt-Halogen-Kaltlichtspiegel-Reflektorlampe hat im Lichtbündel $\frac{2}{3}$ weniger Wärme als andere Niedervollampen. Diese Wärme wird nach hinten abgeführt.

- 1 Frontscheibe
- 2 Kaltlicht-Facettenspiegel
- 3 Hochleistungsbrenner
- 4 Stecksockel

Zwei Baureihen stehen zur Verfügung: Lampen mit „hoher Lichtausbeute“ mit 14 W bis 35 W sind auf höchste Wirtschaftlichkeit ausgelegt; „hoher Lichtstrom“ ist das Kennzeichen der zweiten Baureihe mit 24 W bis 80 W für Anwendungsbereiche mit indirekter Beleuchtung oder direkter Beleuchtung in Räumen mit großen Höhen. Leuchtstofflampen mit 7 mm Rohrdurchmesser und 6 W bis 13 W werden in Display-, Möbel- und Bilderleuchten eingesetzt.

Leuchtstofflampen und Kompakt-Leuchtstofflampen an geeigneten EVG können problemlos gedimmt werden.

Induktionslampen

Auch Induktionslampen sind Niederdruck-Entladungslampen. Sie kommen ohne Elektroden aus, der Elektronenfluss wird von einem magnetischen Feld erzeugt. Weil sie keine verschleißenden Komponenten enthalten, erreichen sie eine mittlere Lebensdauer von 60.000 Betriebsstunden.

Induktionslampen gibt es in Ringform und in Kolbenform.

Hochdruck-Entladungslampen

Die wichtigsten Hochdrucklampen sind Halogen-Metaldampflampen und Natriumdampf-Hochdrucklampen.

Durch Zusätze von Halogenverbindungen verschiedener Metalle haben die Halogen-Metaldampflampen eine hohe Lichtausbeute und gute Farbwiedergabe. Diese lichtstarken, energieeffizienten und langlebigen Lichtquellen gibt es mit Ellipsoidkolben, in Röhrenform und zweiseitig gesockelt in den Lichtfarben Warmweiß und Neutralweiß. Fast alle Lampen haben UV-absorbierende Kolben.

Natriumdampf-Hochdrucklampen zeichnen sich durch besonders warmweißes Licht ohne UV-Anteil und eine sehr hohe Lichtausbeute aus. Auch sie gibt es mit Ellipsoidkolben, in Röhrenform und zweiseitig gesockelt. Die Typen mit schlechter Farbwiedergabe ($R_a \leq 59$) eignen sich für die Straßenbeleuchtung. Typen mit verbesserter Farbwiedergabe ($R_a \leq 69$) werden vorwiegend in der Industriebeleuchtung eingesetzt, Typen mit guter Farbwiedergabe ($R_a \geq 80$) in der dekorativen Akzentbeleuchtung und in Verkaufsräumen.

Halogen-Metaldampflampen und Natriumdampf-Hochdrucklampen brauchen auf die einzelnen Typen abgestimmte Zünd- und Vorschaltgeräte, die meisten dieser Lampen können an EVG betrieben werden. Das Dimmen verlangt aufwändige Technik, insbesondere müssen Farbverfälschungen vermieden werden. Heute gibt es auch dimmbare EVG für diese Lampen.

LEDs

Bei LEDs wird ein Festkörperkristall elektrisch zum Leuchten angeregt. In den verwendeten Kristallen existieren zwei Bereiche: Ein n-leitender Bereich mit einem Überschuss an Elektronen und ein p-leitender Bereich mit einem Mangel an Elektronen. In diesem Übergangsbereich entsteht Licht beim Ausgleich zwischen Elektronenüberschuss und -mangel, wenn Gleichspannung angelegt wird.

Das Emissionsspektrum des so entstehenden Lichts ist schmalbandig und abhängig vom Material des Halbleiterkristalls. Weißleuchtende LEDs können durch Farbmischung oder Luminiszenzkonversion erzeugt werden, die Farbtemperatur liegt dann zwischen 4.000 und 7.000 Kelvin und der Farbwiedergabeindex R_a bei ca. 70.

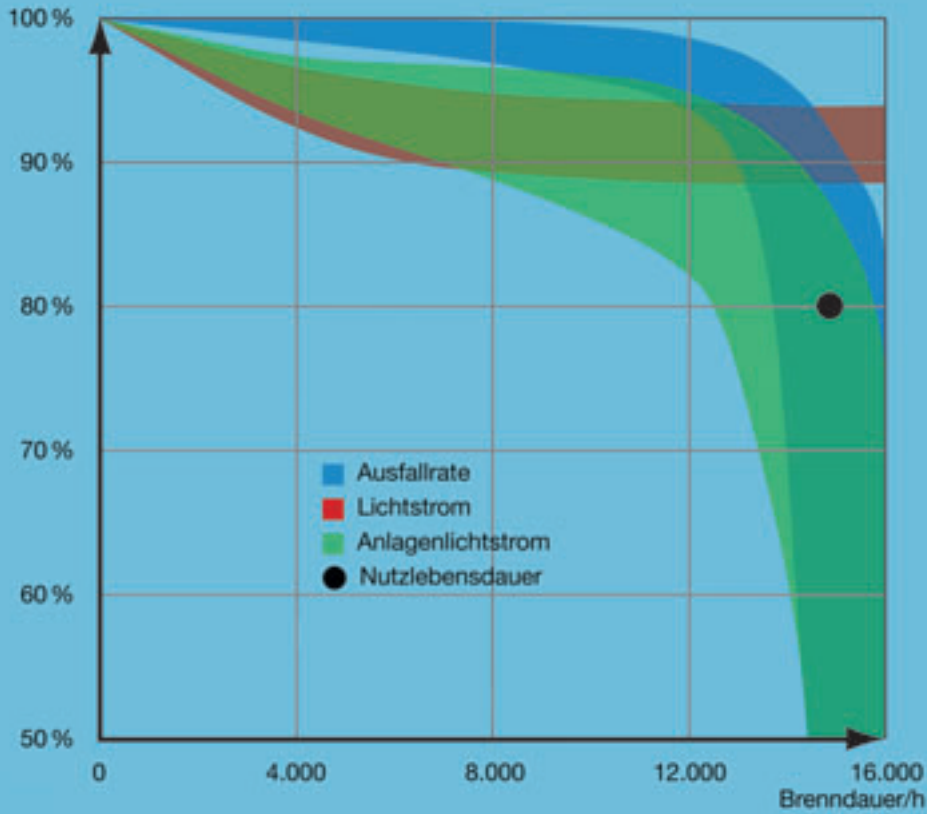
Zu den wichtigsten Vorteilen von LEDs gehören die geringe Größe, die lange Lebensdauer und niedrige Ausfallraten. Außerdem emittieren LEDs keine IR- oder UV-Strahlung.



Energie-Label

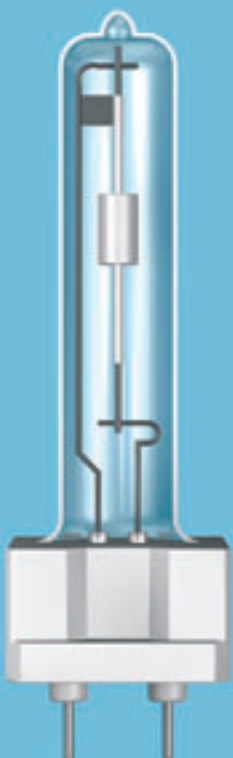
Lampen werden mit dem europaweiten Energie-Label gekennzeichnet. Es weist die Effizienzklasse – von A bis G – aus: A steht für besonders sparsamen Verbrauch, G für Energieverschwendung.

Vorschaltgeräte (VG) werden mit dem europäischen Energie-Effizienz-Index bewertet (siehe Seite 42). VG der beiden schlechtesten Klassen C und D dürfen schon seit langem nicht mehr auf den Markt gebracht werden. Auch für Leuchten ist eine Energieklassifizierung geplant.



Ø 26 mm Dreiband-Leuchtstofflampen 18 – 58 W bei Betrieb an elektronischen Vorschaltgeräten (EVG)

79



80



81

[78] Die Leuchtstofflampen arbeiten mit Quecksilberdampf von geringem Druck. Beim Stromfluss treten aus den beiden Elektroden aus Wolframdraht Elektronen in den Gasraum ein. Auf ihrem Weg durch das Entladungsrohr prallen sie auf die Quecksilberatome. Durch den Zusammenstoß wird ein Quecksilberelektron aus seiner Bahn geworfen und umkreist in größerem Abstand den Atomkern. Beim Zurückfedern in seine ursprüngliche Bahn gibt es die aufgenommene Stoßenergie in Form von UV-Strahlung wieder ab, die im Leuchtstoff-Belag in sichtbares Licht umgewandelt wird. Durch die Zusammensetzung des Leuchtstoffes lassen sich die Lichtfarbe und Farbwiedergabe von Leuchtstofflampen in weiten Grenzen verändern.

[79] Mit zunehmender Brenndauer verringert sich bei Leuchtstofflampen deren Lichtstrom und es fallen einzelne Lampen der Anlage aus. Hieraus ergibt sich der Anlagenlichtstrom, der einen Mindestwert von 80 % nicht unterschreiten darf. Bei der Planung einer Beleuchtungsanlage muss dieser Lichtstromrückgang berücksichtigt werden (siehe „Wartungsfaktor“, Seite 14).

[80] Hochdruck-Entladungslampen besitzen einen Brenner, in dem das Licht durch eine elektrische Entladung in Gasen, Metalldämpfen oder einer Mischung beider erzeugt wird. Die dargestellte Halogen-Metaldampflampe besitzt einen Brenner aus transparentem Keramikmaterial, der eine gleich bleibende Farbqualität über die gesamte Lebensdauer gewährleistet.

[81] LEDs sind einzelne Punktlichtquellen. Sie lassen sich weiß oder farbig betreiben. Sie sind nur drei bis fünf Millimeter hoch und ermöglichen dadurch ein neues Leuchtdesign.



Lampen

Nr. Lampentyp	Elektrische Leistung (Watt)	Lichtstrom (Lumen)	Lichtausbeute (Lumen/Watt)	Lichtfarbe	Farbwiedergabe-Index
Stabförmige Dreiband-Leuchtstofflampen					
1 T5; Ø 16 mm ¹⁾ mit hoher Lichtausbeute	14 – 35	1.250 – 3.650 ²⁾	89 – 104	ww,nw,tw	80 – 89
2 T5; Ø 16 mm ¹⁾ mit hohem Lichtstrom	24 – 80	1.850 – 7.000 ²⁾	77 – 88	ww,nw,tw	80 – 89
3 T8; Ø 26 mm	18 – 58	1.350 – 5.200	75 – 90 ³⁾	ww,nw,tw	80 – 89
Kompaktleuchtstofflampen					
4 2-, 4- und 6-Rohrlampe	5 – 120	250 – 9.000	50 – 75	ww,nw	80 – 89
5 2-Rohrlampe	18 – 80	1.200 – 6.000	67 – 75	ww,nw,tw	80 – 89
6 4-Rohrlampe	18 – 36	1.100 – 2.800	61 – 78	ww,nw	80 – 89
2D-Lampe	10 – 55	650 – 3.900	65 – 71	ww,nw,tw	80 – 89
Energiesparlampen					
7 Glühlampenform	5 – 23	150 – 1.350	30 – 59	ww	80 – 89
8 Standardform	5 – 23	240 – 1.500	48 – 65	ww	80 – 89
Halogenlampen (230 V)					
9 Mit Hüllkolben	25 – 250	260 – 4.300	10 – 17	ww	≥ 90
10 Miniformat	25 – 75	260 – 1.100	10 – 15	ww	≥ 90
11 Mit Reflektor	40 – 100			ww	≥ 90
12 Zweiseitig gesockelt	60 – 2.000	840 – 44.000	14 – 22	ww	≥ 90
Niedervolt-Halogenlampen (12 V)					
13 Mit Reflektor	20 – 50			ww	≥ 90
14 Stiftsockellampen	5 – 100	60 – 2.300	12 – 23	ww	≥ 90
Halogen-Metaldampflampen					
15 Einseitig gesockelt	35 – 150	3.300 – 14.000	85 – 95	ww,nw	80 – 89, ≥ 90
16 Zweiseitig gesockelt	70 – 400	6.500 – 36.000	77 – 92	ww,nw	80 – 89, ≥ 90
Natriumdampf-Hochdrucklampen					
17 Röhrenform	35 – 1.000	1.800 – 130.000	51 – 130	ww	20 – 39
Natriumdampf-Niederdrucklampen					
18 Röhrenform	18 – 180	1.800 – 32.000	100 – 178	gelb	
Leuchtdioden					
19 LED	0,7 – 1,5	18 – 27	13 – 23		

Lichtfarbe: ww = Warmweiß, nw = Neutralweiß, tw = Tageslichtweiß

Anm.: ¹⁾ Betrieb nur mit EVG, ²⁾ Lichtstrom bei 35° C ³⁾ Bei Betrieb an EVG steigt die



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

Halogenlampen 230 V (9, 10, 11, 12)

Halogen-Glühlampen für Netzspannung erzeugen angenehmes weißes Licht mit guter Farbwiedergabe. Ihre Lebensdauer ist länger als die der Glühlampe, die Lichtausbeute ist höher. Sie können uneingeschränkt gedimmt werden. Es gibt sie auch als Reflektorlampen.

Niedervolt-Halogenlampen 12 V (13, 14)

Niedervolt-Halogenlampen liefern ein angenehmes, weißes Licht mit sehr guter Farbwiedergabe. Für den Betrieb ist ein Transformator erforderlich, der die Spannung auf 12 V reduziert. Mit geeigneten Transformatoren können sie gedimmt werden. IRC-beschichtete (Infra-Red-Coating) Lampen verbrauchen bei gleichem Lichtstrom 30 % weniger Energie.

Halogen-Metaldampflampen (15, 16)

Eine hohe Lichtausbeute und eine sehr gute Farbwiedergabe zeichnen diese Lampen aus. Bei modernen Halogen-Metaldampflampen mit Keramikbrenner bleibt die Lichtfarbe über die gesamte Lebensdauer konstant. Zum Betrieb ist ein Vorschaltgerät notwendig. EVG erhöhen die Lebensdauer und den Lichtkomfort.

Natriumdampf-Hochdrucklampen (17)

Eine sehr hohe Lichtausbeute und eine lange Lebensdauer machen Natriumdampf-Hochdrucklampen zu sehr wirtschaftlichen Lampen für die Außenbeleuchtung. Sie verbrauchen nur halb so viel Energie wie Quecksilberdampf-Hochdrucklampen. Natriumdampf-Hochdrucklampen benötigen entsprechende Vorschaltgeräte und Zündgeräte für den Betrieb.

Natriumdampf-Niederdrucklampen (18)

Diese Lampenart zeichnet sich durch die höchste Lichtausbeute aller Lichtquellen aus. Aufgrund ihrer monochromatischen Strahlung durchdringt sie besonders gut Dunst und Nebel. Sie findet Verwendung bei der Beleuchtung von Häfen, Schleusen und im Objektschutz.

Leuchtdioden (19)

LEDs (Light Emitting Diodes) gibt es in zahlreichen Formen und Farben. Sie sind extrem klein, äußerst stoßfest und geben weder UV- noch IR-Strahlung ab. Ihre Lebensdauer ist sehr lang. Mit einem speziellen Leuchtstoff umhüllte LEDs erzeugen weißes Licht. LEDs werden mit Gleichspannung betrieben.

Dreibanden-Leuchtstofflampen (1, 2, 3)

Dreibanden-Leuchtstofflampen haben eine hohe Lichtausbeute, geben Farben gut wieder und besitzen eine lange Lebensdauer. In Verbindung mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) werden die Lichtausbeute, die Lebensdauer und der Lichtkomfort erhöht. T5-Lampen mit 16 mm Durchmesser können nur mit EVG betrieben werden. Alle Dreibanden-Leuchtstofflampen sind mit geeigneten Vorschaltgeräten dimmbar.

Kompakt-Leuchtstofflampen (4, 5, 6)

Kompakt-Leuchtstofflampen besitzen die gleichen Eigenschaften wie Dreibanden-Leuchtstofflampen. Auch hier werden die Lichtausbeute, die Lebensdauer und der Lichtkomfort beim Betrieb mit EVG erhöht bzw. können die Lampen durch geeignete Vorschaltgeräte gedimmt werden.

Energiesparlampen (7, 8)

Bei Energiesparlampen ist das Vorschaltgerät integriert, sie haben einen Schraubsockel (E14 oder E27). Energiesparlampen benötigen bis zu 80 % weniger Energie und haben eine erheblich längere Lebensdauer als Glühlampen.

Sockel

G5
G5
G13

G23, G24, GX24, 2G7/8
2G11
2G10
GR8, GR10, GRY10

E14, E27
E14, E27

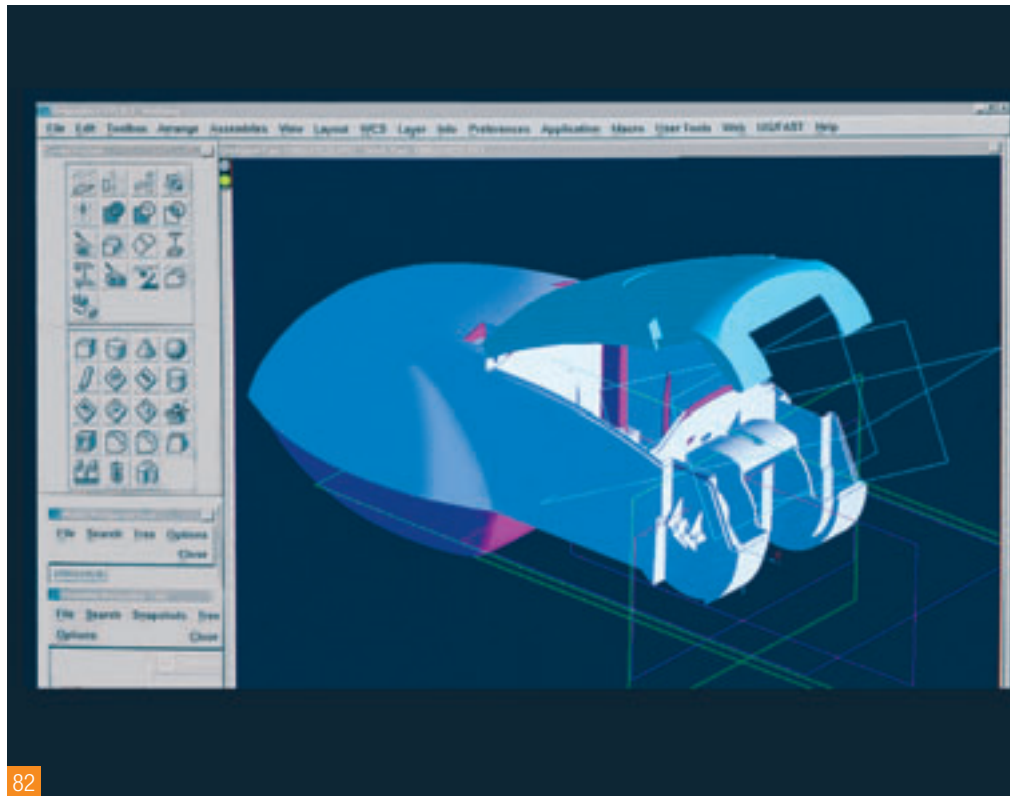
E14, E27
G9
E14, E27, GZ10, GU10
R7s

GU5,3
G4, GY6,35

G12, G8,5
RX7s, Fc2

E27, E40

BY22d



82

Leuchten

Allgemeine Anforderungen und lichttechnische Eigenschaften

Auswahl von Leuchten

Leuchten werden ausgewählt:

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

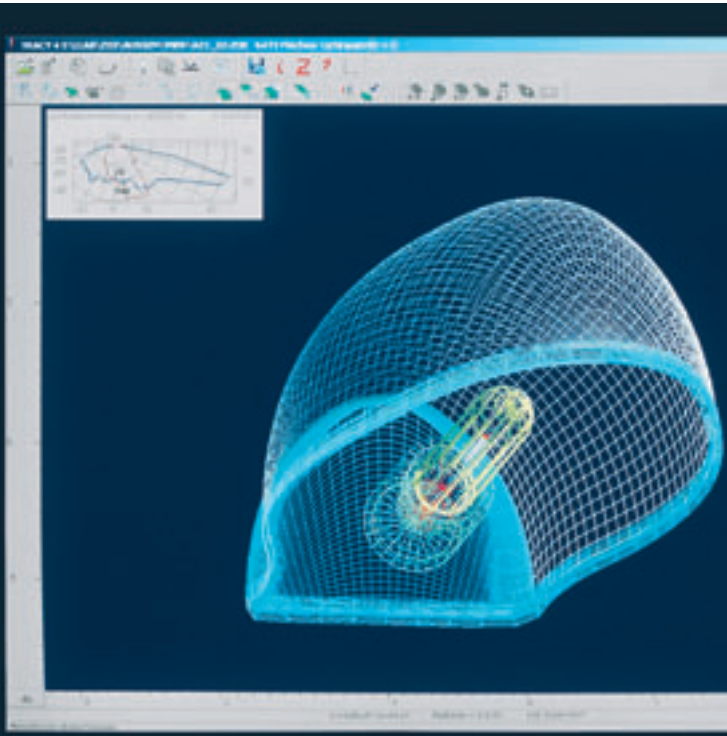
Lichtstromverteilung

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.

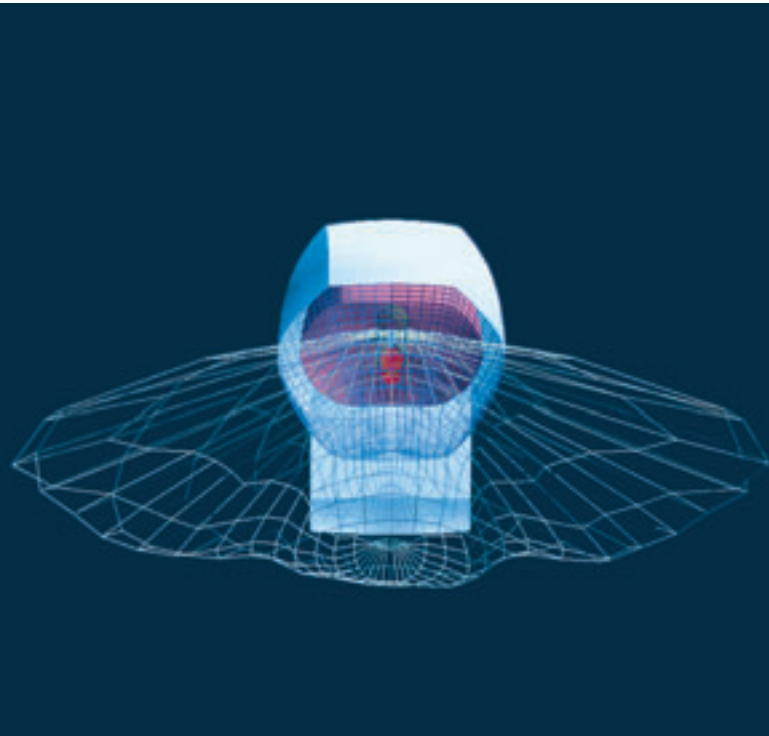
Im Außenbereich finden überwiegend Leuchten für direkte Beleuchtung Verwendung. Bei der dekorativen Beleuchtung von Fußgängerzonen, Parkanlagen usw. können auch Leuchten mit einem geringen indirekten Lichtstromanteil, der z. B. Bäume oder Fassaden beleuchtet, eingesetzt werden.

Lichtstärkeverteilung

Die räumliche Verteilung der Lichtstärke einer Leuchte wird durch den Lichtstärkeverteilungskörper gekennzeichnet. Er kann für verschiedene Schnittebenen in Polardiagrammen (LVK) dargestellt werden. Zum besseren Vergleich sind die Lichtstärken auf 1.000 lm der in der Leuchte betriebenen



83



84

Lampen bezogen und dementsprechend in der Einheit cd/klm (= Candela pro Kilolumen) angegeben.

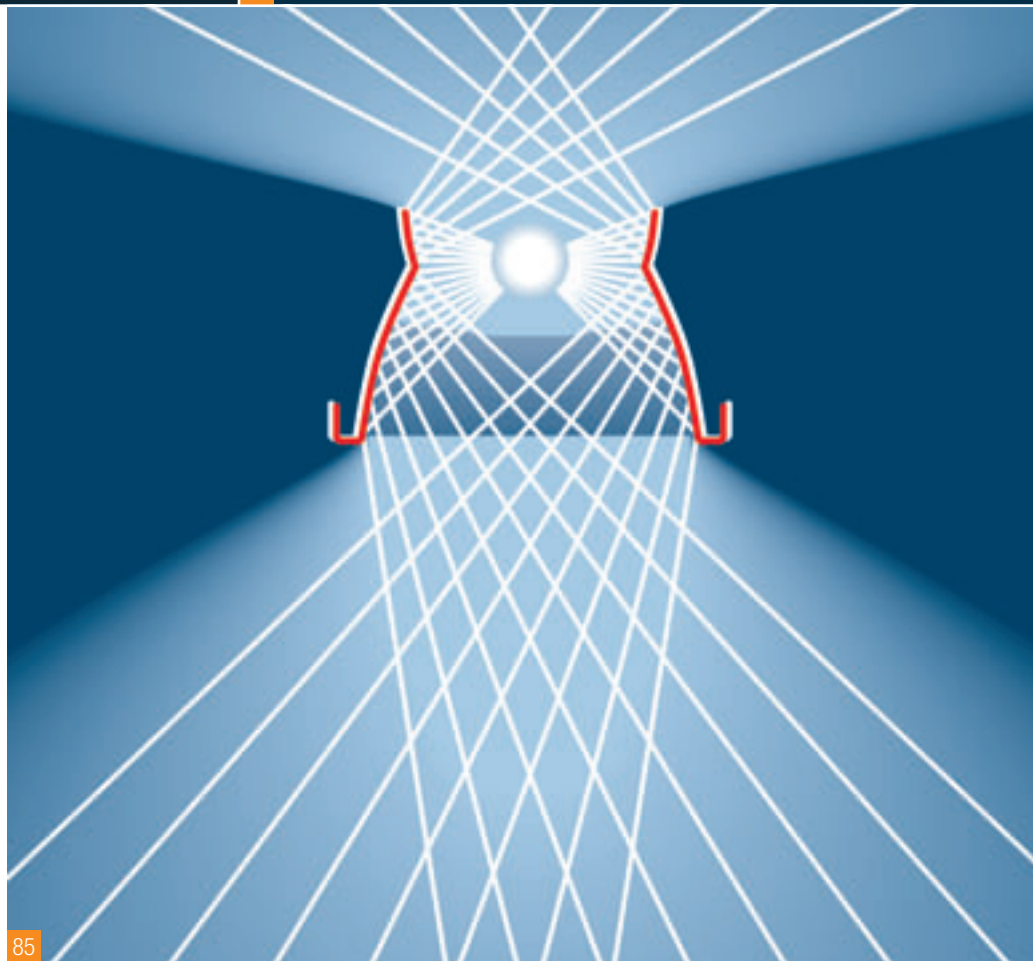
An der Form der LVK kann man erkennen, ob es sich um eine tief-, breit-, symmetrisch- oder asymmetrisch-strahlende Leuchte handelt.

Die Lichtstärkeverteilungskurven werden zumeist mit einem computergesteuerten Drehspiegel-Goniophotometer bei genormten Betriebsbedingungen der Leuchte ermittelt. Sie sind Grundlage für die Planung der Innen- und Außenbeleuchtung.

Leuchtdichteverteilung und Abschirmung

Zur Blendungsbewertung von Innenleuchten muss deren mittlere Leuchtdichte in dem für die Blendung kritischen Ausstrahlungsbereich bekannt sein. Die mittlere Leuchtdichte wird als Quotient aus Lichtstärke und wirksamer leuchtender Fläche in den Beobachtungsrichtungen ermittelt.

In der Straßenbeleuchtung ist die Blendung unter anderem abhängig von der Größe der leuchtenden Fläche und von der Lichtausstrahlung der Leuchten. Dabei werden die Lichtstärken im kritischen Ausstrahlungsbereich durch Umlenkung im optischen System begrenzt.



85

[82 + 83] Bei der Entwicklung von Leuchten werden CAD-Systeme eingesetzt.

[84] Vom Computer gemessene und dargestellte räumliche Lichtstärkeverteilung einer Außenleuchte.

[85] Um eine optimale Leuchtdichteverteilung bei wirkungsvoller Abschirmung der Leuchten zu erreichen, werden computerberechnete Reflektor/Raster-Kombinationen eingesetzt.

Lichttechnische Baustoffe

Um den Lichtstrom der Lampe in eine gewollte Richtung zu lenken, zu verteilen oder zu filtern, werden grundsätzlich zwei Ar-

ten von „lichttechnischen Materialien“ verwendet:

- > reflektierende Materialien
- > lichtdurchlässige transmittierende Materialien.

Die reflektierenden Materialien sollen möglichst viel Licht reflektieren und lassen sich unterteilen in Materialien mit:



86



87



88

> *gerichteter Reflexion*

z. B. Spiegelreflektoren und -raster aus hochglanzeloxiertem Aluminium; zusammen mit exakten Spiegelformen werden genaue Lichtstärkeverteilungen und Leuchtdichtebegrenzungen erzielt.

> *gemischter Reflexion*

z. B. seidenmatte Spiegelraster; im Gegensatz zu matten Materialien besitzt diese Oberfläche eine stärker gerichtete Komponente für „definierte“ Abschirmbedingungen.

> *gestreuter Reflexion*

z. B. matte Spiegelraster oder Reflektoren und Raster mit Lackoberflächen; die Lichtaustrittsfläche der Leuchten ist wegen ihrer höheren Leuchtdichte deutlich sichtbar.

Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB}

Zur energiewirtschaftlichen Beurteilung einer Leuchte und für die lichttechnischen Berechnungen ist der Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB} eine wichtige Größe.

Er ist das unter bestimmten Bedingungen ermittelte Verhältnis des aus der Leuchte austretenden Lichtstroms zur Summe der Lichtströme der einzelnen Lampen.

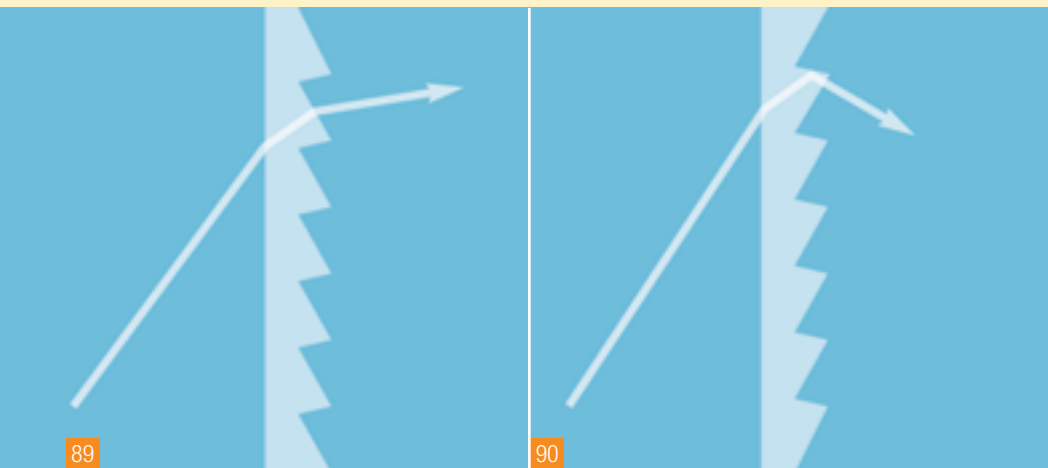
Diese Betriebsbedingungen beziehen sich auf die übliche Gebrauchslage der Leuchte und die normale Umgebungstemperatur 25° C.

Im Vergleich zu einer abgeschirmten Spiegelrasterleuchte hat eine freistrahrende Schienenleuchte zwar einen höheren Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB} , aber

Gerichtet lichtdurchlässige Baustoffe

(wie Glas und Kunststoffe) werden gleichfalls zur Lichtlenkung eingesetzt, wobei die Brechung (Refraktion) und die Totalreflexion des Lichtes angewendet werden.

Dringt ein Lichtstrahl aus einem Medium in ein anderes optisches Medium ein, so ändert er seine Richtung in Abhängigkeit vom Einfallswinkel und eine Lichtlenkung wird erreicht.



auch eine höhere Blendwirkung. Spiegelrasterleuchten z. B. bewirken eine wesentlich höhere Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche. Die Höhe der Beleuchtungsstärken auf der Nutzebene kann deshalb aus den Leuchtenbetriebswirkungsgraden nicht abgeleitet werden.

Planung mit 25° C

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. Sonst sind die für diese Beleuchtungsanlage errechneten Beleuchtungsstärken falsch.

Leuchten

Elektrotechnische Eigenschaften, Vorschaltgeräte

Schutzklassen

Entsprechend ihrem Schutz gegen zu hohe Berührungsspannung werden Leuchten in drei Schutzklassen eingeteilt:

- > Schutzklasse I:
Anschluss berührbarer Metallteile an den Schutzleiter. Die Schutzleiter-Anschlussklemme ist gekennzeichnet mit



- > Schutzklasse II:
Spannungsführende Teile sind mit einer zusätzlichen Schutzisolierung versehen. Der Anschluss des Schutzleiters ist nicht erlaubt. Kennzeichen:



- > Schutzklasse III:
Leuchten werden an einer für den Menschen ungefährlichen Schutzkleinspannung (< 42 V) betrieben. Kennzeichen:



Schutzarten IP

Leuchten müssen mechanisch so ausgelegt sein, dass ein Eindringen von Fremdkörpern und Feuchtigkeit durch einen entsprechenden Schutz verhindert wird. Zur Kennzeichnung der Schutzart wird das IP-Nummern-System „Ingress Protection“ verwendet.

Die erste Kennziffer hinter dem IP beschreibt den Fremdkörperschutz, die zweite Kennziffer den Wasserschutz (siehe Tabelle und Abbildungen 93 bis 98 auf Seite 41).

Eine IP 20-Leuchte ist 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.

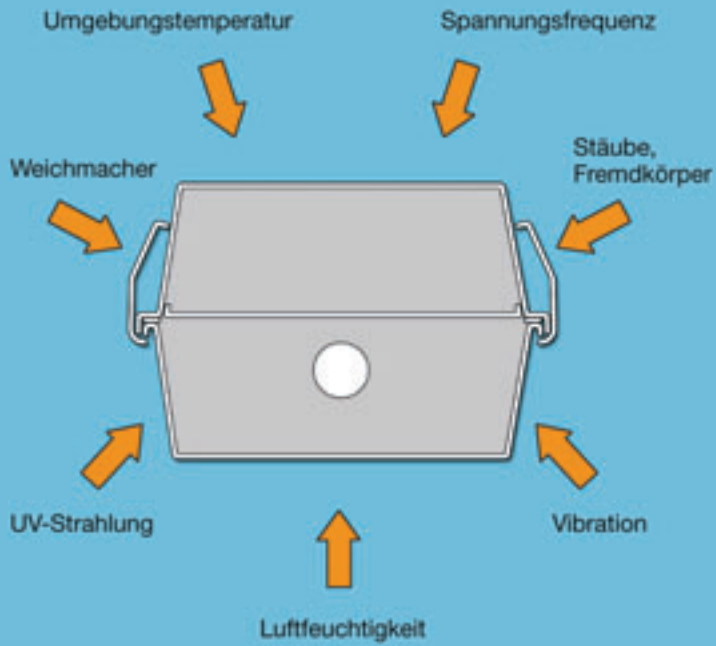
Elektromagnetische Verträglichkeit

Elektrische Geräte und Elektronikschaltungen verursachen gewollt oder ungewollt hochfrequente elektromagnetische Energie, die abgestrahlt oder leitungsgebunden weitergeleitet wird. Ebenso können diese Geräte durch Störungen von außen in ihrem ordnungsgemäßen Betrieb beeinflusst werden. Der zunehmende Einsatz elektronischer Geräte erfordert die Sicherheit vor gegenseitiger Beeinflussung. Dies gilt auch für Leuchten mit Entladungslampen.

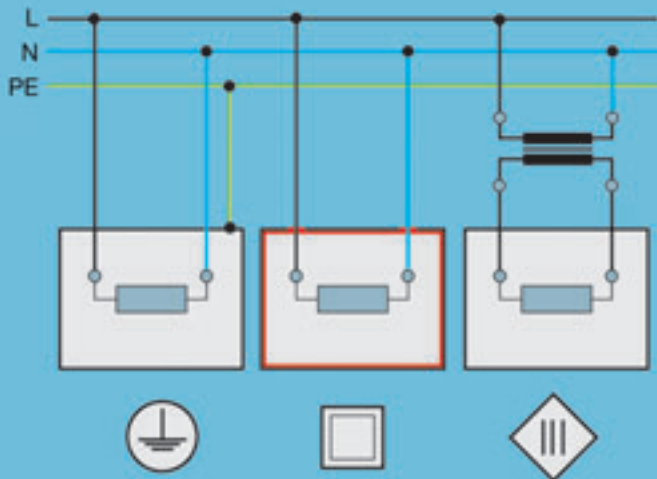
Mit der Verfügung 242/1991 des Bundesministers für Post und Telekommunikation vom 11.12.1991 wird für Leuchten eine allgemeine Betriebsgenehmigung erteilt, wenn sie den Anforderungen an Störfestigkeit und Begrenzung der Störaussendung entsprechen. Grundlage der Verfügung bildet das Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit, mit dem die EG-Richtlinie 89/336/EWG „Elektromagnetische Verträglichkeit“ in deutsches Recht umgesetzt wurde.

Die Übereinstimmung mit diversen einschlägigen Normen wird durch das EMV-Zeichen des VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitutes dokumentiert.





91



92

[91] Leuchten sind diversen äußeren Einwirkungen ausgesetzt.

[92] Leuchten müssen zum Schutz gegen zu hohe Berührungsspannungen in einer der drei elektrischen Schutzklassen ausgeführt sein.

[93–98] Die Leuchten sind Beispiele für unterschiedliche IP-Schutzarten und machen deutlich, dass bei höheren Schutzarten der mechanisch notwendige Aufwand zur Erfüllung der geforderten Eigenschaften beträchtlich zunimmt.



93

IP 20



94

IP 20



95

IP 40



96

IP 54



97

IP 54




98




IP 65

Schutzart	1. Ziffer Fremdkörperschutz	2. Ziffer Wasserschutz
IP 11	Fremdkörper > 50 mm	Tropfwasser
IP 20	Fremdkörper > 12 mm	ungeschützt
IP 23	Fremdkörper > 12 mm	Sprühwasser
IP 33	Fremdkörper > 2,5 mm	Sprühwasser
IP 40	Fremdkörper > 1 mm	ungeschützt
IP 44	Fremdkörper > 1 mm	Spritzwasser
IP 50	Staubgeschützt	ungeschützt
IP 54	Staubgeschützt	Spritzwasser
IP 65	Staubdicht	Strahlwasser
IP 66	Staubdicht	starkes Strahlwasser

Brandschutzverhalten

Bei der Auswahl von Leuchten ist das Brandverhalten der Montageflächen und der Umgebung der Leuchten zu beachten.

Nach DIN VDE 0100 Teil 559 sind Leuchten mit -Zeichen zur direkten Montage an Baustoffen geeignet, die bis zu einer Temperatur von 180° C form- und standfest bleiben. Nur auf nicht entflammaren Baustoffen, wie z. B. Beton, können Leuchten ohne Brandschutz-Kennzeichnung direkt montiert werden.

Dagegen dürfen in feuergefährdeten Betriebsstätten, wo sich leicht entzündliche Stoffe wie z. B. Fasern von Textilien usw. auf den Leuchten ablagern können, nur Leuchten mit -Zeichen installiert werden. Die Leuchten sind so ausgelegt, dass an ihren Oberflächen vorgegebene Temperaturgrenzwerte nicht überschritten werden. Leuchten für die direkte Montage in/an Einrichtungsgegenständen wie z. B. Möbeln müssen je nach Material der Montagefläche das  bzw. -Zeichen tragen.

Ballwurfsicherheit

Leuchten für den Einsatz in Sportstätten, in denen Ballspiele stattfinden, müssen ballwurfsicher und mit dem Zeichen für Ballwurfsicherheit ausgezeichnet sein. Das gilt auch für das Leuchtzubehör und die Montageteile.

Energieeffizienz von Leuchten

Der Verbrauch von elektrischer Energie wird hauptsächlich durch die Lampe und deren Betriebsgerät verursacht. Um den Energieverbrauch des Systems Vorschaltgerät/Lampe zu verdeutlichen, wurde von der Europäischen Union die Energieklassifizierung beschlossen (Richtlinie 2000/55/EG über Energieeffizienzanforderungen an Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen).

Wie für Lampen und Vorschaltgeräte (siehe Seite 32) ist auch für Leuchten eine eigenständige Energieklassifizierung geplant.

Vorschaltgeräte

Der EEI (Energy Efficiency Index) unterscheidet sieben Vorschaltgeräte-Klassen:

- A1 Dimmbare elektronische Vorschaltgeräte (EVGs)
- A2 Elektronische Vorschaltgeräte (EVGs) mit reduzierten Verlusten
- A3 Elektronische Vorschaltgeräte (EVGs)
- B1 Magnetische Vorschaltgeräte mit sehr geringen Verlusten (VVGs)
- B2 Magnetische Vorschaltgeräte mit geringen Verlusten (VVGs)
- C Magnetische Vorschaltgeräte mit moderaten Verlusten (KVGs)
- D Magnetische Vorschaltgeräte mit sehr hohen Verlusten (KVGs).

Der Vertrieb von Vorschaltgeräten der Klasse D ist seit 21. Mai 2002 nicht mehr zulässig, Vorschaltgeräte der Klasse C dürfen seit 21. November 2005 nicht mehr auf den Markt gebracht werden.

Allen Entladungslampen gemeinsam ist die negative Strom/Spannungs-Charakteristik, d. h. bei konstanter Spannung steigt der Strom auf eine Stärke, welche die Lampe zerstören würde. Deshalb sind für den Betrieb von Entladungslampen Vorschaltgeräte erforderlich. Sie dienen der Strombegrenzung und auch dem Zünden der Lampen in Verbindung mit z. B. Startern.

Das zunehmende Energiebewusstsein hat bei den Vorschaltgeräten für Leuchtstofflampen zu technischen Weiterentwicklungen geführt: dem (induktiven) verlustarmen Vorschaltgerät (VVG) als Nachfolger des konventionellen Vorschaltgerätes (KVG) und dem elektronischen Vorschaltgerät (EVG).

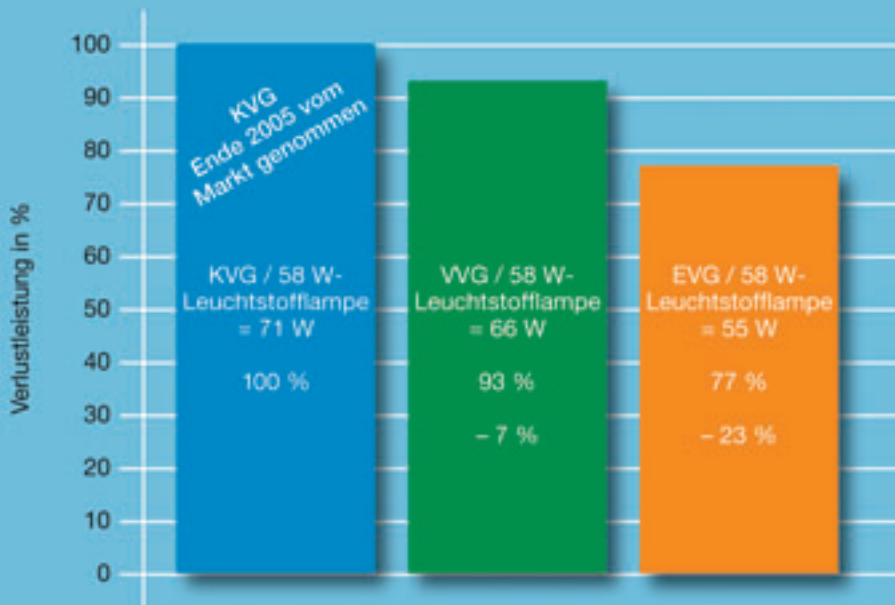
Das elektronische Vorschaltgerät wandelt die Netzspannung 230 V/50 Hz in eine hochfrequente Wechselspannung von 25 bis 40 kHz um, wodurch sich bei fast gleichem Lichtstrom einer 58 W-Lampe deren Leistungsaufnahme auf ca. 50 W reduziert. Der Leistungsbedarf für das System Lampe/EVG verringert sich in diesem Beispiel auf 55 W, was eine Einsparung gegenüber dem KVG-System von 23 % ausmacht. Die Anwendung energiesparender, effizienter Vorschaltgeräte wird durch Maßnahmen der EU gefördert. Bereits heute

sind mehr als 40 % der neuen bzw. umgerüsteten Beleuchtungsanlagen mit Leuchtstofflampen einschließlich Kompaktleuchtstofflampen mit EVG ausgerüstet.

Neben den beträchtlichen Energie-Einsparungen, die zu kurzen „pay-back-Zeiten“ von wenigen Jahren für die elektronischen Vorschaltgeräte führen, bringt der Hochfrequenzbetrieb von Leuchtstofflampen und zunehmend auch der von anderen Entladungslampen an EVG weitere Vorteile:

Vorteile elektronischer Vorschaltgeräte (EVGs)

- > Geringe VG-Verluste
- > Höhere Lichtausbeute der Lampe
- > Bestmögliches Umsetzen elektrischer Leistung in Licht
- > Erhöhung des Beleuchtungskomforts und der Beleuchtungsqualität
- > Kein Flimmern, da höhere Betriebsfrequenz
- > Kein Flackern beim Abschalten (Sofortstart durch Wendelvorheizung)
- > Senken der Betriebskosten
- > Reduzierte Klimatisierungsleistung
- > Kein Starter, kein Kompensationskondensator
- > Einsatz bei Wechsel- oder Gleichspannung
- > Konstante Lampenleistung über weiten Spannungsbereich
- > Geeignet für Sicherheitsbeleuchtung
- > Geringe magnetische Störinduktion
- > Einsatz in medizinisch genutzten Räumen
- > Abschalten bei defekten Lampen (Brandschutz)
- > Ca. 50 % verlängerte Lampenlebensdauer
- > Dimmen möglich



Vergleich der Anschlussleistungen verschiedener Systeme „Vorschaltgeräte / 58 W-Leuchtstofflampe“

99

Brandschutz-Kennzeichnung von Leuchten

Leuchten zur Montage an Gebäudeteilen, die bis 180° C nicht entflammbar sind.



Wie F-Zeichen, jedoch geeignet für aufliegende Wärmeisolierung.



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 Leuchtenoberflächen 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



Nicht zugelassene Lampen



Mindestabstand zur angestrahlten Fläche



Leuchten

Betriebsgeräte, Regeln, Steuern, BUS-Systeme

Transformatoren

Für den Betrieb von Niedervolt (NV)-Halogenlampen werden Transformatoren mit einer Ausgangsspannung von 6 V, 12 V oder 24 V benötigt.

Es wird zwischen herkömmlichen Transformatoren und Ringkern-Transformatoren unterschieden, wobei sich die Transformatoren weniger in der Verlustleistung als mehr in der Baugröße unterscheiden.

Zusätzlichen Komfort bieten elektronische Transformatoren z. B. durch Leerlaufabschaltung, Kurzschlussfestigkeit und lampenschonendes Einschalten.

Vorteile elektronischer Transformatoren

- > Kompakte Bauform
- > geringes Gewicht
- > geringe Verlustleistung
- > geringer Innenwiderstand
- > keine Geräuschentwicklung
- > hoher Wirkungsgrad
- > Überlast- und Übertemperaturschutz durch angepasste Leistungsrückregelung ohne Abschalten der Lampen
- > im Fehlerfall reparierbar, da nicht vergossen
- > Softstart – keine Stromspitzen beim Einschalten
- > elektronischer Kurzschlusschutz

Kompensations-Kondensatoren

Kompensations-Kondensatoren dienen der Verbesserung des Leistungsfaktors. Durch die Kompensation wird die induktive Blindleistung der Vorschaltgeräte (Drosseln), welche die elektrischen Einrichtungen wie z. B. Leitungen, Kabel, Transformatoren und

Schalter mit belastet, verringert. Leuchten mit Entladungslampen sind nach Vorgabe der Elektrizitätswerke zu kompensieren.

Kompensations-Kondensatoren müssen die Kennzeichnung F (flammsicher) oder FP (flamm- und platzsicher) in Verbindung mit dem Prüfzeichen einer anerkannten Prüfstelle tragen und mit einem Entladewiderstand ausgestattet sein.

EVGs benötigen keine Kompensations-Kondensatoren.

Starter und Zündgeräte

Starter für Leuchtstofflampen an magnetischen Vorschaltgeräten schließen bzw. öffnen den Vorheizstromkreis einer Leuchtstofflampe und leiten damit den Zündvorgang ein. Unterschieden wird zwischen den Universal- und Sicherungs-Schnellstartern.

EVGs benötigen keine Starter.

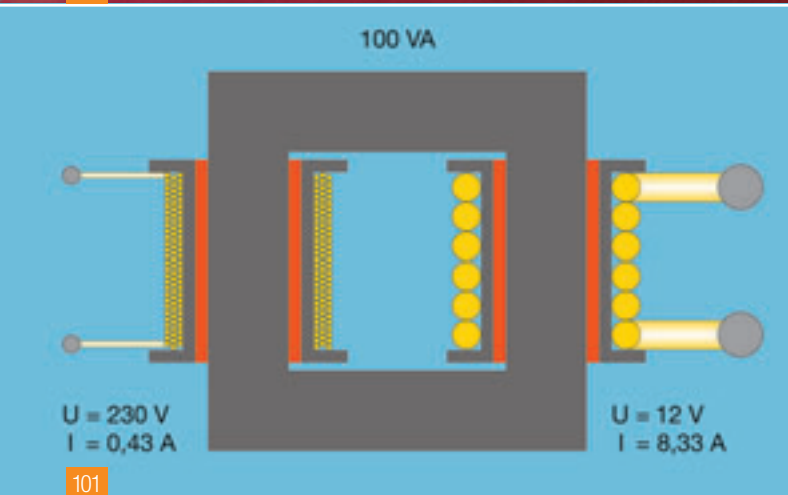
Halogen-Metaldampflampen und Natriumdampf-Hochdrucklampen benötigen Startspannungsimpulse in der Größenordnung von 1 bis 5 kV. Zum Zünden von Hochdruck-Entladungslampen werden daher Zündgeräte mit speziellen elektronischen Schaltungen eingesetzt.

Zum sofortigen Heißwiederzünden von erloschenen Halogen-Metaldampflampen oder Natriumdampf-Hochdrucklampen sind Zündgeräte mit erheblich höheren Spannungen als 5 kV erforderlich.

[100] Ohne Betriebsgeräte geht es nicht – weder bei den Leuchtstofflampen der Allgemeinbeleuchtung noch bei den Halogenlampen der Akzentbeleuchtung.

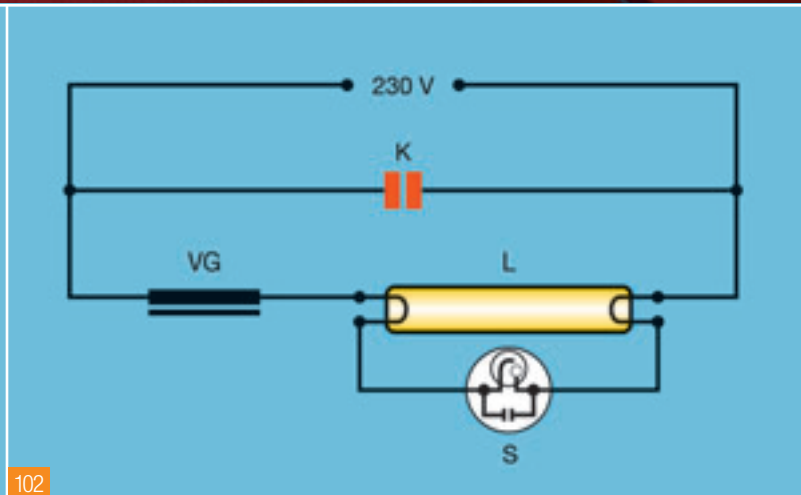


100



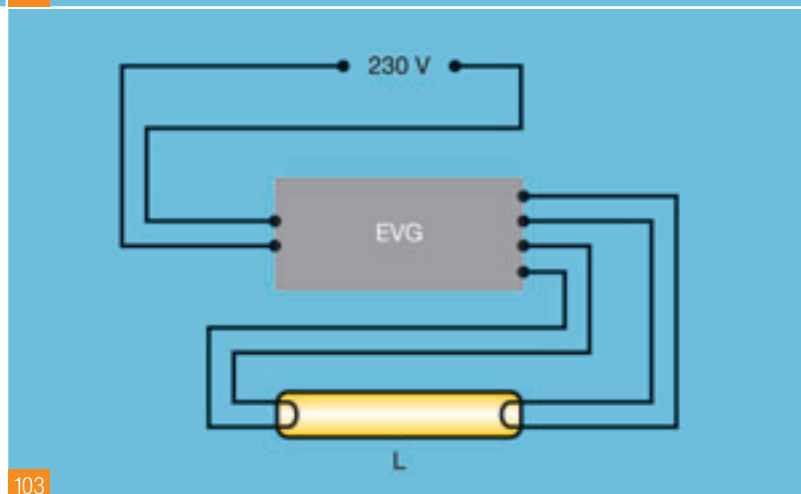
101

[101] Transformatoren für Niedervolt-Lampen wandeln die Netzspannung von 230 V auf die Lampen-Betriebsspannung von 6, 12 oder 24 V um. Sekundärseitig ergeben sich entsprechend hohe Stromstärken, die einen bedeutend größeren Querschnitt sowohl der Transformatorwicklung als auch der Lampenzuleitung erfordern.



102

[102] Zur Kompensation der induktiven Blindleistung von konventionellem (KVG) und verlustarmem Vorschaltgerät (VVG) wird bei Leuchten mit Leuchtstofflampen ein Kondensator parallel zum Netzanschluss (230 V) geschaltet.



103

[103] Das elektronische Vorschaltgerät (EVG) benötigt keine Starter und Kompensations-Kondensatoren.

Niedervolt-Installation

Niedervolt-Installationen stellen aufgrund der geringen Spannungen zwar keine direkten Gefahren für den Menschen dar, jedoch ist zu beachten, dass durch die heruntertransformierte Spannung sehr hohe Ströme fließen.

Beispiele:

Lampe 230 V, 100 W

Stromstärke $I = 0,43 \text{ A}$

Lampe 12 V 100 W

Stromstärke $I = 8,33 \text{ A}$

Diese hohen Ströme können bei einer ungenügenden Dimensionierung von Kabeln, Kontakten, Klemmstellen und Schaltern zu deren Überlastung führen. Um daraus resultierende mögliche Brandgefahren zu vermeiden, sind besondere Installationsbedingungen vom Fachmann zu berücksichtigen.

Für eine fachgerechte Installation haben sich NV-Stecksysteme mit Steckern, Kuppelungen und Kabeln bewährt.

Regeln und Steuern

Das Regeln und Steuern der Beleuchtung ist heute ein fester Bestandteil der modernen Gebäudetechnik. Neben der Energieeinsparung spielen der Steuerungskomfort und die bessere Motivation bei dynamischem Licht eine zunehmende Rolle.

Die Steuerung der Beleuchtung kann in Abhängigkeit von der Menge des natürlichen Lichts oder des Sonnenstands (Tageslichtsteuerung oder -regelung), von der Nutzung eines Raums (Präsenzkontrolle) oder von einer erwünschten Lichtstimmung des Raums (z. B. RGB-Steuerung) erfolgen.

Tageslichtabhängige Regelung

Wer das durch Oberlichter oder Fenster einfallende Tageslicht nutzt und mit der künstlichen Beleuchtung kombiniert, spart eine Menge Energie. Dafür wird die künstliche Beleuchtung nur dann zugeschaltet oder langsam stufenlos hinzugeregelt, wenn das Tageslicht nicht ausreicht.

Üblicherweise wird dieses Miteinander als Lichtmanagement-Lösung realisiert, indem eine tageslichtabhängige Regelung eingerichtet wird, die ein konstantes Beleuchtungsniveau erzeugt als Summe aus Tageslichtanteil und geregelterm künstlichen Licht. So bleibt die gewünschte Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche durch Zugabe oder Rücknahme des künstlichen Lichts in etwa gleich, auch wenn sich der Tageslichtanteil ändert.

Das heißt: Bei großer Außenhelligkeit wird die künstliche Beleuchtung zurückgenommen, bei wenig Tageslicht am Morgen; am Abend oder in den Wintermonaten wird ihr Niveau entsprechend angehoben.

Die Regelung des Beleuchtungsniveaus in Abhängigkeit vom Tageslicht wird umgesetzt durch Dimmen und/oder Teilabschaltungen

- > über Lichtsensoren an einzelnen Arbeitsplatzleuchten,
- > über Lichtsensoren im Raum,
- > über Außenlichtsensoren.

DALI – Digitale Lichtsteuerung

Speziell auf die Anforderungen moderner Beleuchtungstechnik abgestimmt, wurde DALI (Digital Addressable Lighting Interface) entwickelt: Ein System für intelligentes Lichtmanagement – einfach anzuwenden, wirtschaftlich effizient und mit der Option, DALI bei Bedarf durch Schnittstellenmodule in übergeordnete Gebäudesystemtechnik mit EIB (European Installation Bus) oder LON (Local Operating Network) einzubinden.

DALI steuert das Licht mit allen daran beteiligten DALI-Komponenten und kann jedes Gerät individuell ansprechen, z. B. jedes EVG (= Leuchte) gleichwertig bis zu 16 Gruppen zuordnen, einzeln mit 16 Lichtwerten für Beleuchtungsinszenierungen definieren oder alle EVGs synchron dimmen.

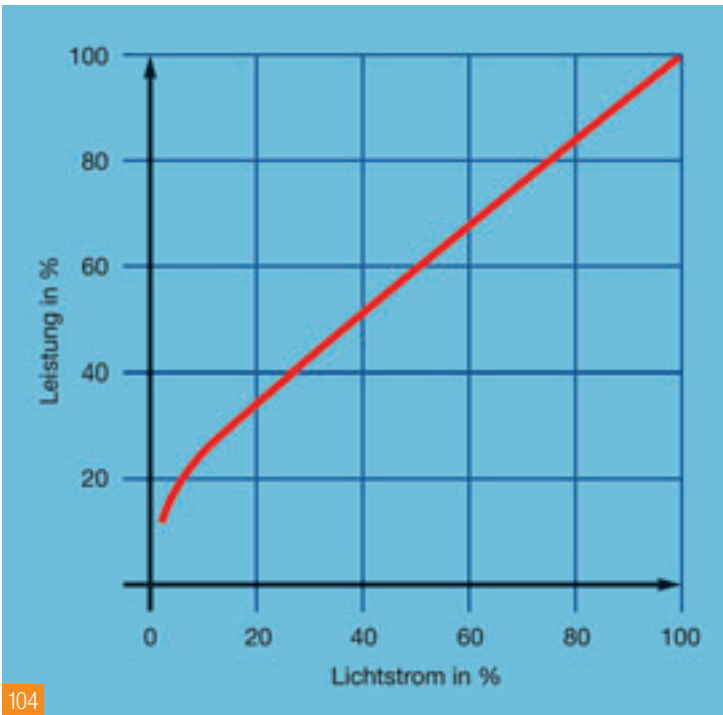
Der Arbeitsgemeinschaft (AG) DALI im Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie (ZVEI) e.V., Frankfurt am Main, gehören führende europäische und US-amerikanische Hersteller von EVGs und Lichtsteuer- und -regelanlagen an.

Zentrale Leittechnik – BUS-Systeme

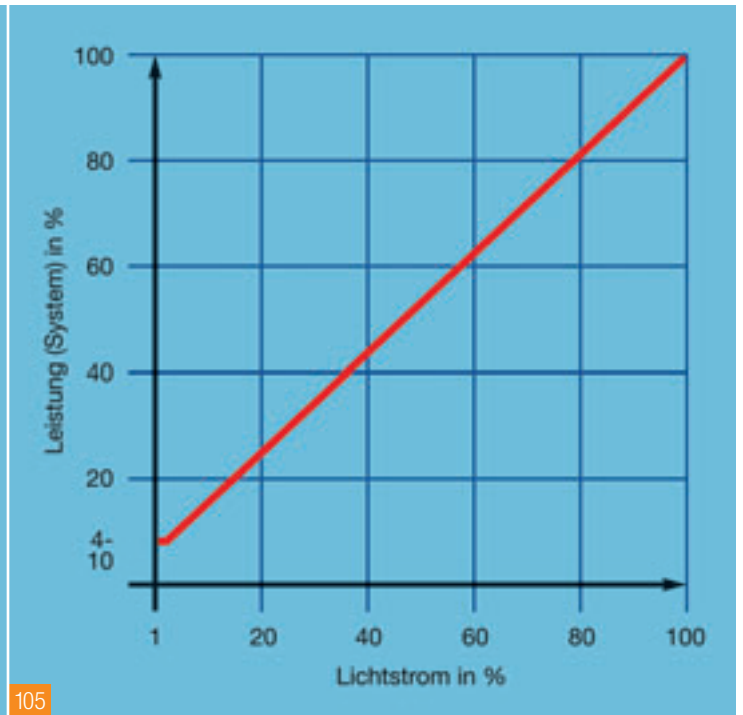
Die immer komplexer werdenden Abläufe in der Gebäudetechnik und die Steuerung und Überwachung der Funktionen und Zustände der einzelnen Installations- und Einrichtungssysteme – wie Heizung, Klimaanlage, Melde- und Überwachungssystem, Beleuchtung, Jalousiensteuerung etc. – erfordern ein neues Gebäudemanagement, also die Einbeziehung aller Einzelsysteme und damit auch der Beleuchtungsanlage, in eine intelligente Gebäudesystemtechnik.

Unter Nutzung der Mikroelektronik und der Datenübertragung ist es möglich, alle notwendigen System-Gruppen miteinander „kommunizierend“ über ein gemeinsames BUS-Netz zu verbinden.

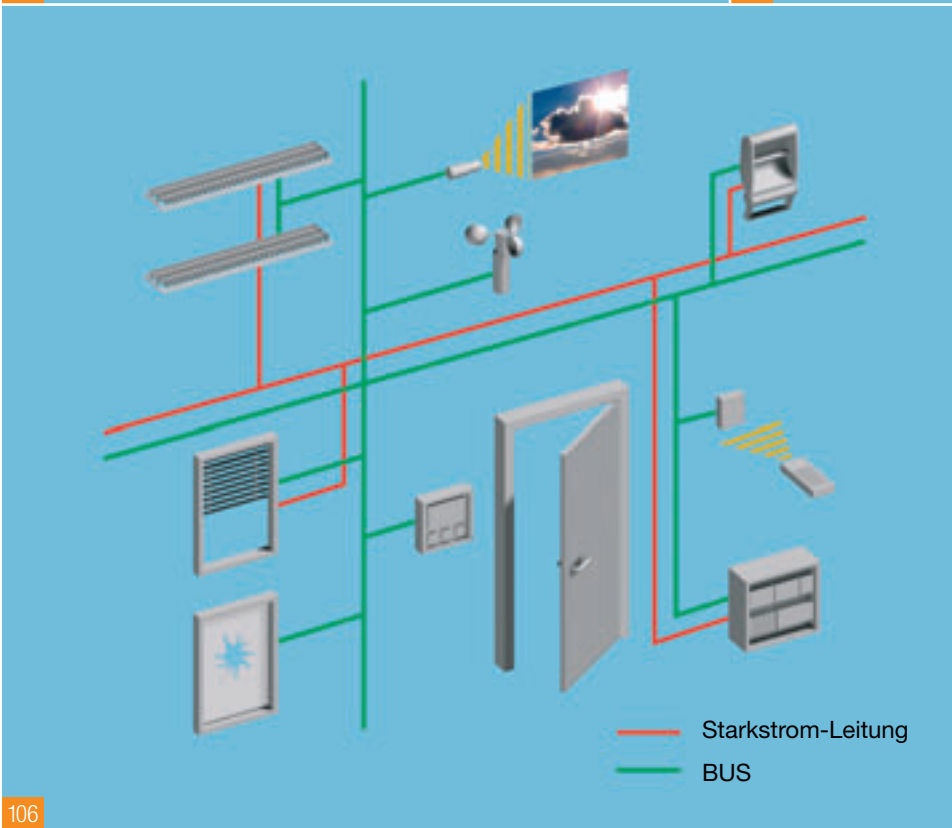
Informationen von Sensoren (z. B. Lichtschranken, Infrarot-Empfänger, Windmesser, Helligkeitssensoren) werden über das BUS-Netz weitergeleitet. Durch geeignete Zuordnungen von Sensoren (Empfänger) und Aktoren (Schaltorganen) lassen sich Steuerungen und Regelungen vielfältiger Funktionen programmieren.



104



105



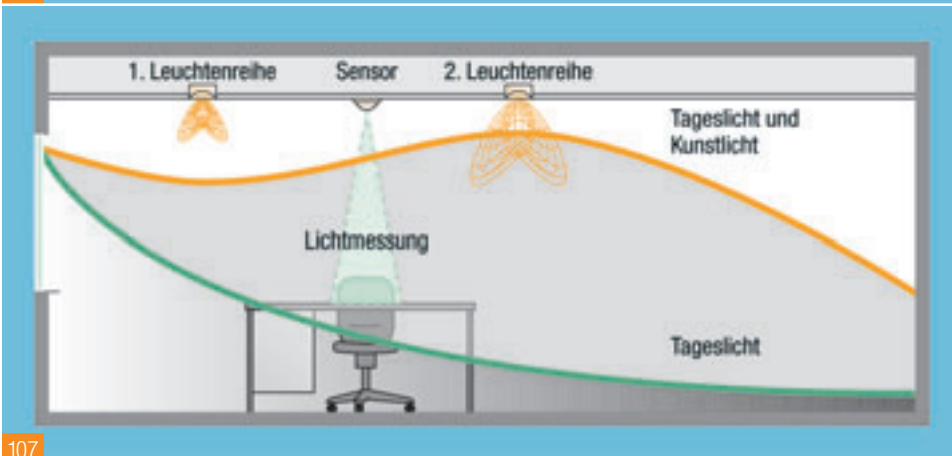
106

[104] Die Abhängigkeit von Lampenleistung und Lichtstrom beim Dimmen von Temperaturstrahlern.

[105] Die Abhängigkeit von Lampenleistung und Lichtstrom beim Dimmen von Leuchtstofflampen, hier Ø 16 mm-Lampen.

[106] BUS-Systeme vereinen höheren Beleuchtungskomfort, einfache Vernetzung von Gewerken und Energieeinsparungen. Alle elektrischen Verbraucher werden mit Spannung versorgt. Die Steuerungssignale werden über BUS-Leitung gesendet: Wind- und Strahlungswächter, Schalter und Infrarotsender liefern Eingangssignale, die umgewandelt und an die zu steuernden Leuchten und Jalousien versandt werden.

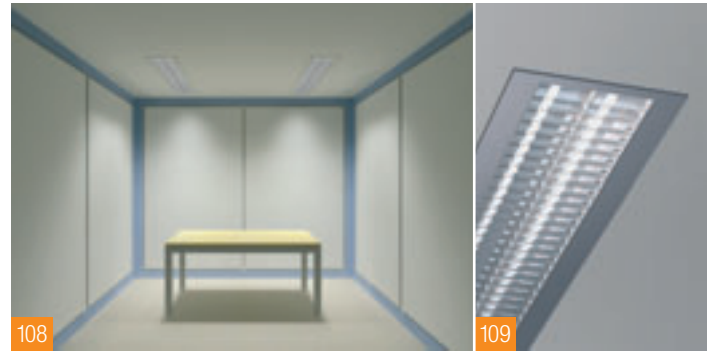
[107] Tageslichtabhängige Regelung als Summe aus Tageslichtanteil und geregelterm künstlichen Licht für ein konstantes Beleuchtungsniveau auf der Arbeitsfläche.



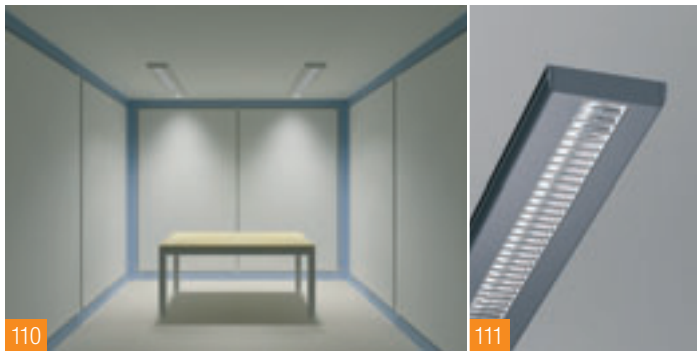
107

Leuchten

Für die vielfältigen lichttechnischen und gestalterischen Aufgaben in den jeweiligen Einsatzbereichen gibt es eine Vielzahl von Leuchten. Die auf dieser Doppelseite gezeigten Beispiele sind nur eine kleine Auswahl. Insbesondere Leuchten für spezielle Aufgaben wie Tunnelleuchten, Objektschutzleuchten, explosionsgeschützte Leuchten, Klimaleuchten oder Reinraumleuchten sind hier nicht abgebildet. Weitere Informationen über Leuchtensysteme und Hersteller finden Sie im Internet unter www.licht.de.



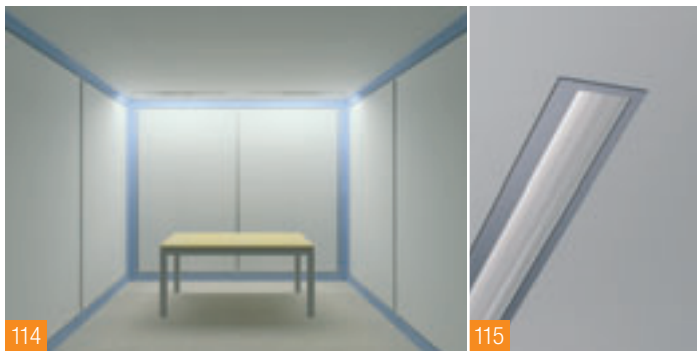
Raster-Einbauleuchten



Raster-Anbauleuchten



**Direkt/indirekte Pendelleuchte
mit Lichtlenkflächen**



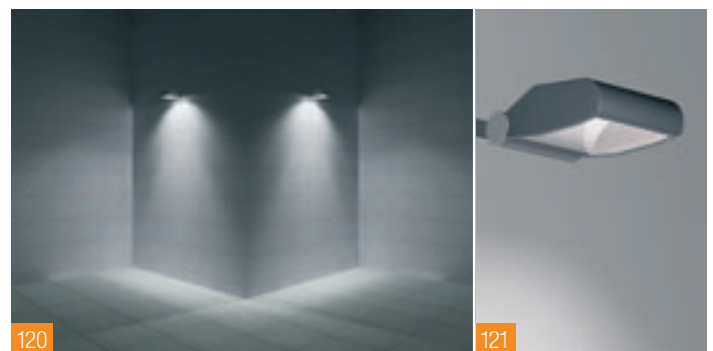
**Wandfluter-Einbauleuchten
mit asymmetrischer Lichtverteilung**



**Strahler an Stromschienen (links)
und schwenkbare Einbaudownlights (rechts)**



**Medizinische Versorgungseinheit horizontal
mit direkt/indirekter Lichtverteilung**



**Scheinwerfer
mit asymmetrischer Lichtverteilung**



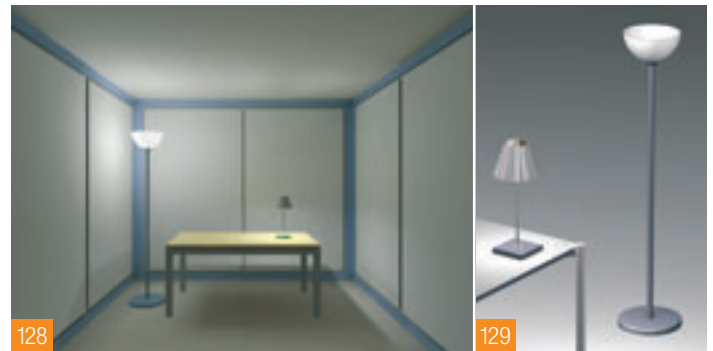
Direkt/indirekte Einbauleuchten



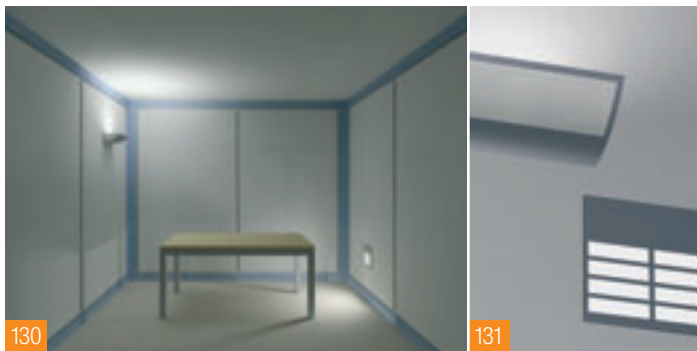
Downlights mit symmetrischer Lichtverteilung (links) und asymmetrischer Lichtverteilung (rechts)



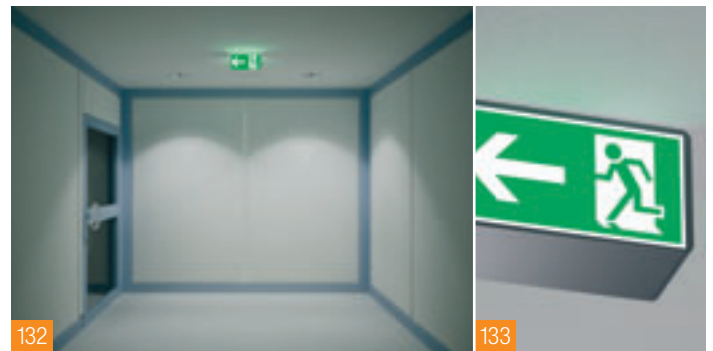
Direkt/indirekte Stehleuchte Büro mit Tischleuchte



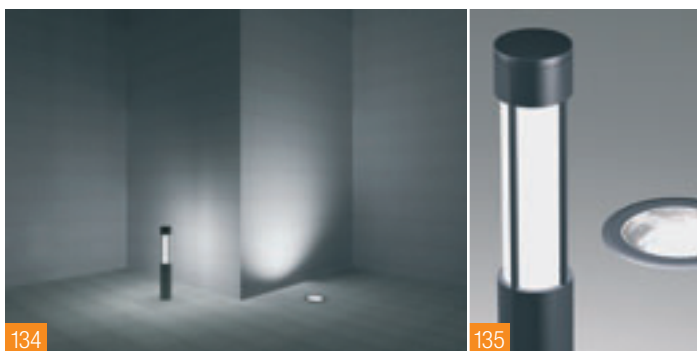
Direkt/indirekte Stehleuchte Wohnen mit Tischleuchte



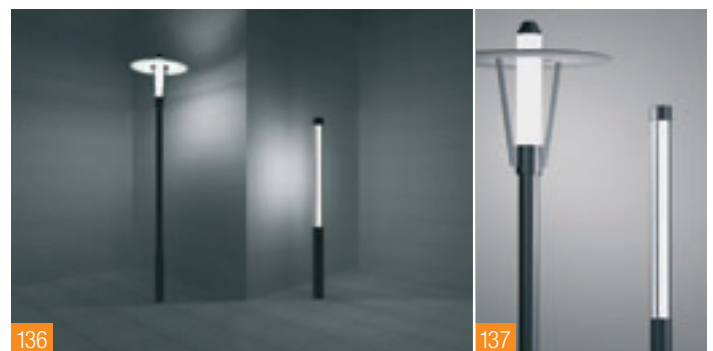
Wandleuchten als Anbauleuchte (links) und als Einbauleuchte (rechts)



Rettungszeichenleuchte zur Kennzeichnung des Rettungsweges



Pollerleuchte (links) **Bodeneinbauleuchte** (rechts)



Mastaufsatzleuchte (links) **Lichtsteele** (rechts)

Beleuchtungsplanung

Beleuchtungsanlagen sollten so geplant werden, dass die späteren Nutzer zufrieden sind und keine Energie verschwendet wird. Die Planung muss die Vorgaben der einschlägigen Normen berücksichtigen.

Innenraumbelichtung

Beleuchtungsanlagen in Innenräumen sollen den einschlägigen Normen entsprechen.

Zur Planung einer Anlage sind erforderlich:

- > Grundriss- und Schnittpläne der Räume bzw. Raumabmessungen
- > Anordnung von Raumöffnungen wie Türen und Fenster
- > Angaben über Deckenausführung
- > Farben bzw. Reflexionsgrade von Decke, Wänden, Boden und Möbeln
- > Zweckbestimmung des Raumes, vorkommende Sehaufgaben
- > Lage der Arbeitsbereiche
- > Möblierung oder Maschinenanordnung
- > Betriebsbedingungen wie z. B. Temperatur, Feuchtigkeit, Staub

Aufgrund dieser Angaben sind die geeigneten Lichtquellen und Leuchten auszuwählen. Nachdem die Anzahl der Lampen für die geforderte Beleuchtungsstärke berechnet ist, wird die Anzahl und Anordnung der Leuchten festgelegt. Hierbei sind beleuchtungs-, montage- und wartungstechnische wie auch architektonische Gesichtspunkte entscheidend.

Wünsche des Architekten hinsichtlich Leuchtenart und Leuchtenanordnung sind mit den Erkenntnissen der Beleuchtungstechnik und Arbeitsphysiologie in Übereinstimmung zu bringen.

Neben den beleuchtungstechnischen Gesichtspunkten muss ebenfalls die Wirtschaftlichkeit einer Anlage in Betracht gezogen werden.

Beleuchtungsplanung nach dem Wirkungsgradverfahren

In der Druckschrift „Projektierung von Beleuchtungsanlagen nach dem Wirkungsgradverfahren“ der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft e.V. ist das Verfahren beschrieben und sind Raumwirkungsgrade für eine Anzahl von Standard-Leuchten tabelliert.

Die für eine gewünschte Beleuchtungsstärke erforderliche Leuchtenzahl berechnet man mit der nachfolgenden Formel:

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

Darin bedeuten:

n	Leuchtenanzahl
E	gewünschte Beleuchtungsstärke
A	Fläche oder Teilfläche des Raumes
z	Anzahl der Lampen je Leuchte
Φ	Lichtstrom einer Lampe
η_{LB}	Leuchten-Betriebswirkungsgrad
η_R	Raumwirkungsgrad
η_B	$\eta_{LB} \cdot \eta_R$ Beleuchtungswirkungsgrad
WF	Wartungsfaktor

Der Raumwirkungsgrad ist von der Lichtstromverteilung der Leuchte, der Raumgeometrie und den Reflexionsgraden im Raum abhängig.

Der Beleuchtungswirkungsgrad η_B erfasst den Leuchten-Betriebswirkungsgrad η_{LB} und den Raumwirkungsgrad η_R .

Von den Leuchtenherstellern werden umfangreiche Tabellenwerke von Beleuchtungswirkungsgraden η_B zur Verfügung gestellt.

Beleuchtungsplanung mit Computer-Programmen

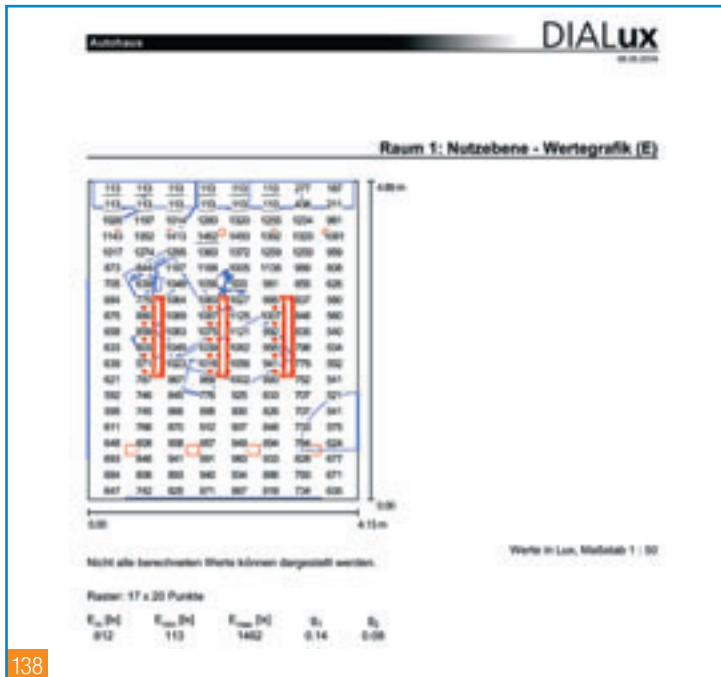
Mit dem Wirkungsgradverfahren kann die für eine vorgegebene mittlere Beleuchtungsstärke erforderliche Leuchtenanzahl ermittelt werden. Die Berechnung der Beleuchtungsstärken an den Punkten des Raumes wird mit Computern durchgeführt. Hierzu stehen entsprechende Programme zur Verfügung.

Diese Projektierungsprogramme ermöglichen über menügesteuerte Eingaben die komplette lichttechnische Berechnung einer Beleuchtungsanlage – von einer ersten überschlägigen Ermittlung bis zur voll dokumentierten ausführlichen Projektierung. Zahlreiche Hilfsfunktionen sind auf Tastendruck verfügbar, grafische Darstellungen unterstützen die Eingabe und das Verständnis der Ergebnisse. Die grafischen Computer-Darstellungen vermitteln ein anschauliches Bild der Beleuchtungsanlage.

Zusätzlich zu der lichttechnischen Dokumentation eines Projektes erstellen die Programme auf Wunsch eine Materialliste mit der Anzahl der Leuchten für jeden Leuchtentyp im Raum, einschließlich beschreibendem Text.

Straßenbeleuchtung

Die Straßenbeleuchtung dient der Verkehrssicherheit auf der Straße bei Dunkelheit. Dabei müssen Mindestwerte für die wichtigsten Gütemerkmale erreicht werden, die es dem Kraftfahrer ermöglichen, Form, Bewegung und Abstand von Personen und Gegenständen im Verkehrsraum in einer ausreichenden Entfernung sicher und schnell zu erkennen und das Fahrverhalten entsprechend anzupassen.



138

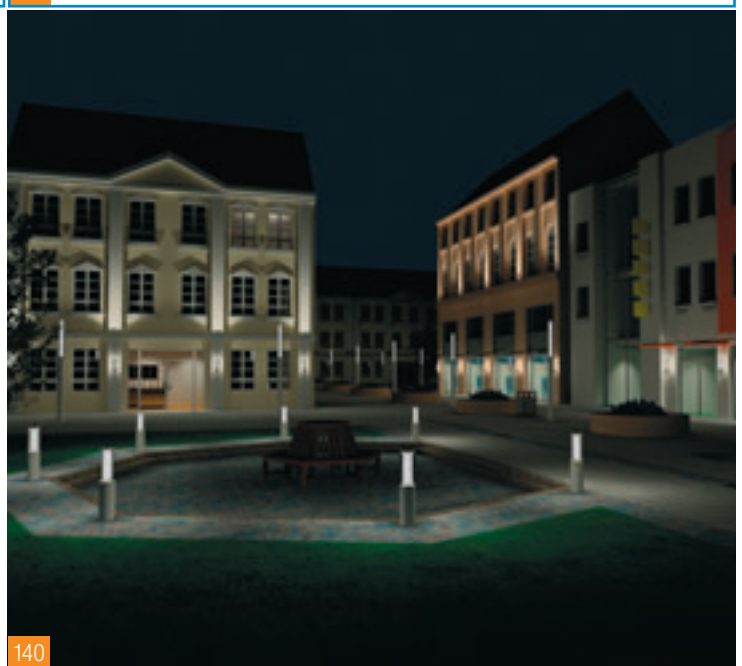


139

Ziel der Beleuchtungsplanung ist es, die entsprechend den verkehrstechnischen Voraussetzungen in den Normen und Vorschriften geforderten Daten für Leuchtdichte, Längs- und Gesamtgleichmäßigkeit sowie Blendungsbegrenzung zu erreichen. Dabei soll ein gutes „Bild“ entstehen, das den Straßenverlauf deutlich erkennen lässt. Anlage-, Betriebs- und Wartungskosten sollen niedrig sein und eine gute Wirtschaftlichkeit der Beleuchtungsanlage ergeben. Hierzu ist eine Optimierung zwischen der Geometrie der Straße, der Leuchtenanordnung, der Leuchtenart und der Leuchtenbestückung erforderlich.

Bei der Auswahl geeigneter Leuchten führen Leuchten mit Spiegeloptiken für Hochdruck-Entladungslampen zu den günstigsten Lösungen.

Zur Berechnung der mittleren Fahrbahnleuchtdichte und der Leuchtdichtegleichmäßigkeiten müssen die Lichtstärkeverteilung der Leuchte, der Lichtstrom der Lampe, die Anlagengeometrie und die Reflexionseigenschaften der Straßenoberfläche bekannt sein. Letztere können Standardwerte für bestimmte Fahrbahnbeläge sein oder Messwerte, die mit einem Straßenreflektometer ermittelt wurden.



140

[138] Für eine Vielzahl einzelner Punkte im Raum berechnen Planungsprogramme die Beleuchtungsstärke und zeigen sie grafisch an.

[139] Dieser Computer-Ausdruck zeigt die Wirkung der Beleuchtung im Raum einschließlich Möbeln und Leuchten.

[140] Die Computersimulation des beleuchteten Platzes und der anschließenden Straße bei Nacht erlaubt es, die Beleuchtungsplanung durch den realistischen Bildeindruck zu überprüfen.

Messen von Beleuchtungsanlagen

Für die Überprüfung von Beleuchtungsanlagen gibt es geeignete Verfahren, die überwiegend für professionelle Anwender wie Architekten und Lichtplaner und nicht für Laien gedacht sind.

In der Beleuchtungstechnik werden Messungen durchgeführt, um

- > beleuchtungstechnische Projektierungen nachzuprüfen,
- > den Ist-Zustand bestehender Beleuchtungsanlagen zu untersuchen, um eventuell eine Wartung bzw. Instandsetzung der Anlage zu veranlassen,
- > verschiedene Beleuchtungsanlagen zu vergleichen.

In den Normen und Vorschriften sind Festlegungen getroffen, um eine einheitliche Mess- und Bewertungspraxis sicherzustellen. Wichtige Messgrößen sind:

- > die Beleuchtungsstärke E , z. B. als horizontale Beleuchtungsstärke E_h , als vertikale Beleuchtungsstärke E_v , als zylindrische Beleuchtungsstärke E_z oder halbzyklindrische Beleuchtungsstärke E_{hz} .
- > die Leuchtdichte L , z. B. in der Straßenbeleuchtung, Tunnelbeleuchtung oder Innenraumbelichtung,
- > der Reflexionsgrad ρ , z. B. für Decke, Wände, 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.

In der Praxis werden am häufigsten Beleuchtungsstärkemessungen durchgeführt. Dafür sind Messgeräte zu verwenden, deren relative spektrale Empfindlichkeit gut an den spektralen Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ des Auges angepasst ist. Weiterhin muss schräg einfallendes Licht cosinusgetreu bewertet werden.

Bei der Vorbereitung einer Messung sollte Folgendes festgestellt werden:

- > geometrische Maße der Beleuchtungsanlage.
- > Art der Anlage bzw. des Raumes und der Tätigkeit,
- > zu messende Größen und Lage der Messpunkte,
- > allgemeiner Zustand der Anlage, wie z. B. Alter, Zeitpunkt der letzten Reinigung und des letzten Lampenwechsels, Grad der Verschmutzung.

Vor Beginn der Messungen sind die Lampen so lange einzubrennen, bis ein stationärer Zustand der Anlage erreicht ist, und sind die Einflüsse durch Fremdlicht (z. B. Tageslicht bei der Innenbeleuchtung oder Kraftfahrzeugbeleuchtung, Schaufenster- und Werbebeleuchtung bei der Außenbeleuchtung) auszuschließen. Ebenso müssen Störeinflüsse durch Hindernisse oder Abschattungen durch die Messpersonen vermieden werden.

Photometerklassen nach DIN 5035-6

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

Zur Messung der Beleuchtungsstärken wird die Grundfläche der zu beurteilenden Anlage in gleich große, möglichst quadratische Teilmessflächen aufgeteilt. Dieses Messraster darf nicht mit dem Rastermaß der Leuchtenanordnung übereinstimmen, um nicht z. B. direkt unter den Leuchten jeweils nur Maximalwerte zu messen. Jedoch können Symmetrieeigenschaften von Beleuchtung und Raum bzw. Flächen im Freien zu einer sinnvollen Reduzierung des Messumfangs genutzt werden.

Die Darstellung der Messwerte erfolgt tabellarisch. Eine grafische Darstellung der Beleuchtungsstärke in Isoluxkurven ergibt sich, wenn man Messpunkte gleicher Beleuchtungsstärken miteinander verbindet.

Zur Ermittlung der mittleren Beleuchtungsstärke \bar{E} werden die einzelnen Messwerte addiert und durch die Anzahl der Messpunkte geteilt.

Die Gleichmäßigkeit g_1 der Beleuchtungsstärke ergibt sich als Quotient aus der kleinsten gemessenen Beleuchtungsstärke E_{\min} und der errechneten mittleren Beleuchtungsstärke \bar{E} .

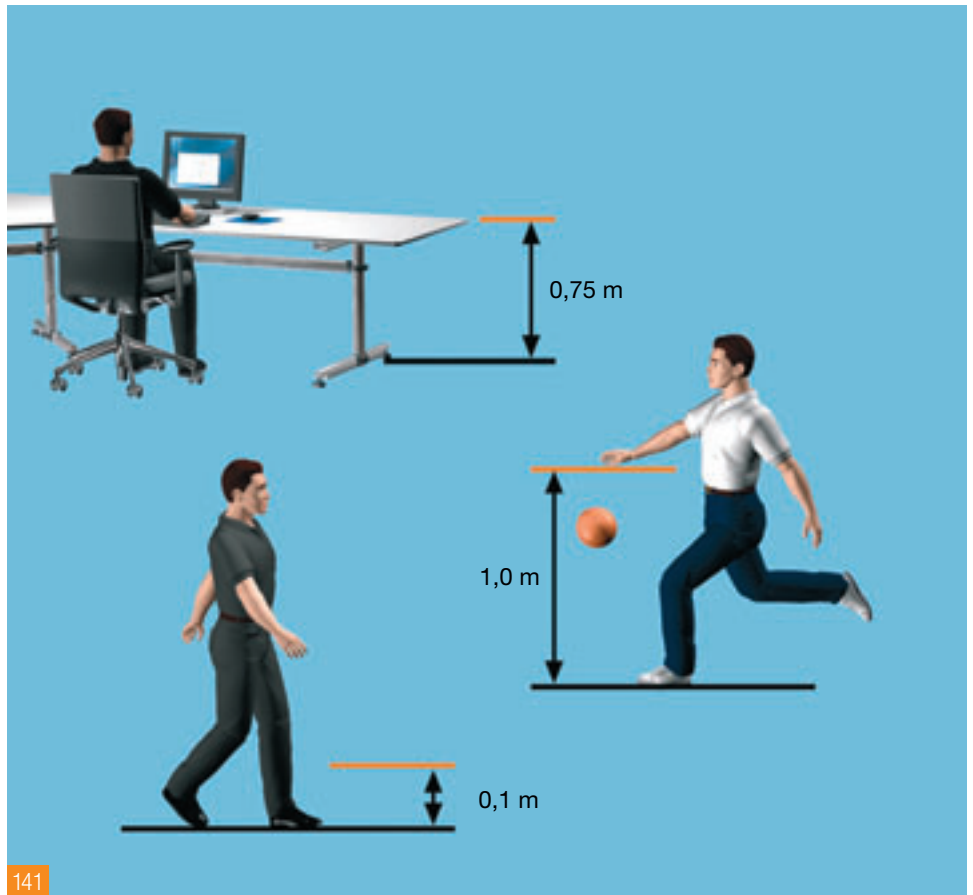
Die Gleichmäßigkeit g_2 ist das Verhältnis von E_{\min} zur größten gemessenen Beleuchtungsstärke E_{\max} .

Grundsätzlich sollte zu jeder Messung ein Messprotokoll erstellt werden, in dem z. B. außer den gemessenen Werten auch die Umfeldbedingungen, Angaben zu Lampen, Leuchten und Geometrie der Beleuchtungsanlage festgehalten sind.

[141] Horizontale Beleuchtungsstärken werden auf der Arbeitsfläche oder im Allgemeinen 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.

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



141



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

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

142

Beleuchtungskosten

Bei der Planung einer Beleuchtungsanlage sind der Energie- und Kostenaufwand wichtige Entscheidungskriterien für Neuanlagen und Sanierungsmaßnahmen.

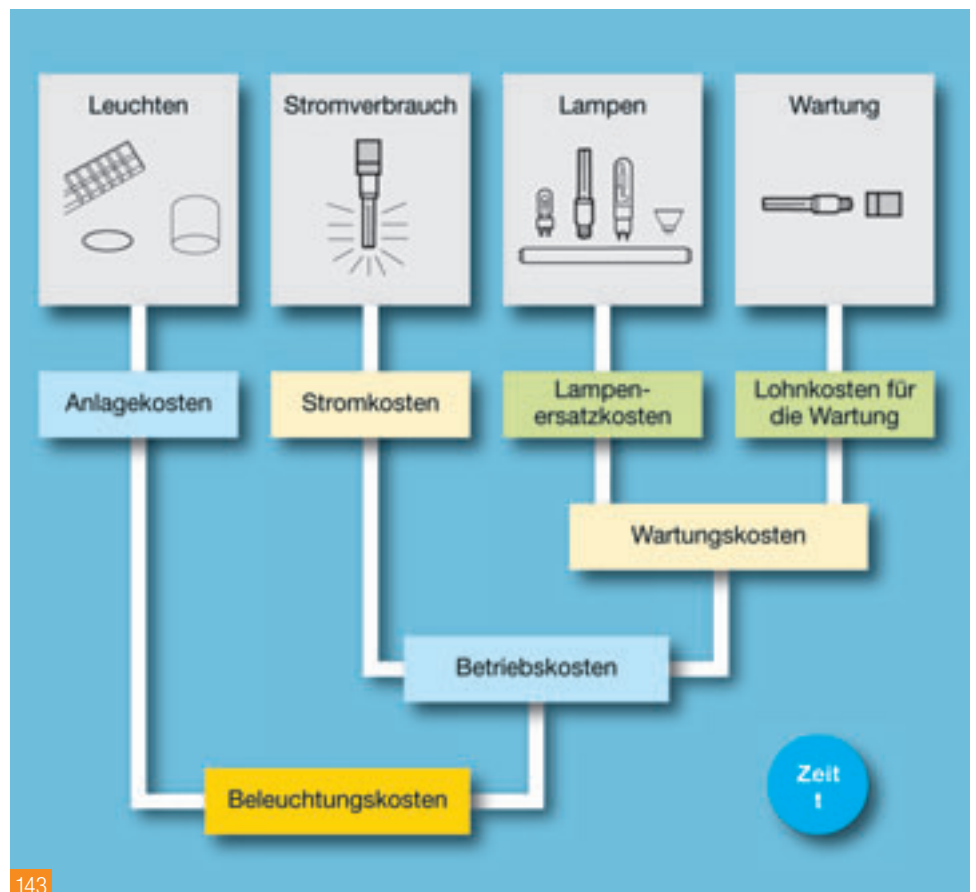
Die lichttechnische Projektierung umfasst auch eine Energiebilanzrechnung und sollte mit einer Wirtschaftlichkeitsanalyse ergänzt werden.

Kostenvergleiche sind nur zulässig, wenn sowohl die Qualität, Lebensdauer, Gebrauchstüchtigkeit, gesicherte Ersatzteilversorgung und Wartungsvorteile der Leuchten als auch die Einhaltung der Gütemerkmale der Beleuchtung gleichwertig und gewährleistet sind.

Bedarfsgerechtes präzises Planen, die fachkundige Auswahl von Lampen, Betriebsgeräten und Leuchten sowie eine optimierte Anordnung der Leuchten sind Voraussetzung für energie- und kostensparende Beleuchtungsanlagen.

Neue innovative Techniken und computerunterstützte Projektierungen helfen dabei. Den Fortschritt zeigen moderne Lampen, Leuchten und Beleuchtungstechniken mit zahlreichen Verbesserungen, z. B. einer höheren Lichtausbeute bei Leuchtstofflampen, geringerer Verlustleistung der Vorschaltgeräte, höherem Wirkungsgrad der Leuchten, höherem Beleuchtungswirkungsgrad durch zweckmäßigere Leuchtensysteme und präzisere Verfahren der Beleuchtungsplanung.

[143] Die Verkettung der Einzelkosten, aus denen sich die Beleuchtungskosten zusammensetzen, macht deutlich, dass technische Verbesserungen an Lampen und Leuchten insgesamt eine beachtliche Kosteneinsparung bringen.



Zum Vergleich verschiedener Beleuchtungsanlagen wird die **Kosten-Formel** verwendet.

Kapitalkosten

$$K = n_1 \left[\frac{k_1 \cdot K_1 + \frac{k_2}{100} \cdot K_2}{n_2} \right]$$

Energiekosten

$$+ n_1 \left[t_B \cdot a \cdot P \right]$$

Lampenersatz, Wartung der Anlage

$$+ n_1 \left[\frac{t_B}{t_L} (K_3 + K_4) \frac{R}{n_2} \right]$$

In der Formel bedeuten:

- K Jährliche Gesamtkosten
- K_1 Kosten einer Leuchte
- k_1 Kapitaldienst für K_1 (Verzinsung und Abschreibung) in %
- K_2 Kosten für Installationsmaterial und Montage je Leuchte
- k_2 Kapitaldienst für K_2 (Verzinsung und Abschreibung) in %
- R Reinigungskosten je Leuchte und Jahr
- n_1 Anzahl aller Lampen
- n_2 Anzahl der Lampen je Leuchte
- K_3 Preis einer Lampe
- K_4 Kosten für das Auswechseln einer Lampe
- P Leistungsaufnahme einer Lampe einschl. Vorschaltgerät in kW
- A Kosten der elektrischen Energie je kWh einschl. der anteiligen Bereitstellungskosten (Grundpreis)
- t_L Nutzlebensdauer der Lampe in h
- t_B Jährliche Benutzungsdauer in h

[144] Präzise Planung ist gleichermaßen die Voraussetzung für bedarfsgerechtes wie für energieeffizientes Licht.

[145] In der Straßenbeleuchtung haben Kompletterneuerung oder Umrüstung auf moderne Beleuchtungstechnik ein sehr hohes Einsparpotenzial an Energie und Kosten.



144



145

Energieeffizientes Licht

Lampen mit hoher Lichtausbeute, elektronische Betriebsgeräte, in der Lichtlenkung optimierte Leuchten, die Einbeziehung von Tageslicht und Lichtmanagement sorgen für energieeffiziente Lichterzeugung und tragen damit zur CO₂-Reduzierung bei. Moderne Beleuchtungstechnik steht zugleich für hohe Beleuchtungsqualität.

Im Mittelpunkt der technischen Weiterentwicklungen standen unter anderem Leuchtstofflampe und Vorschaltgerät. Dabei ging und geht es vor allem um die Steigerung der Lichtausbeute. Die Übersicht „Meilensteine zur Energieeinsparung mit moderner Beleuchtung“ zeigt, wie das Einsparvolumen gewachsen ist. Am Anfang stand die Entwicklung neuer verlustarmer Vorschaltgeräte (VVG), später elektronischer Vorschaltgeräte (EVG). Parallel kam die Dreiband-Leuchtstofflampe auf den Markt, später in der Ausführung mit 16 mm Durchmesser.

Leuchten

Leuchten sind effizient, wenn sie hohe Wirkungsgrade haben und ihre Lichtstärkeverteilung anwendungsgerecht ist. Hochwertige Materialien und fachgerechte Verarbeitung erhöhen den Wirkungsgrad, derartige Qualitätsleuchten haben außerdem eine längere Lebensdauer.

Effizienzpotenziale

Das Effizienz- und damit das Einsparpotenzial moderner Beleuchtungstechnik ist hoch. Wie viel einzelne Maßnahmen einsparen können, zeigt die Übersicht „Effizienzpotenziale moderner Technik“ in Vergleichen. Die Präsenzkontrolle schaltet das Licht ab, wenn sich niemand im Raum aufhält. Das Herunterdimmen des Neuwertes der Beleuchtungsanlage auf den Wartungswert erlaubt insbesondere bei Neuanlagen eine deutliche Energieeinsparung.

Mit der bestmöglichen Ausgestaltung der Einzelmaßnahme werden die höchsten Einsparungen erreicht. Die Effizienz einer Beleuchtungsanlage steigt nochmals, wenn Einzelmaßnahmen kombiniert werden.

Tageslicht nutzen

Den höchsten Einspareffekt bietet die Nutzung des im Raum zur Verfügung stehenden Tageslichts: Die künstliche Beleuchtung wird nur dann zugeschaltet oder langsam stufenlos hinzugeregelt, wenn das Tageslicht nicht ausreicht. Wenn der Tageslichteinfall für das Sehen auch im Arbeitsbereich genügt, kann die Beleuchtungsanlage auch komplett abgeschaltet werden. Je weniger das künstliche Licht in Anspruch genommen wird, umso höher sind die Energie- und damit die CO₂-Einsparung.

Üblicherweise werden tageslichtabhängige Regelungen als Summe aus Tageslichtanteil und geregelter künstlicher Licht für ein konstantes Beleuchtungsniveau ausgelegt. Dies in unterschiedlichen Ausbaustufen: Die Möglichkeiten reichen von der einfachen Regelung einzelner Leuchten über die Regelung von Leuchtengruppen in einem System bis hin zur Lichtmanagement-Anlage (siehe Seite 46) und der Einbindung der gesamten Beleuchtung in die Gebäudesystemtechnik.

Natürliches Licht steht kostenlos zur Verfügung. Doch ganz zum Nulltarif gibt es das Tageslicht in Innenräumen nicht, denn alle baulichen Voraussetzungen dafür kosten Geld. Außerdem sind häufig zusätzliche Maßnahmen zum Wärme- und zum Blendenschutz notwendig. Auch das Lichtmanagement zur Dosierung von Tages- und künstlichem Licht ist in den Anschaffungskosten etwas teurer als eine Beleuchtungsanlage ohne Intelligenz – eine Investition, die sich jedoch schnell amortisiert.

Energieausweis

Unter dem Aspekt der CO₂-Reduzierung gibt der Energieausweis nach der Energieeinsparverordnung (EnEV 2007) seit Oktober 2007 Einsparimpulse: Er bilanziert den Gesamtenergiebedarf eines Hauses erstmals inklusive der Beleuchtung (gilt für Nicht-Wohngebäude). Für die Berechnung herangezogen wird 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

Energie sparen ist wichtig. Doch darf die Beleuchtungsqualität nicht unter Sparmaßnahmen leiden. Deshalb gelten für die künstliche Beleuchtung – wie übrigens auch für das Tageslicht – die lichttechnischen Gütemerkmale. Denn das Licht wird für die Menschen geplant, wann und wo sie es brauchen: Nicht nur in der Arbeitswelt soll es bedarfsgerecht sein, hohe Ansprüche an die visuelle Ergonomie erfüllen, das Wohlbefinden fördern und die Gesundheit erhalten.

Licht und Umwelt

Anforderungen, die dem Schutz der Umwelt dienen, definiert vor allem die Europäische Union (EU). Dafür setzt die EU vier Schwerpunkte: Klimaschutz (CO₂-Reduktion), Natur und biologische Vielfalt, Umwelt und Gesundheit, nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen und Abfallwirtschaft.

Informationen über das umfangreiche und immer wieder aktualisierte Regelwerk fassen die EU-Internetseiten (http://europa.eu/index_de.htm) dazu zusammen.

EuP-Richtlinie

Die EuP-Richtlinie (Ökodesignrichtlinie) legt den Rahmen fest für die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (Energy using Products). In Deutschland wird sie umgesetzt im Energiebetriebene-Produkte-Gesetz (EBPG). Ein vorrangiges Ziel bei diesem Ansatz ist die Reduzierung des Energieverbrauchs während der Nutzungszeit eines Produktes.

Altgeräte

Die Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten, geregelt im Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG), ist ebenso Umweltschutz nach EU-Vorgaben (WEEE-Richtlinie). Die Rücknahme ist für Produkte, die das ElektroG erfasst, Sache der Hersteller/Importeure, die diese Aufgabe auch Dritten übertragen können.

Entladungslampen werden in Deutschland von dem Gemeinschaftsunternehmen Lightcycle Retourlogistik und Service GmbH (www.lightcycle.de) angenommen. Informationen zum Lampen-Recycling gibt die Arbeitsgemeinschaft Lampenverwertung (AGLV) im ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (www.zvei.org), in der sich Hersteller und Lampen-Verwerter zusammengeschlossen haben.

Leuchten, die seit März 2006 eingekauft wurden, fallen als „neue Altgeräte“ unter das ElektroG; sie sind mit der „durchgestrichenen Mülltonne“ gekennzeichnet. Alle Glühlampen und Halogenlampen sowie alle Leuchten, die aus Privathaushalten stammen, fallen nicht unter das ElektroG.

Lichtimmissionen

Wenn das Licht von Außenbeleuchtungsanlagen – zum Beispiel die Straßenbeleuchtung in Wohngebieten – derart abstrahlt, dass es stört, handelt es sich bei den Gestörten um Lichtimmissionen. Davor schützt das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG). „Lichtverschmutzung“ sollte bereits im Planungsstadium von Beleuchtungsanlagen ausgeschlossen werden.

Konkrete Grenzwerte aber geben weder das Gesetz noch verwaltungsrechtliche Ausführungsbestimmungen vor. Es können jedoch Mess- und Bewertungsmethoden sowie daraus abgeleitete, maximal zulässige Werte herangezogen werden, die die Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (LiTG) e.V. veröffentlicht hat (siehe Seite 59). Der Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) hat diese Methoden und Grenzwerte in die Leitrichtlinie „Hinweise zur Messung und Beurteilung von Lichtimmission“ übernommen und den Umweltschutzbehörden zur Anwendung empfohlen; einige Bundesländer haben dazu als Verwaltungsvorschrift „Lichtrichtlinien“ erlassen.

Schutz des Sternenhimmels

Als „Lichtsmog“ bezeichnet wird die Lichtimmission, die ausgehend von der Beleuchtung städtischer Ballungsräume nach oben strahlt und den Sternenhimmel erhellt. Mehrere europäische Länder wollen Gesetze zum Schutz des Nachthimmels erlassen. Tschechien war der Vorreiter, es folgten Italien und Spanien. Am besten

schützen Straßen- und Außenleuchten, die das Licht gerichtet dorthin lenken, wo es gebraucht wird, vor dieser Art von Lichtimmission.

Licht und Insekten

Künstliches Licht lockt Insekten an. Für nachtaktive, in ihrer Lebensweise an die Dunkelheit angepasste Tiere besteht daher die Gefahr, dass künstliches Licht ihren natürlichen Lebensrhythmus stört.

Licht mit überwiegendem Gelb-/Orangeanteil vermindert den Insektenanflug. Denn Insektenaugen haben eine andere spektrale Hellempfindlichkeit als das menschliche Auge. Sie reagieren empfindlicher auf die spektrale Zusammensetzung des Lichts von Leuchtstofflampen und Quecksilberdampf-Hochdrucklampen. Auch das schwache Mondlicht, das Insekten vermutlich zur Orientierung nutzen, empfinden sie deutlich heller. Das Licht von Natriumdampf-Hochdrucklampen dagegen erscheint ihnen dunkler. Gegenüber orangen und roten Spektralanteilen sind sie nahezu unempfindlich.

Den wissenschaftlichen Kenntnisstand zu diesen Zusammenhängen hat die LiTG zusammengefasst (siehe Seite 59).

Normen, Literatur

Normen

DIN EN 1838

Angewandte Lichttechnik – Notbeleuchtung

DIN EN 12193

Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung

DIN EN 12464-1

Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen

DIN EN 12464-2

Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 2: Arbeitsstätten im Freien

DIN EN 12665

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

DIN EN 13201

Straßenbeleuchtung

DIN 5032

Lichtmessung

DIN 5035-3

Beleuchtung mit künstlichem Licht – Beleuchtung in Krankenhäusern

DIN 5035-6

Beleuchtung mit künstlichem Licht – Messung und Bewertung

DIN 5035-7

Beleuchtung mit künstlichem Licht – Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen

DIN 5035-8

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

LiTG – Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V.

Publikation 3.5:1988

„Projektierung von Beleuchtungsanlagen nach dem Wirkungsgradverfahren“

Publikation 12.2:1996

„Messung und Beurteilung von Lichtemissionen künstlicher Lichtquellen“

Publikation 13:1991

„Kontrastwiedergabefaktor CRF – ein Gütemerkmal der Innenraumbelichtung“

Publikation 15:1997

„Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten“

Publikation 17:1998

„Straßenbeleuchtung und Sicherheit“

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“

www.litg.de

LiTG, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin

Jedes Heft!

€ 9,-

Die Schriftenreihe von licht.de

[licht.wissen 03]

40 Seiten Straßenbeleuchtung: Heft 3 beschreibt, wie „Sehen und gesehen werden“ funktioniert und erklärt, wie die Zahl der Verkehrsunfälle und krimineller Übergriffe sinkt.



Gutes Licht für Büros und Verwaltungsgebäude **4**

[Heft 4] 48 Seiten Bürobeleuchtung: Heft 4 zeigt für alle Büroformen, wie bedarfsorientiertes Licht ergonomisch richtig eingesetzt wird und so Gesundheitserhaltend und leistungssteigernd wirkt.



[licht.wissen 13] 32 Seiten Licht zum Arbeiten im Freien: Heft 13 erläutert, was bei der Beleuchtung in den Dunkelstunden zu beachten ist. Es basiert u. a. auf der neuen Norm DIN EN 12464, Teil 2.



Ideen für Gutes Licht zum Wohnen **14**

[Heft 14] 48 Seiten Wohnraumbeleuchtung: Heft 14 skizziert zahlreiche „Ideen für Gutes Licht zum Wohnen“, informiert über alle wichtigen lichttechnischen Aspekte und zeigt geeignete Lampen und Leuchten.



LED – Licht aus der Leuchtdiode **17**

[Heft 17] 28 Seiten Informationen zu LEDs: Heft 17 beschreibt, wie die kleinen Halbleiterkristalle funktionieren, erklärt die Technik von LEDs und LED-Modulen und zeigt beispielhafte LED-Anwendungen.

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

01* Die Beleuchtung mit künstlichem Licht (2008)

02* Gutes Licht für Schulen und Bildungsstätten (2003)

03* Straßen, Wege und Plätze (2007)

04* Gutes Licht für Büros und Verwaltungsgebäude (2003)

05 Gutes Licht für Handwerk und Industrie (1999)

06* Gutes Licht für Verkauf und Präsentation (2002)

07* Gutes Licht im Gesundheitswesen (2004)

08* Gutes Licht für Sport und Freizeit (2001)

09 Repräsentative Lichtgestaltung (1997)

10 Notbeleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung (2000)

11* Gutes Licht für Hotellerie und Gastronomie (2005)

12* Beleuchtungsqualität mit Elektronik (2003)

13* Arbeitsplätze im Freien (2007)

14 Ideen für Gutes Licht zum Wohnen (2000)

16* Stadtmarketing mit Licht (2002)

17* LED – Licht aus der Leuchtdiode (2005)

18* Gutes Licht für Museen, Galerien, Ausstellungen (2006)

* available in English as pdf-file, download free of charge at www.all-about-light.org

Alles über Beleuchtung!

Herstellernerneutrale Informationen

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

licht.wissen

Die Hefte 1 bis 18 der Schriftenreihe licht.wissen (bisher: Informationen zur Lichtanwendung) helfen allen, die auf dem Gebiet der Beleuchtung planen, Entscheidungen treffen und investieren, Grundkenntnisse zu erwerben. Damit wird die Zusammenarbeit mit Fachleuten der Licht- und Elektrotechnik erleichtert. Alle lichttechnischen Aussagen sind grundsätzlicher Art.

licht.forum

licht.forum behandelt aktuelle Fragen der Lichtanwendung und stellt Beleuchtungstrends vor. Diese meist 12-seitigen Fachinformationen erscheinen in loser Folge.

www.licht.de

Im Internet ist die Brancheninitiative unter der Adresse www.licht.de präsent. Tipps zur richtigen Beleuchtung geben „Lichtanwendungen“ in PrivatPortal und ProfiPortal mit zahlreichen Beispielen für Privatanwendungen und gewerbliche Beleuchtung.

Erläuterungen lichttechnischer Begriffe bieten die Menüpunkte „Über Licht“ und „Beleuchtungstechnik“.

Datenbanken mit umfangreichen Produktübersichten und einer Liefermatrix sowie Adressdaten der licht.de-Mitgliedsunternehmen weisen den direkten Weg zum Hersteller und seinen Produkten. Das Angebot der gedruckten „Publikationen“ im Online-Shop und „Linktipps“ ergänzen das vielseitige Lichtportal.



Impressum

Herausgeber

licht.de
Fördergemeinschaft Gutes Licht
Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt am Main
Tel. 069 6302-353, Fax 069 6302-400
licht.de@zvei.org, www.licht.de

Redaktion

JARO Medien, Mönchengladbach

Realisation überarbeitete Neuauflage

r.f.v. agentur für kommunikation, Darmstadt

Gestaltung

Kugelstadt MedienDesign, Darmstadt

Lithobearbeitung

Layout Service Darmstadt

Druck

abdruck, Heidelberg

ISBN 978-3-926 193-38-4
4/08/15/IVb

Berücksichtigt wurden die bei Herausgabe gültigen DIN-Normen (Bezug: Beuth Verlag, Berlin) und VDE-Vorschriften (Bezug: VDE-Verlag, Berlin).

Der Nachdruck von licht.wissen 01 ist mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Bildnachweis

Bildnummern Rückseite:

	148		
149	150	151	
152	153	154	

1 bis 3 Internationale Lichtschau, Eindhoven/Niederlande • 16 Fotosearch/Imagestate • 17 und 18 fotolia/Lou Guerrero • 28/29 Fotosearch/Jupiterimages • 31 und 32 fotolia/Anatoly Tplyashin • 64 fotolia/Bonnie C. Marquette • 67 fotolia/Zol.

Alle anderen Bilder, 3-D-Visualisierungen und Grafiken stammen von licht.de-Mitgliedsunternehmen oder wurden im Auftrag von licht.de angefertigt.

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