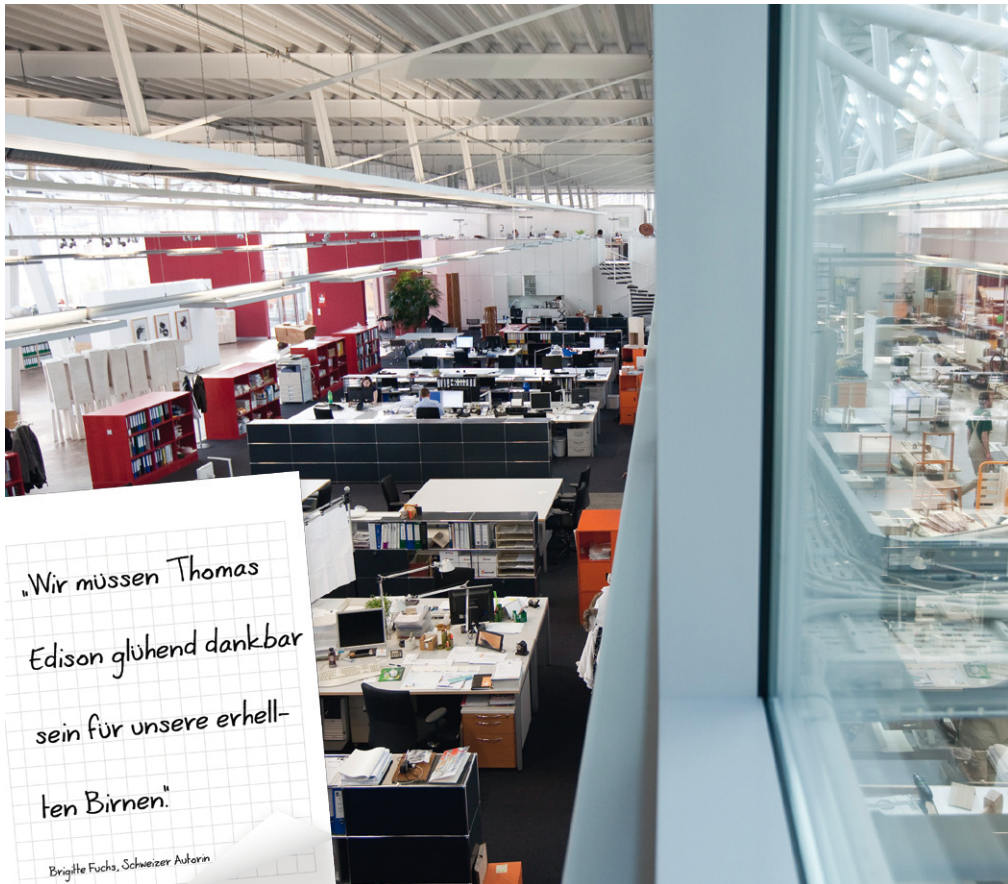


Effiziente Beleuchtungssysteme in Produktion, Verwaltung und Handel



„Wir müssen Thomas
Edison glühend dankbar
sein für unsere erhell-
ten Birnen.“

Brigitte Fuchs, Schweizer Autorin



ENERGIEEFFIZIENZ
IN UNTERNEHMEN

saena
Sächsische
Energieagentur GmbH



Inhaltsverzeichnis

Seite	Inhalt
4	1. Licht
4	1.1 Bedeutung effizienten Lichts
5	1.2 Was ist Licht?
6	1.3 Licht und menschliches Sehvermögen
7	1.4 Licht und menschliche Psyche
8	2. Beleuchtung von Arbeitsstätten
9	2.1 Beleuchtungsaufgaben
9	2.2 Beleuchtungsanforderungen und Richtlinien
14	3. Grundlagen der Lichttechnik
15	3.1 Eigenschaften von Lichtquellen
18	3.2 Lampenarten
22	3.3 Leuchtenarten
24	3.4 Effizienz von Vorschaltgeräten
26	4. Steuerung von Beleuchtungssystemen
30	5. Energieeffizienz in der Beleuchtung
31	5.1 Grenz- und Zielwerte einer effizienten Beleuchtung
32	5.2 Praktische Handlungsmöglichkeiten für eine energieeffiziente Beleuchtung
34	6. Planung von Beleuchtungssystemen
36	6.1 Beispiel Büroarbeitsplatz
38	6.2 Beispiel Arbeitsplatz in der Produktion
39	6.3 Beispiel Arbeitsplatz im Handel
40	7. Checklisten für den Um- bzw. Neubau von Beleuchtungssystemen
44	8. Glossar
48	9. Quellenverzeichnis und weiterführende Literatur
50	10. Impressum

1. Licht

1.1 Bedeutung effizienten Lichts

Ohne Licht ist Leben und Kultur unmöglich. Helligkeit und Schatten, Farbigkeit und Kontrast beeinflussen die räumliche und zeitliche Atmosphäre. Deswegen ist die Bedeutung des Lichtes in modernen Gesellschaften nicht hoch genug zu bewerten, denn sie hat sowohl physiologische als auch psychologische Auswirkungen auf das Wohlbefinden, die Leistungskraft und die Produktivität des Menschen. Das gilt sowohl für die alltägliche häusliche als auch die arbeitsweltliche Umgebung in Unternehmen, Verwaltungseinrichtungen und Handelsbetrieben. Knapp 20 Prozent des weltweiten Bedarfs an elektrischer Energie werden für die Erzeugung künstlichen Lichtes verbraucht. Ohne schnelles Gegensteuern wird der Energieverbrauch nur für Beleuchtung im Jahr 2030 ca. 80 Prozent höher sein als heute. Zu diesem Schluss kommen Experten in einer Studie der Internationalen Energie Agentur IEA. Die Einsparung von Energie bei gleichzeitiger effektiver Beleuchtung ist in der Wirtschaft ein bedeutsamer Faktor geworden. Aus diesem Grunde ist es wichtig, sich vor allem dort mit dem effizienten Einsatz von Licht auseinanderzusetzen.

Diese Broschüre reflektiert die aktuelle Lage der professionellen Lichtenwendung in Industrie, Handwerk, Handel und Verwaltung in der Vielfalt ihrer Anwendungsmöglichkeiten, erläutert dabei verschiedene Funktionen, die eine gute Beleuchtung einnimmt und erörtert die technischen wie ordnungspolitischen Rahmenbedingungen von Beleuchtungsaufgaben an verschiedenen Arbeitsplätzen. Sie soll vor allem zur Aufklärung rund um das Thema energieeffiziente Innenraumbeleuchtung beitragen. Im Fokus steht dabei der Mensch, der in die Arbeitsprozesse eingebunden ist. Effizienzkriterien werden nicht nur unter energiewirtschaftlichen, sondern auch unter ergonomischen Aspekten betrachtet. Eine ergonomische Gestaltung von Arbeitsprozessen ist natürlich auch indirekt wirtschaftlich, denn wer unter besseren Bedingungen tätig ist, kann auch mehr leisten. Sind die Technik und ihre Anwendung so gestaltet, dass auch umweltrelevante Aspekte berücksichtigt werden, wird ein zusätzlicher Nutzen erreicht.

Lichtbedürfnisse von Lebewesen

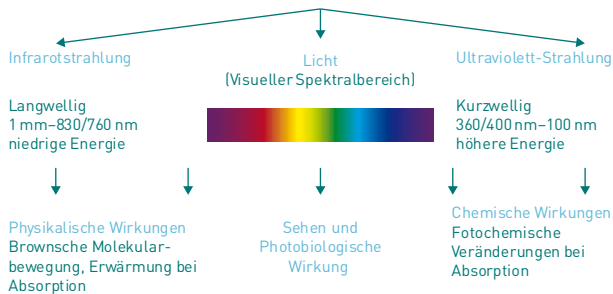
Die Maslowsche Bedürfnispyramide (1943) aus der Verkaufspsychologie der 50er Jahre (Abraham H. Maslow, Psychologe, 1908 - 1970, USA).



1.2 Was ist Licht?

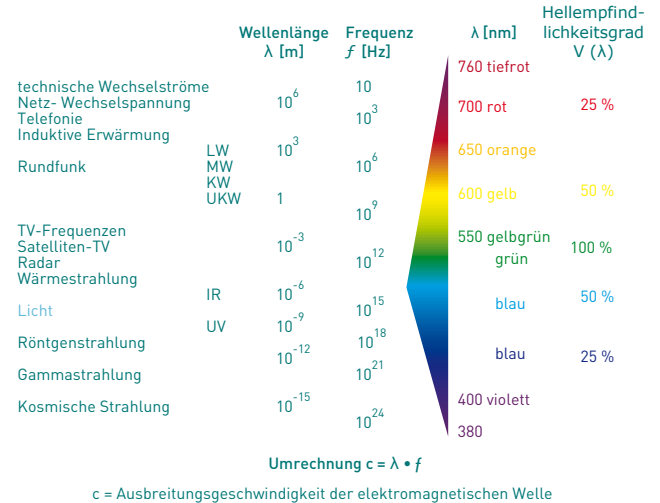
Licht bezeichnet umgangssprachlich das für den Menschen sichtbare Spektrum der elektromagnetischen Wellen zwischen ca. 380 und 780 Nanometern. Unterschiedliche physikalische Theorien zur Beschreibung der Eigenschaften von Licht ergänzen sich. Seit Isaak Newton weiß man z. B., dass sich weißes Licht aus einzelnen Spektralfarben zusammensetzt. In seinem Korpuskular-Modell weist er nach, dass sich Energieteilchen (Photonen) mit Lichtgeschwindigkeit geradlinig von der Lichtquelle ausbreiten. Newton versteht Licht hier als eine Art Hagelschauer kleiner Energiekügelchen, die sich wie Teilchen verhalten. Diese Theorie erklärt jedoch nicht ausreichend, wie sich Licht durch Materie, z. B. bei Lichtbrechungen im Wasser oder Glas, fortpflanzt. Das zur gleichen Zeit entwickelte Wellenmodell des Lichtes, das u. a. von Christiaan Huygens stammt, behandelt Lichterscheinungen als elektromagnetische Schwingungen, die von einer Quelle ausgehen und kann das erklären, was Newtons Modell nicht konnte. Augustin Fresnel hat 1822 herausgefunden, dass jede Spektralfarbe einer ganz bestimmten Wellenlänge entspricht.

Licht als Teil optischer Strahlung – im Spektrum elektromagnetischer Wellen



Zu jeder Wellenlänge gehört ein Farbeindruck, der vom kurzwelligen Violett über Blau, Blaugrün, Grün, Grüngelb, Gelb, Orange bis zum langwelligen Rot reicht. Das Spektrum bildet dabei kontinuierliche Übergänge. Faszinierende Farbverläufe eines Regenbogens zeigen die Zerlegung des weißen Lichtes in seine Spektralfarben. Die an das sichtbare Licht oberhalb und unterhalb angrenzende, aber für das menschliche Auge unsichtbare Infrarot- und Ultraviolett-Strahlung gilt gemeinsam mit dem Licht als optische Strahlung. Optische Strahlung hat Einfluss auf Materialien und Lebewesen. Beispielswei-

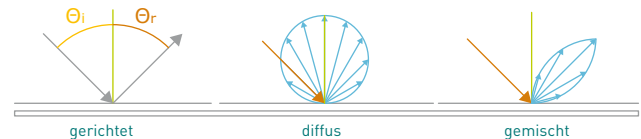
Spektrum der elektromagnetischen Wellen



se schützt die Ozonschicht der Atmosphäre um die Erde vor schädlicher UV-Strahlung und lässt Licht, IR- und UV-Strahlung der Sonne nur so durchdringen, dass organisches Leben auf der Erde möglich ist. Optische Strahlung „entsteht und vergeht“ in Materie durch Energieumwandlungen. Licht, das auf Material auftrifft, kann reflektiert, absorbiert oder transmittiert werden. Dabei treten Phänomene auf wie: die diffuse oder gerichtete Reflexion bzw. Transmission, die Brechung an Grenzflächen unterschiedlich dichter Materialien (wie zwischen Luft und Wasser) oder bei Absorption Energieumwandlungen in Wärme bzw. chemische oder elektrische Energie (Photozelle).

Reflexion

- tritt an Grenzflächen zwischen zwei Stoffen auf
- ideal: vollständig diffuse Reflexion + regulärer Spiegel
- real: gemischte Formen
- bei vollständiger Spiegelung gilt das Reflexionsgesetz: Einfallswinkel = Reflexionswinkel

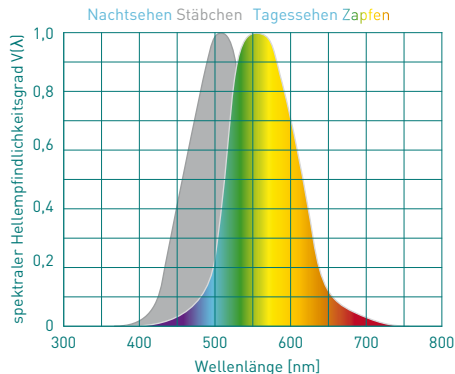


1.3 Licht und menschliches Sehvermögen

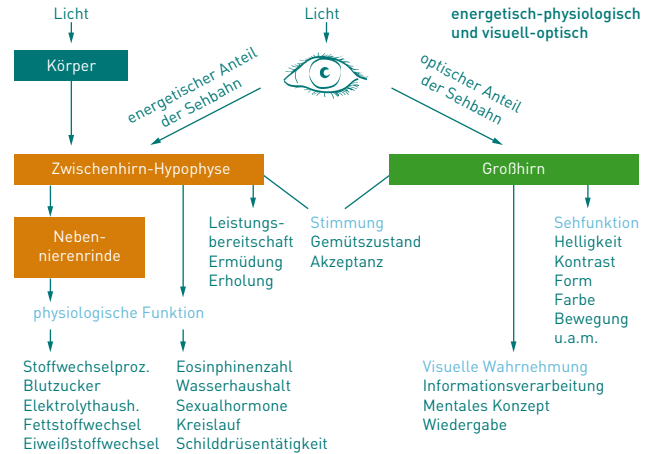
Der Mensch orientiert sich im Unterschied zu vielen anderen Lebewesen in seiner Umwelt vorrangig visuell. Das Auge ist sein wichtigstes Sinnesorgan. Mehr als drei Viertel aller Informationen, die der gesunde Mensch aufnimmt, lassen sich auf Sehwahrnehmungen zurückführen. Ohne Licht wäre das Sehen für den Menschen unmöglich. Deswegen liegt es nahe, Licht auch unter physiologischen Aspekten zu betrachten. Licht ist dabei keine Eigenschaft der Dinge selbst, sondern – unter physiologischen Gesichtspunkten betrachtet – ein Wahrnehmungsreiz auf der Netzhaut. Licht ist biologisch gesehen die zur Erregung einer Hellempfindung des menschlichen Sehorgans geeignete elektromagnetische Strahlung.

Unsere Sehorgane sind sehr anpassungsfähig an unterschiedlichste Licht-Situationen. Der optische Teil des Auges lässt sich mit einer Lochkamera vergleichen, die bestimmte Strahlungen aufnimmt und neuronal auf der Netzhaut als Projektionsfläche abbildet. Die Netzhaut verfügt insgesamt über ca. 130 Millionen Sehzellen. Die meisten davon, die sogenannten Stäbchen, sind für das Helligkeitssehen sowie Bewegungswahrnehmung zuständig und reagieren auf das Farbsehen relativ unempfindlich. Die etwa sieben Millionen Zapfen sind dagegen umgekehrt für das Farbsehen verantwortlich. Es gibt weitere Sensoren, die unbewusst vor allem biologische Prozesse im Körper beeinflussen können. Der Körper kann sich

Relative spektrale Hellempfindlichkeit
...der Rezeptoren für Tages- und Nachtsehen (Summenkurven)



Verarbeitung im Gehirn – 2 Pfade der Verarbeitung



biorhythmisch auf Tag oder Nacht einstellen, man spricht vom circadianen Rhythmus (siehe auch unter 1.4.), einer Art inneren Uhr, die u. a. von Einflüssen des Lichtes gesteuert und synchronisiert wird. Die spektrale Empfindlichkeit zwischen 0 und 100 Prozent der Reizwahrnehmung wird heute mit der relativen spektralen Empfindlichkeitskurve dieser drei Sensorgruppen unserer Netzhaut dargestellt. Man unterscheidet die visuell-optische und die energetisch-physiologische Verarbeitung der Sinnesreize im Körper.

Die Sehschärfe bei der visuellen Bildwahrnehmung hängt dabei vom Auflösungsvermögen der Netzhaut und von der Qualität der optischen Abbildung ab. Die notwendige Anpassung an die Brennweite für scharfes Sehen unterschiedlicher Objekte hängt vom Krümmungsgrad der brechenden Flächen der Augenlinse ab. Die vor der Augenlinse liegende Regenbogenhaut, auch Iris genannt, wirkt mit ihrer Öffnung, der Pupille, wie eine einstellbare Blende. Sie kann den eintretenden Lichtstrom und die Tiefenschärfe regeln. Die Fähigkeit des Auges, sich an höhere oder niedrigere Leuchtdichtestufen anzupassen, wird als Adaptation bezeichnet. Je höher das Beleuchtungsniveau im sichtbaren Lichtspektrum des Auges ist, desto höher ist auch die Sehleistung und Wahrnehmungsfähigkeit der Umwelt und umso geringer sind die Sehfehler.

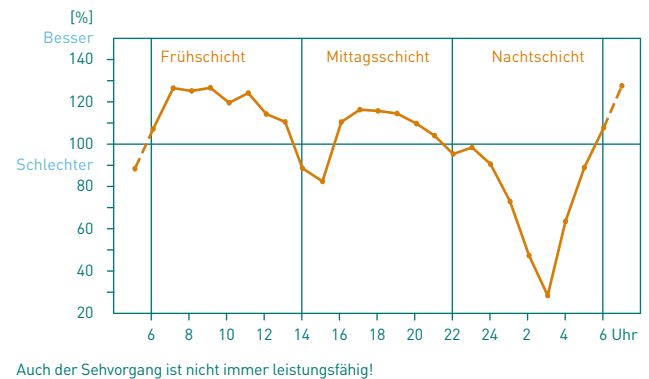
1.4 Licht und menschliche Psyche

Licht bestimmt die Rhythmen allen Lebens auf der Erde. Im Laufe der Evolution hat sich auch der Mensch an diese tages- und jahreszeitliche Organisation angepasst. Viele Körperfunktionen verlaufen zyklisch und werden vom Gehirn kontrolliert und gesteuert. Die sogenannte „innere Uhr“ synchronisiert über den Stoffwechsel den Organrhythmus mit der Umwelt nach Maßgabe des Tageslichtes. Das betrifft Schlaf- und Wachphasen, Herzfrequenz und Blutdruck, Atmung und Körpertemperatur, aber auch Stimmung und Wohlbefinden. Verantwortlich ist dafür der sogenannte suprachiasmatische Nucleus (SCN), der aus zwei reiskorngroßen Gehirnkernen besteht, die über der Kreuzung der beiden Sehnerven sitzen. Er aktiviert oder hemmt Enzyme, lässt Hormone produzieren oder blockieren, die für den Wechsel von Leistungsfähigkeit, Stimmung und Ruhephasen verantwortlich sind, z. B. Melatonin, Cortisol und Serotonin.

Die moderne Arbeitswelt hat sich immer mehr von den natürlichen Tag-Nacht-Rhythmen entfernt. Wir verbringen viel Zeit in Gebäuden. Viele Menschen arbeiten im Schichtbetrieb oder in fensterlosen Gebäuden, sehen vor allem in den dunklen Jahreszeiten kaum das Tageslicht. Das wirkt sich oft negativ auf den chronobiologischen Rhythmus aus und kann die Gesundheit und die psychische und physische Leistungsfähigkeit des Menschen beeinträchtigen. Besonders in Gegenden mit ausgeprägten Jahreszeiten sind die Menschen im Winter nervöser und schlechter gelaunt als im Sommer. Jeder zehnte Erwachsene in Deutschland leidet z. B. unter saisonal bedingter Depression, einer Art Lichtmangelercheinung. Im Laufe seines Lebens ändert sich zudem der Rhythmus des Menschen. Je älter der Mensch wird, desto weniger unterscheidet sein Körper zwischen Tag und Nacht. Auch die Leistungsfähigkeit des Menschen schwankt bekanntlich im Tagesverlauf mit dem Biorhythmus.

Lichtmangel bzw. schlechte Beleuchtung ist daher ein ernstes Problem vieler Industrienationen. Fehlt ausreichend Licht, entwickeln fünf bis zwanzig Prozent der Gesamtbevölkerung Mangelerscheinungen und Symptome wie verstärktes Schlafbedürfnis, fehlende Antriebskraft, Stimmungsschwankungen und Depressionen. Nur wenn ausreichend Licht in angemessener spektraler Zusammensetzung und Intensität vorhanden ist, funktionieren Vitalfunktionen und Denkprozesse so, dass sie sich ihrerseits wiederum positiv auf das psychische Wohlbefinden auswirken. Die richtige Bereitstellung einer angepassten, effektiven und dynamischen Beleuchtung ist daher eine grundlegende Bedingung für eine nachhaltige Optimierung von Arbeits- und Lebensprozessen vor allem unter dem Kriterium der Lebensqualität und dem Erhalt von Arbeitsproduktivität. Wenn wir schon mit Kunstlicht leben und arbeiten müssen, sollte dieses effizient und wirkungsvoll dosiert werden.

Tagesverlauf der Leistungsbereitschaft des Menschen



2. Beleuchtung von Arbeitsstätten

Dem Einsatz energieeffizienter Beleuchtungssysteme in Verbindung mit einer intelligenten Nutzung des Tageslichtes kommt in Arbeitsstätten eine zunehmend wichtigere Bedeutung zu. Die Gestaltung und Einrichtung von Beleuchtungssystemen ist sowohl unter ökologischen als auch ökonomischen Ansprüchen zu bedenken. Eine Anpassung der Lichtgüte an die jeweilige Sehaufgabe bedeutet beispielsweise, dass für die Warenpräsentation im Handel, etwa in einem Fachgeschäft für Stoffwaren, andere Parameter der Lichtgüte gelten als für Produktionsarbeitsstätten oder in einem Versicherungsbüro. Ist für den Konsumenten im Handel neben einer ausreichend guten Beleuchtung z. B. auch die Atmosphäre, das Ambiente usw. entscheidend, so müssen bei der Produktion in einer Werkstatt oder Industriehalle in umfangreicherem Maße auch ergonomische, sicherheits- und bautechnische Bedingungen mit in Betracht gezogen werden.

Gütemerkmale der Beleuchtung



Prioritäten setzen entsprechend Beleuchtungsaufgabe!



Damit Licht effektiv wirken kann, müssen die Beleuchtungssysteme den verschiedenen Anforderungen an das Sehen angepasst werden. Das heißt, dass Licht nicht nur am rechten Ort zur rechten Zeit in genügender Qualität und Intensität vorhanden sein muss, sondern dass darüber hinaus auch solche Kriterien wie harmonische Helligkeitsverteilung, Begrenzungen von Direkt- oder Reflexblendung, gute Kontrastwiedergabe, Lichteinfallrichtung, Lichtfarbe, Lichtatmosphäre und Fragen nach der Wirtschaftlichkeit in Einklang gebracht werden müssen. Die Güte der Beleuchtung wird mittels der Bevorzugung der für die jeweilige Lichtsituation wichtigsten Qualitätsmerkmale entsprechend der Beleuchtungsaufgabe gestaltet. Schließlich geht es ja darum, Leistungen zu steigern, Fehlerraten zu senken, die Sicherheit am Arbeitsplatz zu erhöhen und die Gesundheit der Menschen zu schonen oder auch die Empfindungen zielgerichtet zu beeinflussen. Dabei gilt: je komplexer die Sehaufgabe, desto höher sind die Anforderungen an die Güte der Beleuchtung.

2.1 Beleuchtungsaufgaben

Es wird von jedem Menschen bei der Ausübung seiner beruflichen Tätigkeit verlangt, konzentriert und effektiv zu arbeiten. Oft sind dabei die Augen eines der wichtigsten Werkzeuge. Beim Lesen, Schreiben, Steuern eines Fahrzeugs oder Bedienen einer Maschine, beim Kontrollieren, Vergleichen, Messen, Montieren, an der Kasse usw. – überall wird sogenannte qualifizierte Augenarbeit verlangt. Mit den Kenntnissen aus der Ergonomie ist es möglich, die Arbeit und die Arbeitsbedingungen an die menschlichen Leistungsfähigkeiten anzupassen. Die Auswirkung einer guten Beleuchtung mit Kunst- und Tageslicht auf weniger Ermüdung, Unfälle, Fehler und eine höhere Leistungsfähigkeit ist nicht nur monetär effektiver, sondern auch ressourcenschonend. Aus diesem Grunde bedarf es eines erweiterten Energieeffizienzkonzepts, das den unterschiedlichen Lichtbedarf mit ergonomischen Faktoren, Nachhaltigkeitskriterien und moderner Lichtplanung intelligent gegeneinander abwägt. Während in der Ergonomie Sehleistung, Erscheinungsbild, Sehkomfort, Vitalität und Individualität Kriterien für den Lichteinsatz sind, stehen bezüglich des ökonomisch effektiven Einsatzes Kriterien der Ökologie und Sparsamkeit bei Energieverbrauch und Wartung im Vordergrund.

Beleuchtungsaufgaben intelligent planen bedeutet, ausgereifte Varianten einer arbeitsbereichsbezogenen und tageslichtgesteuerten Indirekt-/Direkt-Beleuchtung anzuwenden, die einen gewissen Automatisierungsgrad aufweist und sich den Tageslicht- und Nutzungsbedingungen dynamisch anpasst. Dabei werden z. B. Vertikalanteile der Beleuchtung mit einbezogen, so dass sie ergonomisch gut verträglich ist. Wirtschaftlich sollen Beleuchtungsanlagen nicht nur bei der Herstellung und Installation sein, sondern auch im Betrieb bei Verbrauch, Wartung, der Lebensdauer der Anlagen sowie letztendlich bei der Entsorgung ökologisch vertretbar bleiben.

2.2 Beleuchtungsanforderungen und Richtlinien

Die Beleuchtung an Arbeitsorten unterliegt gesetzlich festgelegten Mindestanforderungen an die Güte der Beleuchtung mit Kunst- und Tageslicht. Diese werden aus ergonomischen, ökonomischen und ökologischen Vorgaben abgeleitet. In Richtlinien und Normen werden in der Regel Mindestanforderungen an die Güte des Lichtes für bestimmte Beleuchtungssituationen formuliert. Der jeweilige aktuelle Stand der Technik gibt vor, welche Mindestgüte einzuhalten ist.

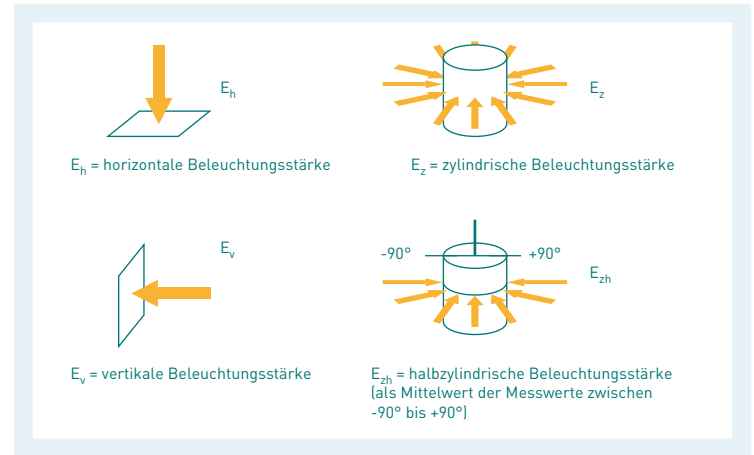
Ob ein Beleuchtungssystem mehrerer Leuchten diffus, indirekt oder direkt ausgerichtet wird, richtet sich nach der jeweiligen Arbeits- und Gestaltungsaufgabe. Die europäische Norm zur Beleuchtung von Arbeitsstätten DIN EN 12464 (Stand 2003/zuletzt geändert 2011) dient in Deutschland als Grundlage für weiterführende nationale Richtlinien. Sie formuliert drei Grundprinzipien zur Lichtanwendung:

1. die Nutzung von mehr natürlichem als künstlichem Licht: z. B. die Nutzung großer Fensterflächen mit verstellbarem Sonnenschutz und die Verlagerung von Arbeitsplätzen an die Fenster;
2. die Berücksichtigung der Güteeigenschaften der Beleuchtung: z. B. nach Beleuchtungsniveau, Leuchtdichteverteilung, Begrenzung der Beleuchtung, Lichtrichtung und Schattigkeit, Lichtfarbe und Farbwiedergabe, Flimmerfreiheit und
3. die Planung der Beleuchtung über Richtwerte der Beleuchtungsstärke und weiterer Güteermkmale: z. B. durch die Auswahl des Beleuchtungskonzeptes, der Beleuchtungsart, der Leuchten und Lampen mit angemessener Farbwiedergabe, der Festlegung der Anzahl und Anordnung der Leuchten im Raum und der Erstellung eines Wartungsplanes für die Anlage.

Zusätzlich zum allgemeinen Stand der Technik sind sogenannte allgemein anerkannte Regeln der Bautechnik rechtlich bindend anzuwenden. Manche Normen und Richtlinien werden indirekt über Gesetze wie z. B. im Arbeitsschutz zur Vorschrift. Andere Regeln, z. B. berufsgenossenschaftliche Regeln oder Vorschriften der Sachversicherer, sind für Mitglieder bzw. Versicherte verbindlich.

Wenn z. B. ein Unfall infolge schlechter Beleuchtung auftritt, hält die Rechtsprechung die Rangfolge ein: zuerst die geltenden europäischen Richtlinien und die Einhaltung der üblichen Mindestanforderungen – dann die nationale Pyramide der Gesetze und die Treppe der Instanzen. Somit sind in einem Streitfall Aktualität und Hierarchien zu beachten.

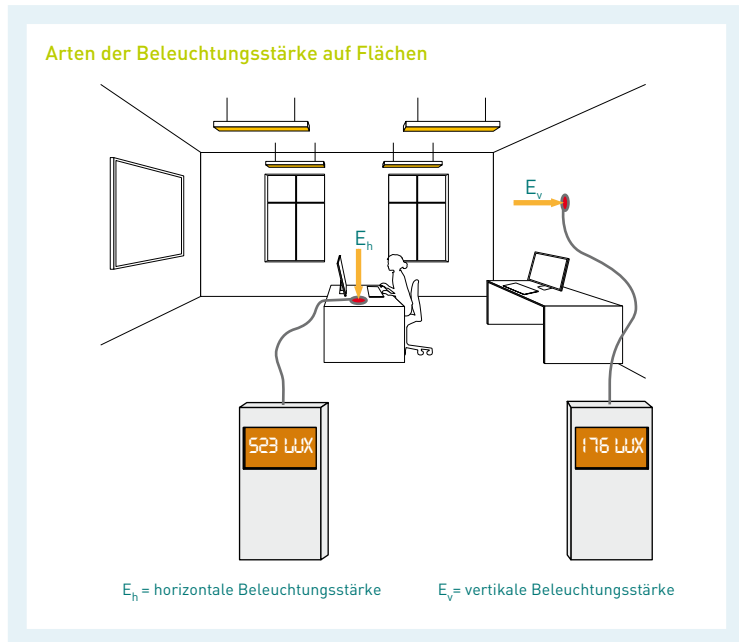
Betrachten wir die Sichtweise auf Anforderungen an die Güte der Beleuchtung in verschiedenen Bereichen:



Bereich Ergonomie

Das wesentliche Ziel ergonomischer, also arbeitswissenschaftlicher Richtlinien ist es, die Arbeitsbedingungen und Arbeitsgeräte für eine Arbeitsaufgabe so effektiv zu gestalten, dass das Arbeitsergebnis optimal wird und der arbeitende Mensch dabei so wenig wie möglich geschädigt wird. Es geht um fehlerfreies und gesundes Arbeiten. Es sind präventiv solche Arbeitssituationen herzustellen, dass sie die Arbeitssicherheit und Wirtschaftlichkeit bei humaner Arbeitsgestaltung ermöglichen.

Die Ergonomie unterscheidet im Allgemeinen zwischen einer Produktergonomie (micro ergonomics), die sich auf die Arbeitsmittelgestaltung konzentriert, und der Produktionsergonomie (macro ergonomics), die sich mit dem gesamten Ablauf des Produktionsprozesses befasst. Der Übergang zwischen beiden Teilgebieten ist jedoch fließend. Für die Arbeitsmittelgestaltung ist das Wissen um den Ablauf des Produktionsprozesses genauso wichtig wie umgekehrt beim Produktionsprozess die verwendeten Arbeitsmittel und -situationen. Es geht also sowohl um den Automatisierungsgrad einer Arbeitsaufgabe als auch um die Erfassung und Beschreibung der Bewegungsabläufe mit entsprechenden körperlichen und geistigen Anforderungen.



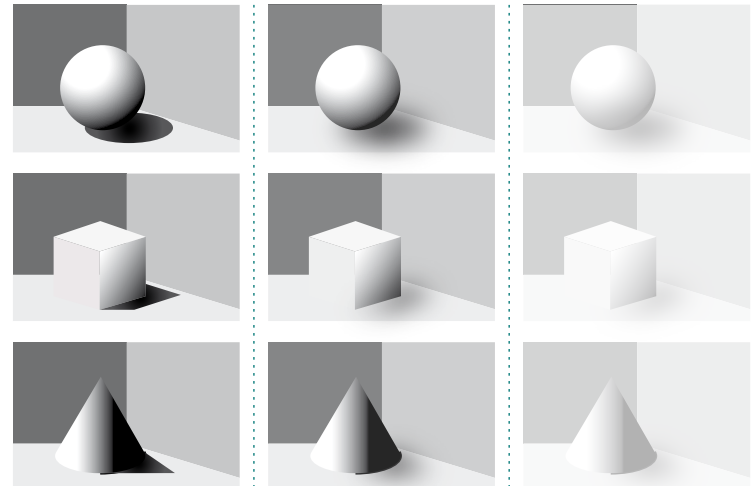
Darüber hinaus spielen Parameter wie Gebrauchstauglichkeit eine Rolle, die technische Systeme an die Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen anpasst. Auch technische und menschliche Zuverlässigkeitskriterien gehören mit in die ergonomische Betrachtung. Das sind vor allem kognitive Aspekte. Nicht zuletzt sollten alle Parameter zusammenspielen und in die Entwicklung ergonomischer Produkte und Produktionsprozesse einfließen.

Bereich Arbeitsschutz

Das deutsche Arbeitsschutzgesetz mit der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) und den beschreibenden Arbeitsstättenrichtlinien formuliert Mindestanforderungen an die Qualität der Beleuchtung von Arbeitsstätten. Gesetzlich verbindlich sind allgemein formulierte Schutzziele und Anforderungen, wie z. B. die Forderung einer Sichtverbindung nach außen für bestimmte Räume oder einer für Gesundheit und Arbeitsschutz angemessenen künstlichen Beleuchtung, von der keine Unfall- oder Gesundheitsgefahren ausgehen. Jeder Arbeitgeber muss auf der Basis einer Gefährdungsbeurteilung (§ 5 Arbeitsschutzgesetz) und anhand der neuesten Erkenntnisse aus Wissenschaft und Technik die konkreten Notwendigkeiten für eine gute Beleuchtung selbst ermitteln. Durch die Auswertung einer Gefährdungsanalyse der Arbeitsstätte können Schlussfolgerungen zur Lichtgestaltung aus ergonomischer Sicht für die Gestaltung mit Tages- und Kunstlicht gezogen werden.

Es sind nicht nur die Unfallschwerpunkte wie Hindernisse, Bodenebenheiten und Verkehrswege, die gut ausgeleuchtet werden müssen, sondern z. B. auch solche Bereiche, in denen – wie bei schnellrotierenden oder schwingenden Teilen – ein stroboskopischer Effekt auftritt. Dies kann bei der modernen Beleuchtungstechnik mit pulsweitenmoduliertem Betrieb zu Unfällen führen (z. B. bei LED- oder Entladungslampen möglich).

Neben der Vermeidung von Unfällen geht es im Bereich Arbeitsschutz aber auch darum, definierte Kriterien wie z. B. die korrekte Farbwiedergabe bei Not- und Sicherheitsbeleuchtungen einzuhalten. Der Arbeitgeber kann davon ausgehen, dass bei Anwendung der Arbeitsstättenrichtlinien (ASR 7/3 für die künstliche Beleuchtung) bzw. der berufsgenossenschaftlichen Regeln (BGR 131) die gesetzlichen Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung erfüllt sind. Bei der Beurteilung von Arbeitsplätzen und bei der Neuplanung von Beleuchtungsanlagen ist die DIN EN 12464-1 bzw. -2 anzuwenden.



gerichtetes Licht

- + ausgeprägte Schatten
- + starke Modellierung
- + betonte Formen und Oberflächenstrukturen
- Schlagschatten verdecken Details

Licht mit gerichteten und diffusen Anteilen

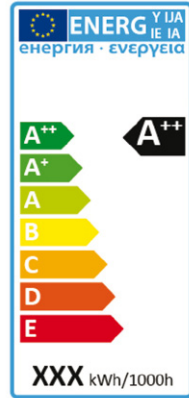
- + weich verlaufende Schatten
- + gute Formen und Oberflächenstruktur
- + keine störenden Schlagschatten

diffuses Licht

- + keine Schlagschatten
- + schwer erkennbare Formen und Oberflächenstrukturen

Bereich Ökologie/Umwelt

Ebenso wie ergonomische Kriterien sollen bei der Beleuchtung einer Arbeitsstätte auch ökologische Vorgaben in die Überlegungen eingehen. Lichttechnische Größen wie Lichtstrom, Lichtausbeute oder Beleuchtungsstärke und Leuchtdichteverteilung der Beleuchtung am Arbeitsplatz dienen der Untersuchung der vom menschlichen Auge erfassbaren Strahlung. Die Kenntnis der Eignung unterschiedlicher Lampentypen für unterschiedliche Zwecke ist daher Voraussetzung einer ökologischen wie ergonomischen Beleuchtungsqualität.



Die Lichtquellen werden ihrer Umwandlungsart entsprechend in chemische (z. B. Kerze, Gaslampe, Öllampe) und elektrische Energieumwandler unterschieden. Weiterhin differenziert man zwischen Festkörperstrahlern (z. B. Leuchtdioden), Temperaturstrahlern (z. B. Halogenleuchtstofflampen) und Entladungstrahlern (z. B. Leuchtstofflampen, Hochdruck-Halogenmetall-dampflampen). Aus der in das Lampensystem investierten Energie wird bei der Umwandlung sichtbares Licht erzeugt. Der Wirkungsgrad wird über die Lichtausbeute in Lumen pro Watt beschrieben, ist aber nicht das alleinige Unterscheidungskriterium.

Lichtquellen und Beleuchtungsanlagen sind je nach Zweck an die ökologischen Erfordernisse anzupassen und mit anderen Kriterien wie beispielsweise die erforderlichen Betriebseigenschaften abzugleichen. Das Wissen um die Verfügbarkeit verschiedenster Bauformen und Wirkungsgrade von Lampen in Leuchten bildet die Voraussetzung für ökologische, ergonomische und ökonomisch sinnvolle Gestaltung von Arbeitsplätzen.

Ein weiterer ökologischer Ansatz ist bei der späteren Entsorgung der Technik gegeben. Zu beachten sind hier die WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment)-Richtlinie, gültig für Elektro- und Elektronik-Altgeräte und die RoHS (Restriction of Hazardous Substances)-Richtlinie, gültig für die Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten.

Weiterhin gilt die Ökodesign- bzw. ErP-Richtlinie (Richtlinie 2009/125/EG Eco-Design Requirements for energy-related products) zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte. Das betrifft vor allem die nach den entsprechenden Durchführungsverordnungen zur Beleuchtung zugelassene Auswahl passender Lichtquellen, Vorschaltgeräte und Leuchten.

Die untere Wahrnehmungsgrenze des Auges (an Dunkelheit adaptiert) liegt bei einer Beleuchtungsstärke von ca. 0,0001 Lux.

natürliche Beleuchtungssituationen	Beleuchtungsstärke
Auge (dunkeladaptiert – untere Wahrnehmungsgrenze)	ca. 10^{-4} lx
direkte Sommersonne (Mitteleuropa)	ca. 60.000–100.000 lx
Sonniger Himmel/im Schatten	ca. 2.000–10.000 lx
Sonnenlicht im Winter	ca. 10.000 lx
Bedeckter Himmel im Sommer	ca. 5.000–20.000 lx
Bedeckter Himmel im Winter	ca. 1.000–3.000 lx
Nachts bei Vollmond	ca. 0,1–0,25 lx
Mondlose sternenklare Nacht (Neumond)	ca. 0,01–0,0003 lx
künstliche Beleuchtungssituationen	Beleuchtungsstärke
Straßenbeleuchtung (Fußgängerzone 5–100 lx)	ca. 2–20 lx
Wohnraumbeleuchtung normal	ca. 20–100 lx
1 m Abstand zur 100 W Glühlampe	ca. 100 lx
Normale Arbeitsplatzbeleuchtung	200–750 lx
Angenehme Arbeitsplatzbeleuchtung	500–1.000 lx
Operationsfeldbeleuchtung (Medizin)	20.000–120.000 lx

Bereich Baurecht

Für die Ausstattung eines Büros, eines Ladens oder einer Produktionsstätte mit Beleuchtungsanlagen gelten baurechtliche Vorgaben, wie sie in entsprechenden Richtlinien dokumentiert sind.

Besonders im Anfangsstadium eines Bauvorhabens können durch einen minimalen Aufwand für Beratungsleistungen durch Fachplaner gravierende Fehler und finanzielle Nachteile auch in Bezug auf die Beleuchtungsanlage vermieden werden.

Nach der seit 1. Oktober 2009 geltenden Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 müssen bedarfsorientierte Nachweise für Nichtwohngebäude gemäß DIN V 18599 erstellt werden. Die Bewertung der energetischen Gesamtbilanz erfolgt anhand des Primärenergiebedarfs eines Gebäudes, der als Maßzahl im Energieausweis verwendet wird. Dieser Ausweis wiederum bildet die Grundlage für die Erteilung einer Baugenehmigung. Neben der Bauphysik wird auch die gesamte Anlagentechnik, also auch die Beleuchtungsanlage, in die Berechnung mit einbezogen.

Doch auch andere Richtlinien enthalten baurechtliche Hinweise zur Beleuchtung, wie z. B.

ARGEBAU	Mustervorschriften der Arbeitsgemeinschaft für Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen
UVV	Unfallverhütungsvorschriften
MLAR	Muster-Richtlinien über brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen
LBO	Landesbauordnung
VO	Verordnung der Bundesländer
EltBauVO	Verordnung über elektrische Betriebsräume
VwV-Ltg.	Brand- und Schutzanforderungen an Leitungen
VstattVO	Versammlungsstättenverordnung
GHVO	Geschäftshausverordnung
GaVO	Garagenverordnung

Bereich Ökonomie

Hinsichtlich einer ökonomischen Beleuchtung von Arbeitsstätten gilt es, unterschiedliche Parameter in den Blick zu nehmen. Die Betriebskosten einer Beleuchtungsanlage machen in der Regel rund 90 Prozent aller Kosten in einem Lebenszyklus aus. So sind neben den Investitionskosten auch die Wartung, der wirtschaftliche Betrieb der Lampen und Leuchten und das spätere Recycling in Betracht zu ziehen. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist vor allem die Produkthanwendung unter Einsatz effizienter wartungsarmer Leuchten, einer intelligenten Steuerung und einer möglichst automatisierten Tageslichtnutzung zu optimieren. Dabei dürfen Attraktivitätskriterien, die durch möglichst helle Räume erzeugt werden, nicht im Widerspruch zu Nachhaltigkeitskriterien stehen, die mit einer Energieeinsparung einhergehen.

		Ökonomie		
		Geringere Energiekosten		
Ökologie		Geringere Lampenkosten	Ergonomie	
Energieeinsparung		Geringere Lampenwechselkosten		Hoher Sehkomfort
Rohstoffschonung durch lange Lebensdauer der Lampen und Betriebsgeräte		Lange Gerätelebensdauer		Flimmer- und flackerfreies Licht
		Geringere Klimatisierungskosten		Bedarfsgerechtes Licht
Weniger Abfall		Bessere Arbeitsbedingungen		Wohlbefinden der Menschen

3. Grundlagen der Lichttechnik

Bei der Beleuchtung von Arbeitsstätten in der Produktion, im Handel und in der Verwaltung werden heutzutage unterschiedlichste Licht- und Beleuchtungssysteme eingesetzt. Das hier relevante Grundlagenwissen soll im Folgenden kurz und übersichtlich zusammengefasst werden.

Neben dem flexiblen und möglichst automatisierten Einsatz von Tageslicht ist künstliches Licht eine unverzichtbare Größe für die Beleuchtung von Arbeitsstätten geworden. Voraussetzung für eine möglichst hohe Effizienz ist der sachgemäße Einsatz von Lampen und Technik in den passenden Leuchten, denn nur die genaue Abstimmung aufeinander führt zu den gewünschten Effekten. Während elektrische Lampen Leuchtmittel sind, die der Umwandlung von elektrischer Energie in sichtbare Strahlung dienen, bezeichnet man als Leuchte den ganzen Beleuchtungskörper mit dem optischen System und der Technik, d. h. alle für die Befestigung, den Schutz und den Leuchtenbetrieb erforderlichen Bauteile.

In der Beleuchtungstechnik wird zur Bewertung und Planung das Licht vor allem mit den vier lichttechnischen Grundgrößen Lichtstrom, Lichtstärke, Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte beschrieben.

Der **Lichtstrom** in Lumen ist eine Leistungsgröße und beschreibt die Abgabe von sichtbarer Strahlung einer Lichtquelle. Man kann über die Lichtausbeute in Lumen pro Watt beispielweise Lichtquellen mit Bezug auf ihre Strahlungsabgabe im sichtbaren Bereich miteinander vergleichen.

Die **Lichtstärke** in Candela beschreibt das entlang einer gedachten Linie fließende Licht. Mit Lichtstärkeverteilungskurven kann man die Ausstrahlungscharakteristik von Leuchten beschreiben.

Die **Beleuchtungsstärke** in Lux beschreibt, wie viel Licht auf eine Fläche oder einen Punkt auftrifft. Sie ist unter Näherung einfach berechenbar und wird oft zur Beschreibung bestimmter Helligkeitswerte herangezogen.

Die **Leuchtdichte** in Candela pro Quadratmeter stellt die Helligkeiten von leuchtenden oder beleuchteten Oberflächen dar, die in Richtung eines Beobachters wirken.

Kriterien der Lampenauswahl

Funktion

- Lampengeometrie und -abmessungen
- Lichtstromeinheit, Leistungsaufnahme
- Lichtfarbe
- Farbwiedergabeeigenschaften

Wirtschaftlichkeit

- Lichtausbeute
- Lebensdauer
- Anschaffungskosten

Betriebstechnik

- Umgebungsbedingungen (z.B. Temperatur)
- Zündverhalten (z.B. bei bestimmten Umgebungstemperaturen)
- Anlaufverhalten der elektrischen und lichttechnischen Größen
- Einfluss der Schalzhäufigkeit
- Wiederzündverhalten nach Spannungsunterbrechung
- Dimm-Möglichkeit
- Lampenflimmern, Vermeidung des Stroboskopeffekts
- Umgebungsbeeinflussung (Strahlung)

Lampe = technische Ausführungsform künstlicher Lichtquellen (Leuchtmittel). Elektrische Lampen dienen der Umwandlung von elektrischer Energie in sichtbare Strahlung.



Als **Leuchte** bezeichnet man den ganzen Beleuchtungskörper, der alle für die Befestigung, den Schutz und den Betrieb erforderlichen Bauteile umfasst und das Licht der Lampe verteilt.

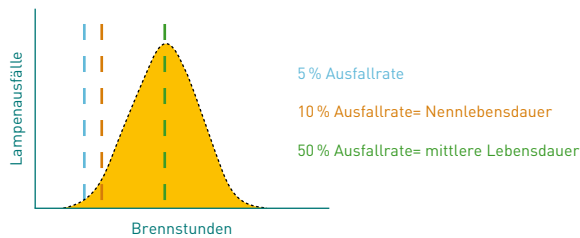


3.1 Eigenschaften von Lichtquellen

Künstliche Lichtquellen, also Leuchtmittel oder Lampen, haben unterschiedliche Eigenschaften. Die wichtigsten sind:

- Lichtstrom [lm],
- Lichtausbeute [lm/W],
- Farbeigenschaften des Lichts (Farbtemperatur [Tc], Farbwiedergabeindex [Ra]),
- Lampenlebensdauer und Lichtstromrückgang,
- Lampenabmessungen und Leuchtfläche,
- Sockel,
- Lichtverteilung und optisches System der Lampe.

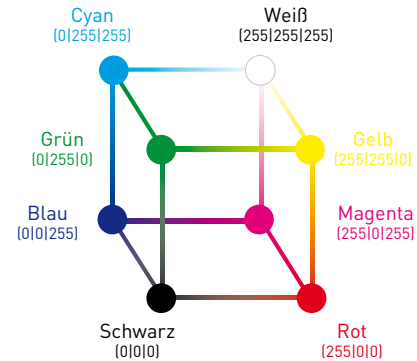
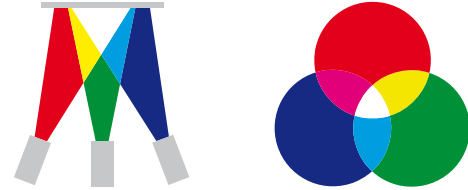
Arten der Lebensdauerangaben für Lampen



Eine Erläuterung zu den verwendeten Definitionen finden Sie im Glossar.
 DIN EN 12464-1, DIN EN 12665 und CIE

Licht mischt sich additiv - das RGB-Farbmodell

Beim RGB-Farbmodell (RGB = Rot, Grün, Blau) werden sämtliche Farben des RGB-Farbraumes aus den drei Grundfarben Rot, Grün und Blau (RGB) additiv zusammengesetzt.



Weiß = eine Überlagerung von verschiedenen Grundfarben im Bereich der sichtbaren Strahlung

Auch sind die Notwendigkeit von Vorschalt- und Zündgeräten, bestimmte Anlauf- und Wiedereigenschaften, die Dimmbarkeit, das Temperaturverhalten, die Brennstellung sowie Umweltaspekte wie Schadstoffgehalt und letztendlich auch die Kosten bei Investition, Betrieb und Entsorgung zu berücksichtigen.

Um Lampen vergleichbar darzustellen, wurden allgemein beschreibende Bezeichnungssysteme veröffentlicht. Gebräuchlich sind in Deutschland das Lampenbezeichnungssystem LBS des ZVEI (Zentralverband der Elektroindustrie) und das internationale Bezeichnungssystem ILCOS. Details dazu findet man in der Regel in den Katalogunterlagen der größeren Hersteller.

Lichtquelle	Lichtausbeute [lm/W]	übliche Lebensdauer [h]	Spektrum und Farbwiedergabe	Vorschaltgerät/ Regelbarkeit	Einsatzbereiche
Kerze, Öllampe	0,2	wenige	kontinuierlich, ww, 100	–	nur für Ambiente
Allgebrauchsglühlampe	10–15	1.000	kontinuierlich, ww, 100	dimmbar	nur Sonderanwendungen in kleinen Leistungen wie Backofen
Halogenglühlampe	20–25	2.000	kontinuierlich, ww, 100	dimmbar	für Akzentuierung
Leuchtstofflampe mit VVG	80	8.000	diskontinuierlich, ww, nw, tw, von 60–90	VVG, Nicht dimmbar	in extremen Temperaturbereichen
Leuchtstofflampe mit EVG	bis 100	12.000 und mehr	diskontinuierlich, ww, nw, tw, von 60–90	EVG dimmbar von 3-100%	allgemeine wirtschaftliche Beleuchtung in allen Bereichen
Kompaktleuchtstofflampe (Energiesparlampe) mit integrierten EVG	bis 70	8.000	diskontinuierlich, ww, nw, tw, von 60–90	integriertes und externes EVG, manchmal begrenzt dimmbar	Akzentuierung, kleine Räume
Quecksilberdampf-Hochdrucklampe	30–60	10.000	diskontinuierlich, ww, nw, tw, von 45–60	Vorschaltgerät, nicht dimmbar	zu ineffizient und zu schlechte Farbwiedergabe, nicht mehr einsetzbar
Halogenmetaldampflampe	80–120	10.000	diskontinuierlich, ww, nw, tw, von 60–95	Vorschaltgerät, Zündgerät teilweise dimmbar	für Anstrahlungen und große Räume/Hallen
Na-Hochdrucklampe	70–140	12.000	diskontinuierlich, ww, nw, von 20–80	Vorschaltgerät, Zündgerät dimmbar	für Anstrahlungen und große Räume/Hallen, wegen gelber Lichtfarbe nicht überall geeignet
LED* (Hochleistungssystem)	ab 100	bis 50.000	diskontinuierlich, ww, nw, tw, von 80–95	Vorschaltgerät, gut schalt- und dimmbar	für nahezu alle Bereiche
OLED* (weiß)	ab 40	6.000	diskontinuierlich ww, nw, tw von 60–80	Vorschaltgerät, gut schalt- und dimmbar	wie LED, in der Herstellung noch kostenintensiv

Dreistellige Abkürzung zur Bezeichnung der Farbwiedergabe und Farbtemperatur

Die dreistellige, nicht genormte Abkürzung xyy mit x = Maß für die Farbwiedergabe (Color Rendering Index, CRI; alt: Ra) und yy = Maß für die Farbtemperatur (T_{cp}) ist wie folgt zu verstehen: Die Farbwiedergabe der Lampe wird durch 10 geteilt und die erhaltene Zahl wird auf eine ganze Zahl gerundet. Höchster Wert: 9. Oder umgekehrt: wenn der Hersteller in der Abkürzung den Wert „9“ angibt, impliziert dies einen CRI-Bemessungswert von 90. Einschlägige Normen (z. B. DIN EN 60081) lassen hier Toleranzen zu:

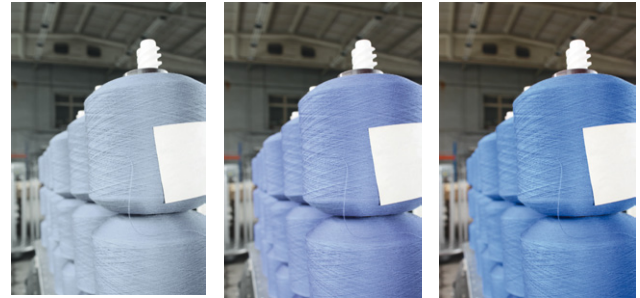
- 9: 87...100
- 8: 77...86
- 7: 67...76 usw.

Die Farbtemperatur der Lampe wird durch 100 geteilt und die erhaltene Zahl wird auf eine ganze Zahl gerundet (vgl. auch DIN EN 61231). Demnach bedeutet

- 65: 6.450 K ... 6.549 K
- 54: 5.350 K ... 5.449 K
- 50: 4.950 K ... 5.049 K usw.

Das Berechnungsverfahren gilt für Farbtemperaturen < 10.000 K.
Beispiel: 954 = Farbwiedergabe 90 (= 87 ... 100), Farbtemperatur 5.400 K (= 5.350 K ... 5.449 K)

Farbwiedergabe auf gewickeltem Nähgarn mit unterschiedlichen Leuchtmitteln

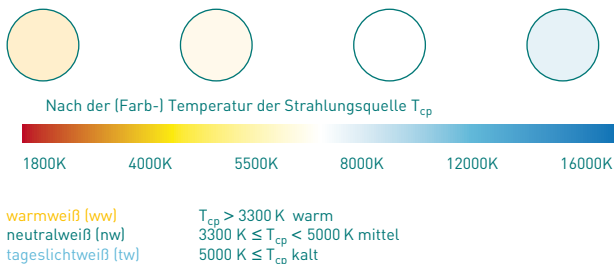


Leuchtstofflampe mit schlechter Farbwiedergabe
CRI = 60

Leuchtstofflampe mit besserer Farbwiedergabe
CRI = 80

Hochleistungs-LED mit bester Farbwiedergabe
CRI = 95

Nach welchem Kriterium kann man weißes Licht unterscheiden?



3.2 Lampenarten

Gebräuchliche Lampen sind je nach Beleuchtungsaufgabe mit verschiedenen technischen Eigenschaften ausgestattet. Die Kenntnis der verschiedenen Arten der Lichterzeugung bei modernen Lampen trägt dazu bei, Beleuchtungsaufgaben optimaler und nachhaltiger zu lösen und die passende Lichtquelle auszuwählen.

Drei Arten von Lichterzeugung sind zu unterscheiden:

- Temperaturstrahler (z. B. Glühlampen oder Halogenglühlampen),
- Entladungslampen (z. B. Leuchtstofflampen, Energiesparlampen, Halogenmetaldampflampen, Natriumdampf-Hochdrucklampen) und
- Lumineszenzstrahler (z. B. LED, organische Leuchtdioden sog. OLEDs).



Halogenlampe mit Quarz-Noppen-Technologie

Während die Lichterzeugung beim Temperaturstrahler durch das Erhitzen eines Drahtes (Wolframwendel) in einem abgeschlossenen Glasvolumen erfolgt, so wird Licht bei der Entladungslampe durch eine Gasentladung erzeugt, das in einem Brennergefäß zwischen zwei Elektroden nach der Zündung entsteht. Das Gas wird dabei durch Ladungsträger angeregt, Strahlung abzugeben. Bei lichtemittierenden Dioden (LED) findet die Lichterzeugung hingegen nach Anlegen einer Spannung durch Elektronenübergänge zwischen Energieniveaus an unterschiedlichen Halbleiterschichten statt.

Viele Lichtquellen benötigen für den Betrieb an den jeweiligen Lampentyp angepasste Vorschaltgeräte. Die drei unterschiedlichen Arten, Licht zu erzeugen, haben Auswirkungen auf nahezu alle technischen und wirtschaftlichen Parameter. So erreichen z. B. moderne optimierte Halogenglühlampen auch höhere Energieeffizienzklassen als ihre Vorläufer, bekommen aber aufgrund ganz neuer Lichtgestaltungsmöglichkeiten Konkurrenz durch die Weiterentwicklung der anderen Lichtarten (z. B. von Halogenmetaldampf-Hochdrucklampen oder von LEDs).



LED-Kerzenlampe
© OSRAM

Für weißes Licht zur Raumbelichtung und Anstrahlung sind moderne LED-Systeme oft schon besser als Systeme mit Kompaktleuchtstofflampen. Im Bereich des farbigen Lichts punktet die LED-Technik mit der direkten Erzeugung gewünschter Spektralfarben, während andere Lichtquellen nicht benötigte Spektralbereiche beim Filtern in Wärme verwandeln.



LED-Lampe Parathom Classic A 75

Arten der Lichterzeugung und Eigenschaften

Lichtquellen ————— Sonne/Sterne

technische Lichtquellen

Festkörperlampen

Entladungslampen

Temperaturstrahlung

Lumineszenz

Bogenentladung

Glimmentladung

mit chemischer Energieerzeugung
Verbrennungslampen, z.B.:
Kienspan, Kerze, Öl, Blitzlampen,
Gaslicht, Fackel, Petroleum

mit elektrischer Energieerzeugung

Elektrolumineszenz, LED,
OLED, Laserdiode, Halbleiter-,
Isotopenlampe, Photo-,
Radio-, Chemo-, Bio-, Tribo-,
Lumineszenz

offen brennend
z.B.:
Bogen
Beckbogen

mit lichtdurchlässigem Kolben

Glimmlampen ohne positive Säule
(Anzeigelampen)

Glimmlampen mit positiver Reinkohle-Kathodenlampe,
(Hg-, Ne-, Ar-, He Leuchtröhren)



Glühlampen

gasgefüllte Glühlampen

Vakuumlampen

ohne Halogen

mit Halogen



Induktionlampe
(Niederdruckentladung durch Hochfrequenz-Induktionsfeld)

Hochdruckentladung (elektrodenstabilisiert) z.B.:
Hg-/Na-Hochdrucklampen, Halogen-Metaldampflampe

Niederdruckentladung (wandstabilisiert) z.B.:
Natrium-Niederdrucklampen, Leuchtstofflampen, UV-Strahler



kontinuierliches Spektrum

verschiedene Spektren,
meist diskontinuierlich



Spektrallampen (diskontinuierlich)

Übersicht Lampentypen

Temperaturstrahler – z. B. Glühlampen, Halogenglühlampen

Die Lichterzeugung erfolgt durch Erhitzen eines Drahtes (Wolframwendel) in einem abgeschlossenen Gasvolumen. Durch Materialerwärmung (Glühdraht in Glühlampen) wird u. a. auch Licht als kontinuierliches Spektrum mit erhöhtem Rotanteil abgegeben. Das Maximum des Gesamtspektrums liegt im Infrarot-Bereich. Die Farbwiedergabe liegt bei 100 Prozent, da alle Farben enthalten sind. Die Halogenglühlampe ermöglicht heißere Drähte und damit ein weißeres brillanteres Lichtspektrum mit etwas mehr Blauanteil. Optimierte Halogenglühlampen erreichen höhere Energieeffizienzklassen.

Eigenschaften von Temperaturstrahlern

- + gute Lichtfarbe
- + gute Farbwiedergabe, kontinuierliches Spektrum
- + geringe Abmessungen
- + gute Temperaturstabilität
- + gute Farbwiedergabe (Vollspektrum)
- + leicht dimmbar (ohmsche Last), mit Spektralverschiebung zu rot
- geringe Effizienz
- relativ geringe Lebensdauer (meist unter 2.000 h)



Shop-Verkaufsraum in modernem Licht

Entladungslampen – z. B. Leuchtstofflampen, Energiesparlampen, Halogenmetaldampf – oder Natriumdampf-Hochdrucklampen usw. Die Lichterzeugung erfolgt in Entladungslampen durch eine Gasentladung, die in einem Brennergefäß zwischen zwei Elektroden nach der Zündung entsteht. Das Gas wird durch Ladungsträger angeregt, Strahlung abzugeben. Je nach Prinzip und aktivem Gas liegt diese Strahlung im sichtbaren Bereich oder auch im UV-Bereich. UV-Strahlung kann mit Leuchtstoffen über Fluoreszenz/Lumineszenz in sichtbares Licht umgewandelt werden. Aufgrund des Fülldrucks wird zwischen Hochdruck- und Niederdruckentladungslampen unterschieden. Entladungslampen benötigen zum Betrieb Vorschaltgeräte.

Eigenschaften von Entladungslampen

- + hohe Effizienz
- + hohe Lebensdauer (meist >10.000 h)
- + gute Lichtfarbe (kann entsprechend Gaszusammensetzung oder Leuchtstoff gewählt werden)
- +/- ausreichende Farbwiedergabe, diskontinuierliche Spektren
- +/- zum Teil große Abmessungen
- temperaturabhängig (Einfluss auf Leistung und Lebensdauer)
- je nach Type spezielle Vorschalt- und Zündgeräte erforderlich
- eingeschränkt bzw. auch nicht dimmbar



Produktionshalle mit Leuchtstoffröhren

Lumineszenzstrahler – LED, OLED

Bei Halbleiterdioden findet die Lichterzeugung nach Anlegen einer Vorwärtsspannung durch Elektronenübergänge zwischen unterschiedlichen Energieniveaus statt. In Abhängigkeit vom halbleitenden Material wird Licht in verschiedenen spektralen Farben erzeugt. Es werden je Übergang nur schmale Spektrallinien emittiert, die auch im sichtbaren Bereich liegen können.

Eigenschaften von Lumineszenzstrahlern

- + ausreichende Effizienz, als farbiges Licht sehr hohe Effizienz
- + sehr hohe Lebensdauer (meist über 20.000 h je nach Type)
- + farbiges Licht (schmalbandiges Spektrum)
- + sehr kleine Abmessung (LED)
- + Flächenlicht mit OLED, Punktlicht mit LED

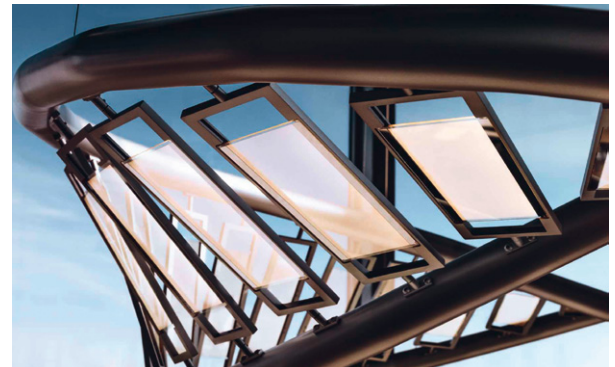
Weißes Licht wird heute meist mit blauen LEDs und einem gelben möglichst breitbandigen Leuchtstoff erzielt. Farbige LED-Anwendungen sind wesentlich effizienter als andere Lichtquellen mit Farbfiltern. Die Weiterentwicklung von OLED lässt ganz neue Lichtgestaltungen mit flächigem Licht erwarten.

OLED (Organic Light Emitting Diode): Diese Lichtquelle besteht im Gegensatz zur anorganischen LED aus einer organischen halbleitenden Dünnschicht. Allerdings sind die Leuchtdichte und auch die Lebensdauer noch gering.

- je nach Type sind spezielle Vorschaltgeräte (Treiber) erforderlich
- nur eingeschränkt dimmbar (spezielle Treiber notwendig)
- ausreichende Farbwiedergabe nur durch Farbmischung, weißes Licht über Leuchtstoffe
- temperaturabhängig, Kühlung und Feuchteschutz müssen optimiert sein
- Blendgefahr bei zu hohen Leuchtdichten am Lichtpunkt



LED-Beleuchtung im äußeren Tankstellenbereich



OLEDs, Designerleuchte „Rollercoaster“ von OSRAM

3.3 Leuchtenarten

Leuchten konzentrieren, verteilen und filtern das Licht gezielt im Raum und enthalten über das Lampensystem hinaus auch die Vorschaltgeräte, das elektronische und sicherheitstechnische Zubehör sowie die optische Ausstattung. Die Auswahl der angemessenen Leuchte für eine bestimmte Arbeitsstätte ergibt sich aus der Beleuchtungsaufgabe.

Daher müssen Verwendungszweck (z. B. Produktion oder Verwaltung) und lichttechnische Eigenschaften (z. B. Lichtverteilung), aber auch die Art der Montage (z. B. Einbau-, Anbau- oder Hängeleuchte), die Bauart und die Art der Lampe, die mechanischen (z. B. Splitterenschutz) und die elektronischen Eigenschaften (z. B. Vorschaltgeräte, Dimmbarkeit) erfasst werden.

Leuchten werden nach Merkmalen und Funktionen eingeteilt. Bei der optischen Lichtverteilung kommen verschiedene Methoden zum Einsatz, z. B. Reflektoren, Refraktoren und Linsen, diffuse Abdeckungen, Filter oder Lamellen. Es wird außerdem zwischen reflektierenden und lichtdurchlässigen Werkstoffen unterschieden. Durch den Einsatz von verlustarmen Reflektoren bei Leuchten mit herkömmlichen Lampen kann beträchtlich Energie gespart werden. Es sind auch mechanische Schutz- und elektrische Sicherheitsvorkehrungen bei der Installation zu treffen.

Für eine effiziente, nachhaltige Beleuchtung müssen demnach die Beleuchtungsaufgabe, die Raumgestaltung, die Umgebungsbedingungen und die Leuchtauswahl mit Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit von Lampensystemen in Übereinstimmung gebracht werden.

Leuchtauswahlprinzipien

Art und Anzahl der Lampen/Bauart

- Offene/geschlossene Leuchten, Leuchtenabdeckung
- Schutzart IP
- Schutzklasse SK

Lichtverteilung/Blendungsbegrenzung

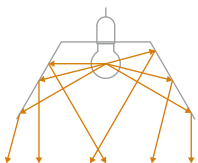
- realisiert durch Art des Reflektors und der Leuchtenabdeckung
- weißer Reflektor, weißes Raster, Spiegelraster
- Spiegelreflektor/Opalwanne, Prismenwanne
- Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB}

Montageart

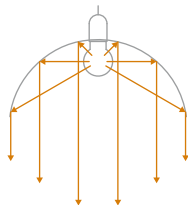
- Einbauleuchten, Anbauleuchten, angehängte Leuchten, Stehleuchten, Arbeitsplatzleuchten (fest oder ortsveränderlich)

Gestalterische Aspekte (Design)

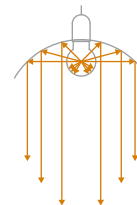
Beispiele Lichtverteilung – Reflektortypen



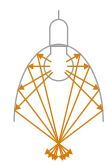
Ebener Reflektor



Parabolischer Reflektor



Kombination von sphärischem und parabolischem Reflektor



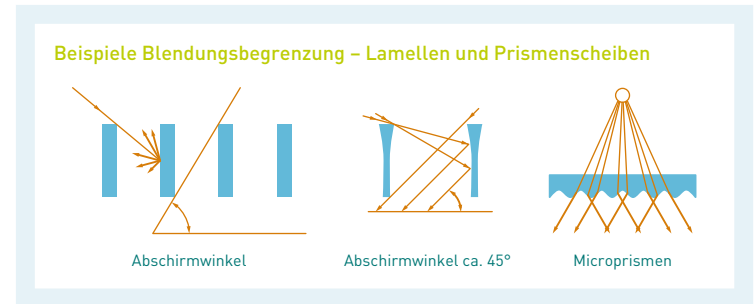
Elliptischer Reflektor

Leuchtenfunktionen

Die Leuchte...

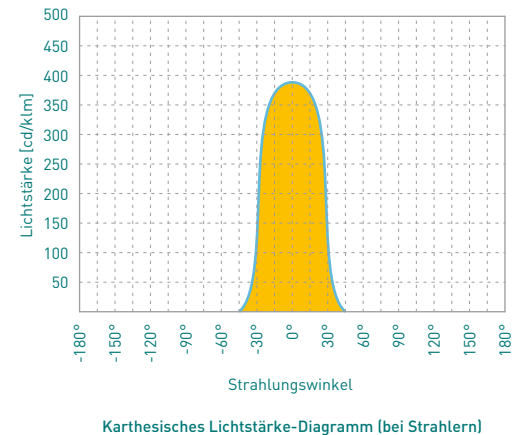
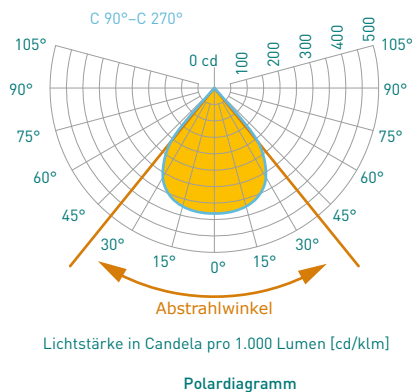
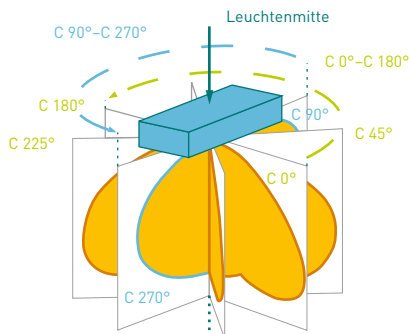
- enthält Lampe(n);
- enthält Vorschaltgerät(e);
- verteilt Energie zu den Lampen;
- kontrolliert die Lampentemperatur;
- verteilt Licht;
- erfüllt dekorative Funktionen und
- gewährleistet eine sichere und leichte Installation und Wartung.

Lamellen und Prismen in Leuchten schützen vor direktem Licht und Blendung.



Die Lichtstärkeverteilungskurve einer Leuchte wird schrittweise für jeden Winkel in mehreren Ebenen gemessen, meist auf 1000 lm normiert. Sie wird in Polarkoordinaten visualisiert, indem die Lichtstärke-Endpunkte zur Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) verbunden werden. An der LVK können Form und Symmetrie der Lichtstärkeverteilung abgelesen werden. Wichtigste Unterscheidungen sind tief- oder breitstrahlende sowie symmetrisch oder asymmetrisch strahlende Leuchten. LVKs sind Grundlage für die Planung der Beleuchtung in Innen- und Außenbereichen (Quelle: licht.de).

Lichtstärkeverteilungskurve



3.4 Effizienz von Vorschaltgeräten

Zum Betreiben vieler moderner Lichtquellen sind Vorschaltgeräte erforderlich. Im Betrieb von Lampe und Vorschaltgerät wird je nach Bauart auch vom Vorschaltgerät mehr oder weniger Energie benötigt. Vorschaltgeräte sind nach dem europaweit gültigen Energieeffizienz-Index (EEI) in sieben Klassen eingeteilt:

A1	Dimmbare elektronische Vorschaltgeräte (EVG)
A2	Elektronische Vorschaltgeräte (EVG) mit reduzierten Verlusten
A3	Elektronische Vorschaltgeräte (EVG)
B1	Magnetische Vorschaltgeräte mit sehr geringen Verlusten (VVG)
B2	Magnetische Vorschaltgeräte mit geringen Verlusten (VVG)
C	Magnetische Vorschaltgeräte mit moderaten Verlusten (KVG)
D	Magnetische Vorschaltgeräte mit sehr hohen Verlusten (KVG)

Allgemein wird zwischen (magnetisch) konventionellen, verlustarmen und elektronischen Typen unterschieden. Letztere sind in der Anschaffung etwas teurer, haben aber eine höhere Effizienz. Die Lebensdauer der Lampen wird mit elektronischen Vorschaltgeräten in der Regel um einige tausend Stunden verlängert. Vor allem bei Leuchtstofflampen beeinflusst die Wahl des Vorschaltgerätes die gesamte Systemleistung und damit den Energieverbrauch sowie die Lebensdauer der Lampe.

Elektronische Transformatoren für Niedervolt-Halogenglühlampen benötigen weniger Energie, sind oft dimmbar und versorgen die angeschlossenen Lampen mit stabilerer Spannung als andere Systeme; sie sind dafür aber wie alle elektronischen Bauteile temperaturempfindlicher.

Für den Betrieb von Gasentladungslampen werden Vorschaltgeräte und manchmal auch Zündgeräte gebraucht. Sie starten die Entladung und dienen dann zur Regulierung der Stromzufuhr.

LED-Systeme hingegen benötigen genau an die zu versorgenden LEDs angepasste Netzteile und Treiber. Zur Dimmung wird am häufigsten die kostengünstige Pulsweitenmodulation als elektronische Schaltung eingesetzt.

Die Systemleistung einer Leuchte setzt sich aus der Lampenleistung und der Verlustleistung des Vorschaltgerätes zusammen. Für Vergleiche der Leistungsaufnahme und der Lichtausbeute einer Leuchte ist immer die Leistung des Gesamtsystems und der Wirkungsgrad der Leuchte zu berücksichtigen.

Leuchtstofflampen (Nennleistung 58 Watt, Länge 1.500 mm): Leistungsaufnahme mit Vorschaltgerät (VG)

Konventionelles Vorschaltgerät (KVG) Drosselspule aus Kupfer/Eisen



Leistungen im System

Lampe: 80 % 58 Watt	VG: 20 % 13 Watt
System: 71 Watt	

Verlustarmes Vorschaltgerät (VVG) Drosselspule mit weniger bzw. dickerem Kupferdraht/besserem Eisen



Leistungen im System

Lampe: 85 % 58 Watt	VG: 15 % 8 Watt
System: 66 Watt	

Elektronisches Vorschaltgerät (EVG) Frequenzwandler und Filter



Leistungen im System

Lampe: 90 % 50 Watt	VG: 10 % 5 Watt
System: 55 Watt	

Konventionelle verlustarme Vorschaltgeräte VVG

- + temperaturstabil auch bei extremen Temperaturen
- + geringe Anschaffungskosten
- + netzstabil bei Spannungsschwankungen
- + lange Lebensdauer
- ohne zusätzlichen Aufwand nicht dimmbar
- höherer Energieverbrauch
- Starterbetrieb z. B. bei Leuchtstofflampen (Flackern beim Start)
- bei häufigem Schalten altert die Lampe

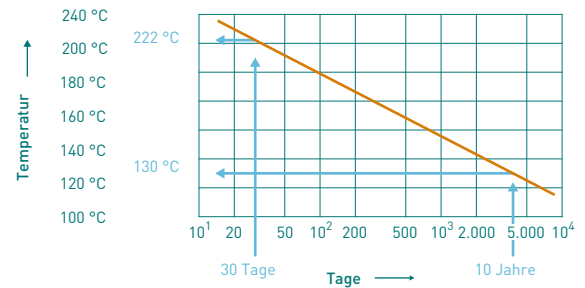
Elektronische Vorschaltgeräte EVG

- + geringe Wärmeentwicklung
- + flackerfreier Start, flimmerfreies Licht
- + längere Lebensdauer der Lampe (30–50 %), da besser angepasst
- + automatische Abschaltung bei Defekt
- bei sehr tiefen und hohen Umgebungstemperaturen nicht verwendbar (üblich $-10\text{ °C} < T < 60\text{ °C}$)
- Preis, Lebensdauer, Anfälligkeit bei Netzschwankungen

Die 3 Vorschaltgerätetypen



Lebensdauer von Vorschaltgeräten



Standardvorschaltgerät - Wicklungsgrenztemperatur $T_w = 130\text{ °C}$

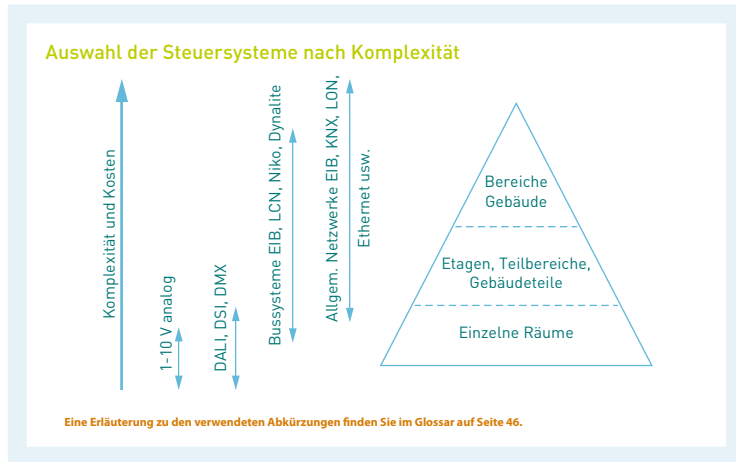
10-Grad-Regel

Eine Erhöhung der Wicklungstemperatur um 10 K reduziert die Lebensdauer auf etwa die Hälfte, weitere 10 K auf etwa ein Viertel.

4. Steuerung von Beleuchtungssystemen

Durch die gestiegenen Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten setzt sich immer mehr eine bedarfsgerechte Beleuchtungssteuerung durch. Eine individuelle Regulierung der Beleuchtung des Arbeitsplatzes ist mit modernen Beleuchtungssystemen möglich.

Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten für den Nutzer, das Licht zu regeln: die manuelle Bedienung mittels Lichtschalter, die bewegungsaktive Regelung und Schaltung über Präsenzmelder, das tageslichtabhängige Lichtmanagement, die sensorgeführte Automatik-Lichtregelung oder auch intelligente Steuerungen über die Gebäudetechnik.



Steuerungen wie Sensorschalter, Dimmer oder auch Infrarot-Bedienschnittstellen für Fernbedienungen können in Leuchten integriert oder extern platziert sein. Lichtsteuerungsanlagen und verschiedene Schnittstellen können untereinander kombiniert betrieben werden. Die Wahl der richtigen Beleuchtungssteuerung ist dabei von Faktoren wie z. B. der gewünschten Lichtinszenierung, den Schnittstellen der Leuchten, der Anzahl der Betriebsstunden, der Ausrichtung zum Tageslicht, der Raumnutzung usw. abhängig.

Heute sind je nach Beleuchtungssystem viele Funktionen dynamisch regelbar:

- die Intensität des Lichtes (dimmen)
- die Sättigung der Lichtfarbe und Mischung eines Farbtons
- die Lichtverteilung und eine Bewegung von Licht im Raum
- die Zeit bzw. Geschwindigkeit beim Wechseln einzelner Szenen
- der Tageslichteinfall und Sonnenschutz

Schnittstellen der Vorschaltgeräte von Lampen

Einige elektronische Trafos können über Phasenanschnitt- oder Phasenabschnittdimmer geregelt werden. Dimmbare Ausführungen elektronischer Vorschaltgeräte (EVG) werden oft mit Schnittstellen zur Steuerung ausgestattet. Neben der Touch & Dim-Schnittstelle am EVG gibt es auch die analoge Schnittstelle 1–10V und digitale Schnittstellen wie DSI (Digital Serial Interface), DALI (Digital Adressable Lightning Interface) oder DMX 512 (Digital Multiplex). Werden EVG über Schnittstellen geregelt, kann die daran betriebene Lampe geschaltet bzw. gedimmt werden. Das EVG läuft auch im ausgeschalteten Zustand im sogenannten Standby-Modus mit sehr geringem Verbrauch, denn auch im ausgeschalteten Zustand der Lampe erwartet das EVG das nächste Steuersignal. Möchte man diese Energieverluste ebenfalls einsparen, z. B. bei temporär nicht genutzten Gebäudebereichen, sollte man zusätzlich eine Netzabschaltung vorsehen. Verschiedene Schnittstellen haben unterschiedliche technische Eigenschaften, die zu berücksichtigen sind.

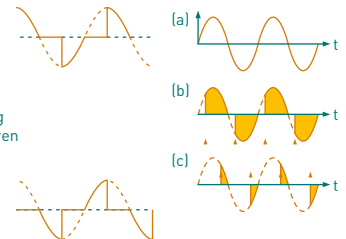
Dimmer (230V)

Phasenanschnitt (vgl. Grafik b)
Einschaltzeitpunkt wird justiert,
Stromfluss wird gesteuert,
Art der Pulsweitenmodulation

- + klein, einfach, geringe Verlustleistung
- + ohmsche und induktive Lasten, Motoren

Phasenabschnitt (vgl. Grafik c)
Ausschaltzeitpunkt wird justiert

- + weniger hochfrequente Störung, geringe Leistung
- + geeignete elektronische Lasten (kapazitiv)
(dimmbare Schaltnetzteile, elektronische Trafos)



Manuelle Lichtregelung

Das bedarfsgerechte Zu- und Abschalten von Lampen und Leuchten nennt man manuelle Bedienung. Vorteil dieser Art der Lichtregelung ist ihre einfache Umsetzbarkeit. Über Netzschalter, Relais oder Schaltschütz kann Licht manuell an- und ausgeschaltet werden. Touch- und Dim-Schnittstellen an manchen Vorschaltgeräten ermöglichen ein direktes Bedienen und Dimmen über Taster.

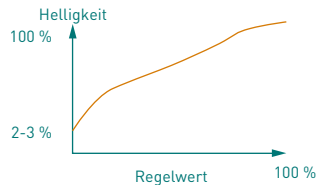
Die Sensibilisierung für wirtschaftliches Energiesparen bedarf hier nur einer organisatorischen Maßnahme. Es entstehen keine zusätzlichen Investitionskosten. Allerdings ist diese Art der Lichtregelung auch nicht vollständig kontrollierbar. Außerdem kann das Schalten ergonomische Probleme hervorrufen, wenn z. B. nur Teilbereiche beleuchtet werden und der Rest eines Raumes dunkel bleibt. Wechselt das Blickfeld in diese dunklen Teilbereiche, muss das Auge häufiger adaptieren, was zu Ermüdungserscheinungen führen kann.

Touch & Dim

1 Taster für mehrere EVGs
Netzspannung liegt permanent an,
Leistungsaufnahme im Bereitschaftsmodus (Stand-by): ca. 0,35 W

1 x kurz Tasten (<0,5 s) = an bzw. aus
1 x lang Tasten = hoch oder runter Dimmen

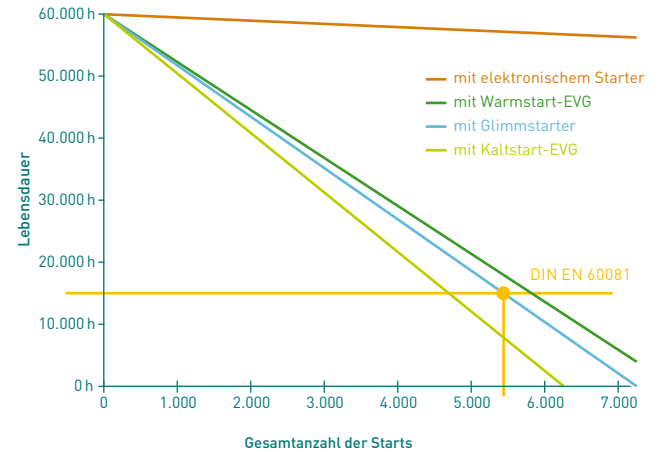
weiteres langes Tasten ändert die Dimmrichtung,
2-3 % bis 100% Regelbereich



Anwendung meist bei DALI oder DSI



Lebensdauer von Leuchtstofflampen



Übrigens werden Leuchtstofflampen sehr oft nicht ausgeschaltet, weil nach wie vor der Mythos kursiert, das Einschalten verbrauche mehr Energie als der Betrieb. In Wirklichkeit lohnt sich aus energetischer Sicht das Ausschalten jedoch schon nach einer Sekunde Betriebsdauer. Wirtschaftlich sind in der Regel Nutzungszeiten von mindestens 5–10 Minuten bei Leuchtstofflampensystemen.

Um die Lebensdauer einer Leuchte mit konventionellem Vorschaltgerät oder Kaltstart-Vorschaltgerät zu verbessern, ist es sinnvoll, in Räumen, die länger als zehn Minuten nicht benutzt werden, die Beleuchtung ganz auszuschalten. Bei Leuchten mit Warmstarteinrichtung kann man die Beleuchtung sofort nach Gebrauch abschalten. Hochdruck-Entladungslampen haben Betriebseigenschaften, die ein häufiges Schalten in der Regel unwirtschaftlich machen. LED-Systeme sind problemlos schalt- und regelbar.

Bewegungsaktive Lichtsteuerung

Flure, Drucker- und Abstellräume, Sanitärbereiche usw. sind oft Räume mit unzureichender Tageslichtversorgung und werden oft nur für kurze Dauer genutzt. Solche Räume sollten über eine bewegungsaktive Präsenz-Lichtsteuerung verfügen, damit keine Energie vergeudet wird. Das Licht wird bei diesen Systemen meist nur eingeschaltet, wenn sich jemand im Bereich des Sensors aufhält. Es bleibt mit einer eingestellten Nachlaufzeit an.

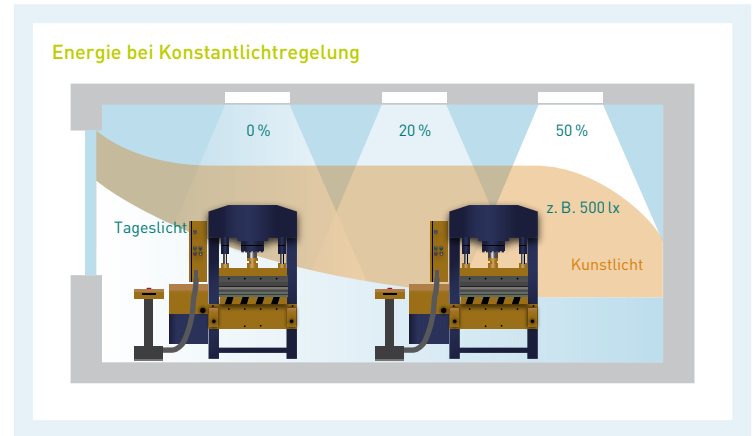
Die Höhe der Einsparung hängt dabei also von der Aufenthaltswahrscheinlichkeit in diesen Räumen ab. Der Einbau von Bewegungs- oder Präsenzmeldern mit integrierten Schaltaktoren bzw. Dimmern bringt hier nicht nur Kosteneinsparungen, sondern steigert auch den Komfort und die Sicherheit. Oft sind solche Steuergeräte kostengünstig und leicht montierbar. Der Einsatz einfacher Präsenzsensoren zum Schalten ist aber nur begrenzt sinnvoll, manchmal sind kostenintensivere Sensorsysteme mit Bedienschnittstellen (z. B. für Fernbedienungen oder Taster) komfortabler sowie auch für Arbeitsbereiche gut geeignet. Sie bringen mehr Nutzerakzeptanz.

Tageslichtabhängige Lichtregelung

Größtmögliche Effizienz in Beleuchtungssystemen bieten Lichtmanagement-Systeme. Diese nutzen das einfallende Tageslicht und regeln die künstliche Beleuchtung durch Abschalten oder Dimmen. Da das Tageslicht in vielen Produktionshallen, Verwaltungsgebäuden und teilweise auch im Handel fast vollständig einstrahlen kann, bietet sich eine tageslichtabhängige Lichtsteuerung an. Zwei Schaltungsweisen sind zu unterscheiden:

- die Konstantlichtsteuerung und
- die Automatiklichtsteuerung (oder Stufenschaltung).

Eine Konstantlichtregelung ist mit Sensoren zur Messung der Raumhelligkeit ausgestattet. Mit dimmbaren Leuchten kann die Lichtstärke automatisch auf das verfügbare Tageslicht abgestimmt werden, sodass immer nur soviel Kunstlicht erzeugt werden muss, wie für eine optimale Ausleuchtung auf einem bestimmten Beleuchtungslevel erforderlich ist. Eine Konstantlichtregelung kann bis zu 50 Prozent Energie im Vergleich zu ständig eingeschalteten



Systemen einsparen. Dafür ist der Einbau von dimmbaren Leuchten und entsprechenden Regelsystemen mit Sensoren notwendig. Zusätzliche Bedienungsmöglichkeiten machen solche Systeme nutzerfreundlich und erhöhen die Akzeptanz.

Eine einfache Automatiklichtsteuerung ähnelt der Konstantlichtregelung. Der Unterschied zwischen beiden besteht darin, dass bei der Automatikfunktion die Lichtaktoren die Lampen nicht dimmen, sondern direkt an- und abschalten. Somit ist auch keine exakte Anpassung des Beleuchtungsniveaus an das Mindestbeleuchtungsniveau möglich. Weil kein konstantes Beleuchtungsniveau gehalten werden kann, verliert das Licht in den Übergangsphasen an Qualität und Intensität. Deswegen hat sich der Trend zu einer dynamischen dimmbaren Beleuchtung und interaktiven Systemen durchgesetzt. Hier kann der Nutzer die visuelle Gestaltung des beleuchteten Bereiches beeinflussen.

Wird eine anwesenheitsabhängige Steuerung, die je nach Präsenz von Personen im Bereich das Licht regelt, mit der tageslichtabhängigen Regelung kombiniert, können zusätzliche Einsparungen erreicht werden. Moderne Sensoren haben häufig beide Funktionen integriert.

Steuerungssysteme und Gebäudeautomation

Die Nutzung gebäudetechnischer Steuerungssysteme, wie z. B. übergreifende KNX- oder LON-Netzwerke (Standards für Gebäudeautomation: Konnex, Local Operating Network) bzw. herstellerspezifische Steuerungssysteme wie z. B. LCN (Local Control Network) oder Dyalite (Markenname der Fa. Philips) sind in großen Gebäuden inzwischen Standard. Auch die Regelung der Beleuchtung kann über solche Systeme erfolgen. Über die gebäudetechnische Steuerung werden Daten von Sensoren einbezogen und über die entsprechenden Schnittstellen (DALI, DSI, 0-10V) an die Leuchten als Schalt- und Dimmsignale weitergegeben.

So lassen sich die Energieverbräuche für Beleuchtung, Lüftung, Heizung und sonstige technische Anlagen zentral regeln und überwachen. Komfortable dezentrale Bedieneinheiten ermöglichen ein temporäres Anpassen der Raumsituation an die individuellen Bedürfnisse der Nutzer.

Interaktive Systeme gestatten die Einbeziehung der Umgebung als Auslöser (Trigger) für veränderliche visuelle Konzepte, wie z. B. mit Einflüssen durch Präsenz und Aktivität von Personen, Zeit, Medien, Temperatur und Klima oder andere Daten.

Im Handel bringt z. B. die Einbeziehung der Kunden in die visuelle Kommunikation mit Umwelt, Produkt und Marke ganz neue Möglichkeiten der Raumgestaltung.

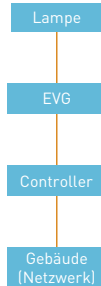
Steuerung von Beleuchtungssystemen

Wichtigste Techniken zum Steuern von Licht

- Schalter & Dimmer
- Touch & Dim
- 1-10 V
- DALI
- DMX

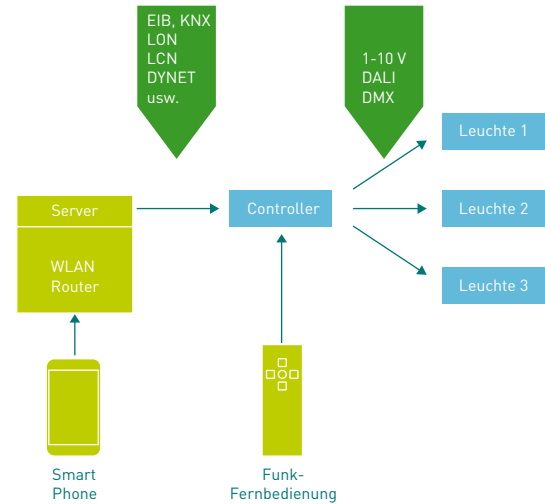
Komplexe Systeme zur Steuerung

- EIB/KNX
- Andere Netzwerke und Schnittstellen:
 - OPC/OLE, BAC Net, SMI, UPnP
 - Ethernet/Internet (IP-Adresse)
 - Telekommunikation



Eine Erläuterung zu den verwendeten Abkürzungen finden Sie im Glossar ab Seite 46.

Netzwerke und Schnittstellen



Eine Erläuterung zu den verwendeten Abkürzungen finden Sie im Glossar auf Seite 46.

In der Industrie ermöglicht das Anpassen der Licht- und Raumsituation über Steuerungssysteme an eine temporäre Fertigungsphase hohe Flexibilität.

Für Bürobereiche kann man mit entsprechenden Lichtsystemen visuell Tagesverläufe so gestalten, dass ein noch effizienteres Arbeiten unter dem Wechsel von Lichtintensitäten und Lichtfarben über den Tag möglich wird. Neustrukturierungen in einem Verwaltungsbereich können mit der Umprogrammierung der Gebäudetechnik begleitet werden, ohne Leuchten und Systeme neu zu installieren.

Die Konzeptentwicklung führt hier zu einer erhöhten Effizienz der Systeme bei gleichzeitiger Komforterrhöhung – doch sollte man auch gebäudetechnische Netzwerksysteme immer nur so komplex wie benötigt und so einfach wie möglich für den Nutzer gestalten. Gleiches gilt bei der Auswahl der angemessenen Steuerung für eine Beleuchtungsaufgabe.

5. Energieeffizienz in der Beleuchtung

Die effiziente Nutzung von Energie ist ein Thema, das in alle Bereiche des täglichen Lebens Einzug gehalten hat. Was die öffentliche Diskussion jedoch oft vermissen lässt, insbesondere im gewerblichen Kontext, ist die Aufklärung darüber, welcher konkrete Energieverbrauch zu welchen Kosten führt. Aus diesem generellen Informationsdefizit wird die Forderung nach einer Energietransparenz einzelner Handlungen laut. Was heißt es also, effizient und zugleich sparsam mit Energie umzugehen?

Gegenüber der Energieeffizienz umfasst die Energieeinsparung alle Maßnahmen, die den Energieverbrauch insgesamt vermindern. Es ist auch ohne eine Effizienzverbesserung der Beleuchtungstechnik möglich, Energie zu sparen, indem man z. B. einfach die Beleuchtung bedarfs- und nutzungsgerechter zu- und abschaltet. Man ist damit zwar sparsamer, aber nicht unbedingt effizienter mit Energie umgegangen. Insofern ist es aus wirtschaftlichen Gründen zwar effektiv, das Richtige zu tun, nämlich sparsam zu sein. Effizient hingegen ist es nicht nur, das Richtige, sondern das Richtige auch auf die beste Weise zu tun. Es kommt also nicht nur auf das richtige Ziel an, egal, wie man es erreicht, sondern auch auf den geeigneten Weg.



Für die Beleuchtung heißt das im Klartext:

»Es reicht nicht, einfach nur weniger Energie zu verbrauchen, sondern man muss auch mit weniger Energie die ursprüngliche Qualität der Beleuchtung gewährleisten können.«

Die Effizienz einer wirtschaftlichen Handlung ergibt sich also, wenn ein größtmöglicher Erfolg mit einem möglichst geringen Aufwand bzw. ein festgelegter Nutzen mit möglichst geringem Energieeinsatz erreicht wird. Es geht daher beim Effizienzkriterium – anders als beim Effektivitätskriterium – nicht nur darum, möglichst viele Lampen abzustellen und damit Energie einzusparen, sondern darum, mit den geeigneten technischen und organisatorischen Mitteln optimale Beleuchtungslösungen zu erzielen.

Um ein Beleuchtungssystem wirtschaftlicher und zugleich ökologischer zu gestalten, ist eine gesamtheitliche Betrachtung von der Fertigung bis zur Entsorgung von Lampen und Beleuchtungssystemen erforderlich. Deshalb sollte die Maßgabe der Wirtschaftlichkeit immer auch mit Kriterien der Effizienz und Nachhaltigkeit verbunden werden.

Letztlich ist Energieeffizienz von direkter unternehmerischer Bedeutung, weil die Senkung der unternehmerischen Energiekosten auch die Wettbewerbsfähigkeit der Produkte und Dienstleistungen steigern kann.

5.1 Grenz- und Zielwerte einer effizienten Beleuchtung

Energieeffizienz zu messen, ist notwendig für eine Analyse des bestehenden Beleuchtungssystems sowie zur Bewertung geeigneter Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz für Neuinstallationen. Grenz- und Zielwerte für einen effizienten Energieverbrauch von Beleuchtungssystemen ergeben sich aus den Anforderungen, die man an sie im Rahmen konkreter Beleuchtungsaufgaben stellt. Diese Beleuchtungsaufgaben unterscheiden sich erheblich in den verschiedenen Branchen. Für die Bestimmung von Zielwerten eines Beleuchtungssystems sollten deshalb dessen Gütemerkmale berücksichtigt werden. Anhand der geforderten Nennbeleuchtungsstärke können dann Grenz- bzw. Zielwerte für flächenspezifisch installierte Lampenleistungen direkt abgelesen oder Zwischenwerte interpoliert werden.

Anforderungen nach Minergie			
Nutzungen	Installierte Leistung [W/m ²]	Volllaststunden [h] (Zielwert)	Spezifischer Elektrizitätsbedarf [kWh/m ²]
Einzel-, Gruppenbüro	19,4	580	11,25
Großraumbüro	11,0	1.610	17,75
Schulzimmer	14,4	730	10,5
Hörsaal	11,1	1.460	16,25
Lebensmittelverkauf	13,6	4.250	58,0
Restaurant	5,9	1.600	9,5
Mehrzweckhalle	9,4	2.260	21,25
Bettzimmer	3,9	2.640	10,25
Produktion (fein)	13,4	2.180	29,25
Lager	10,0	2.510	25,0

Grenz- und Zielwerte für die effiziente Beleuchtung, ein Beispiel aus der Schweiz. „Minergie“ ist eine geschützte Marke für nachhaltiges Bauen und gehört den Kantonen Bern und Zürich [Quelle: www.minergie.ch].

Für die Messung der „Energieeffizienz“ gibt es leider keinen Standardzähler, den man einfach an einer definierten Stelle installieren könnte. Vielmehr ist immer ein komplexer Ist-Zustand dem nach heutigem Stand der Technik möglichen Soll-Zustand gegenüberzustellen. Die Energiebewertung erfolgt dabei nach bestimmten normierten Verfahren. Diese Normen enthalten sogenannte Nutzerandbedingungen und einen Vergleich des Energiebedarfes mit einem Referenzgebäude.

In die Gesamtbilanz sind auch Berechnungen des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung für die Kostentransparenz eines Effizienzkonzeptes mit einzubeziehen.

Ebenso spielen bei Beleuchtungssystemen ergonomische, sehlleistungsorientierte, architektonische, emotionale und individuelle Komfortansprüche mit in die Qualitätsüberlegungen hinein. Vor diesem Hintergrund ist eine energieeffiziente Beleuchtung auf diese Parameter gründlich abzustimmen. Womöglich steigt sogar der Energiebedarf, wenn damit eine Verbesserung hinsichtlich

- a) visuell-optischer Eigenschaften,
- b) Behaglichkeit und
- c) der architektonischen Wirkung durch die Beleuchtung erreicht werden kann.

»Eine Beleuchtungsanlage sollte die Beleuchtungsanforderungen eines bestimmten räumlichen Bereiches erfüllen, ohne Energie zu verschwenden. Es ist jedoch wichtig, hierbei keinen Kompromiss zu Lasten der lichttechnischen Gütemerkmale der Beleuchtung einzugehen, nur um den Energieverbrauch zu senken.« [DIN EN 12464-1]

Richtwerte für die Beleuchtung in Anlehnung an DIN EN 15193

	Güteklasse der Beleuchtung	benötigte Bewer- tungsleistung in einem Gebäude [W/m ²]	Dauer der Tageslicht- nutzung [h/Jahr]	Zeitdauer ohne Tages- lichtnutzung [h/Jahr]	Grenzwert mit Konstantlichtregelung (auto, manu) [kWh/m ² a]
Büro und Verwal- tung	*	15	2.250	250	32,2
	**	20	2.250	250	41,4
	***	25	2.250	250	50,6
Kranken- haus	*	15	3.000	2.000	50,7
	**	25	3.000	2.000	82,3
	***	35	3.000	2.000	114,0
Hotel	*	10	3.000	2.000	34,6
	**	20	3.000	2.000	65,1
	***	30	3.000	2.000	97,6
Einzel- handel	*	15	3.000	2.000	70,6
	**	25	3.000	2.000	115,6
	***	35	3.000	2.000	160,6
Produktion	*	10	2.500	1.500	37,5
	**	20	2.500	1.500	71,2
	***	30	2.500	1.500	105,0

Güteklassen (Die Kriterien der Beleuchtungsplanung sind in den DIN EN 15193, Tabelle F.2 aufgeführt.):

- * einfache Erfüllung der Anforderungen
- ** gute Erfüllung der Anforderungen
- *** umfassende Erfüllung der Anforderungen.

manu: manuell geschaltete Beleuchtungssteuerung

auto: automatische Beleuchtungssteuerung

5.2 Praktische Handlungsmöglichkeiten für eine energieeffiziente Beleuchtung

Ein Beleuchtungssystem ist erst dann energieeffizient, wenn die optimale Beleuchtungsqualität mit geringstem Stromverbrauch erreicht wird. Ansatzpunkte zur Lösung dieser Aufgabe sind:

- eine hohe Lichtausbeute im System Lampe-Vorschaltgerät zu erzielen
- optimale Betriebsbedingungen zu gewährleisten
- auf eine geeignete Lichtverteilung zu achten
- Reflexionseigenschaften von Räumen gründlich zu ermitteln und auszunutzen
- richtige Anordnungen des Beleuchtungssystems zu den entsprechenden Sehaufgaben zu treffen
- die Mitarbeiter zu schulen
- ein dynamisches Lichtsteuerungssystem zum Einsatz zu bringen

Dementsprechend sollten Leuchten mit großen Verlustleistungen generell vermieden werden, wie z. B. alte, wartungsanfällige, wenig reflektierende und wenig regulierbare Leuchten, aber auch Beleuchtungssysteme mit schlechten ergonomischen und ökologischen Eigenschaften.

Weil aber jede Beleuchtungsaufgabe von verschiedenen Parametern abhängig ist, kann ihre konkrete Bearbeitung nicht einfach standardisiert und als Schema auf andere übertragen werden. Deshalb gibt es verschiedene Arten, mit einer vorhandenen Beleuchtung wirtschaftlich und zugleich effizient umzugehen:

- A) Eine einfache und kurzfristige Maßnahme kann z. B. sein, das bisherige Nutzerverhalten zu ändern, indem man die Geräte besser wartet. Schon allein Wartung und Sauberkeit von Beleuchtungsanlage und ggf. des Raumes bringen bessere Beleuchtungswerte.

- B) Eine mittelfristige Lösung kann z. B. durch eine Teilsanierung oder einen Lampenwechsel auf moderne Leuchtmittel erreicht werden. Eine Umrüstung auf modernere und energieeffizientere Leuchtmittel bietet sich für viele Leuchten mit herkömmlichen Lampen an und stellt gegenüber einem Kompletttausch oftmals die kostengünstigere Variante dar. Aber Vorsicht: Auch wenn sich der Stromverbrauch beim Lampentausch augenscheinlich sofort senken lässt, sollten sogenannte Retrofit-Leuchtmittel mit Bedacht eingesetzt werden. Nicht immer lässt sich damit die ursprüngliche oder als Referenz gültige Beleuchtungsqualität erreichen.
- C) So oft es aus den unterschiedlichsten Gründen auch notwendig erscheinen mag, schnelle oder mittelfristige Lösungen zu bevorzugen: Generell sollte immer nach der besten Lösung für die Beleuchtungsaufgaben gesucht werden. In langfristiger Betrachtung und im Sinne einer nachhaltigen Effizienz ist der Bau von Neuanlagen bei gleichzeitiger Schulung und Sensibilisierung der Mitarbeiter auf die neuen Steuerungsinstrumente die beste Lösung. Und das nicht nur, weil die Umrüstung mit Nicht-Originalteilen oft sicherheitstechnische Gefahren in sich birgt, sondern Anpassungen alter und neuer Systeme weitere Probleme und Kosten nach sich ziehen können.

Retrofit

Unter dem Begriff Retrofit fasst man Leuchtmittel zusammen, die zur Nutzung in vorhandenen Leuchten mit etablierten Fassungen konzipiert wurden. Diese Leuchtmittel sind geeignet, klassische Leuchtmittel wie die Glüh- und Halogenlampe zu ersetzen.

Retrofit-Leuchtmittel sind für viele Einsatzbereiche in allen gängigen Fassungen erhältlich.



Die Parathom Classic A75 Advanced, der erste LED-Ersatz für die 75W-Glühlampe auf dem europäischen Markt.

Licht im Hotel- und Gastgewerbe:
Parathom Pro MR16 Advanced



6. Planung von Beleuchtungssystemen

Wer plant, ein Beleuchtungssystem neu zu installieren oder umzugestalten bzw. zu sanieren, der sollte sich

- genau mit den gültigen Richtlinien und Normen vertraut machen,
- den Umfang der Maßnahmen konkret auf die individuellen Anforderungen abstimmen,
- die Kosten kalkulieren und
- sich über die Möglichkeiten effizienter Beleuchtungssysteme kompetent beraten lassen.

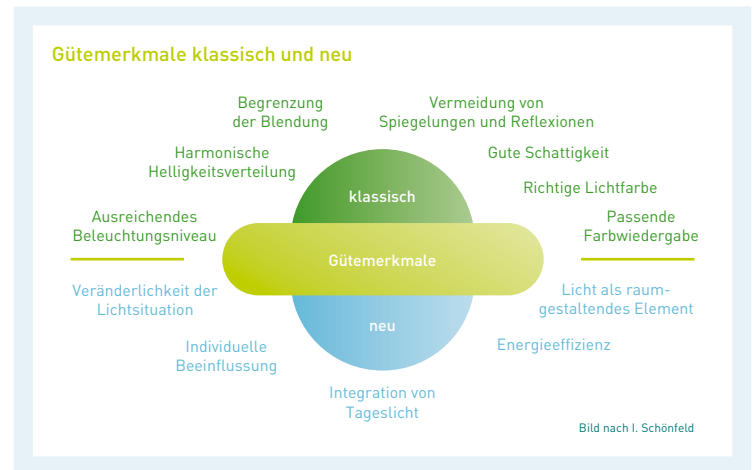
Je früher in eine Gesamtkonzeption eines Neu- oder Umbaus auch die Beleuchtungsaufgabe mit einbezogen wird, desto effizienter, wirtschaftlicher und nachhaltiger können Beleuchtungsaufgaben gelöst werden, so dass Nachbesserungen unnötig werden. Es ist immer von einer Ist-Analyse (dem Gegebenen) und Soll-Definition (dem gewünschten Ergebnis) auszugehen. Lösungsansätze sollten verschiedene Parameter mit ins Kalkül ziehen, so dass im Vergleich verschiedener möglicher Varianten die optimale Lösung erreicht werden kann. Um den theoretischen Planungsansatz zu untermauern, kann die geplante Lösung in einem repräsentativen Arbeitsbereich im voraus praktisch erprobt werden.

Darüber hinaus gilt es, bestimmte Effektivitäts-Berechnungen anzustellen. Diese müssen Wirtschaftsparemeter und Effizienzkriterien mit einbeziehen, denn nur so kann eine kritische Prüfung der Güte der Lichtlösung erfolgen. Es sollte dabei also auch an ein Optimum an ergonomischer, ökonomischer, sicherheitstechnischer und ökologischer Effizienz gedacht werden. Letztlich wird die gewünschte Lösung nur über ein sehr genaues Abwägen der verschiedenen Parameter als eine Art Kompromisslösung erreichbar sein.

Generell gliedert sich die Planung von Beleuchtungssystemen in drei Arbeitsschritte:

1. die Bedarfsermittlung für das Beleuchtungssystem entsprechend der angestrebten Beleuchtungsaufgabe und der Sehaufgabe
2. das Erstellen eines geeigneten Beleuchtungskonzeptes durch einen Vergleich verschiedener Möglichkeiten und Kostenbedarfsermittlungen
3. die frühzeitige und begleitende Umsetzung des Beleuchtungskonzeptes während der Bau- oder Erneuerungsphase

Es ist dabei dringend zu beachten, dass keiner dieser Abschnitte nur für sich genommen zu einem optimalen Ergebnis führen kann. Eine energieeffiziente Beleuchtung kann also nur in einheitlicher Betrachtung von der qualifizierten Bedarfsermittlung über Variantenvergleiche bis hin zur betreuten Bauphase realisiert werden.

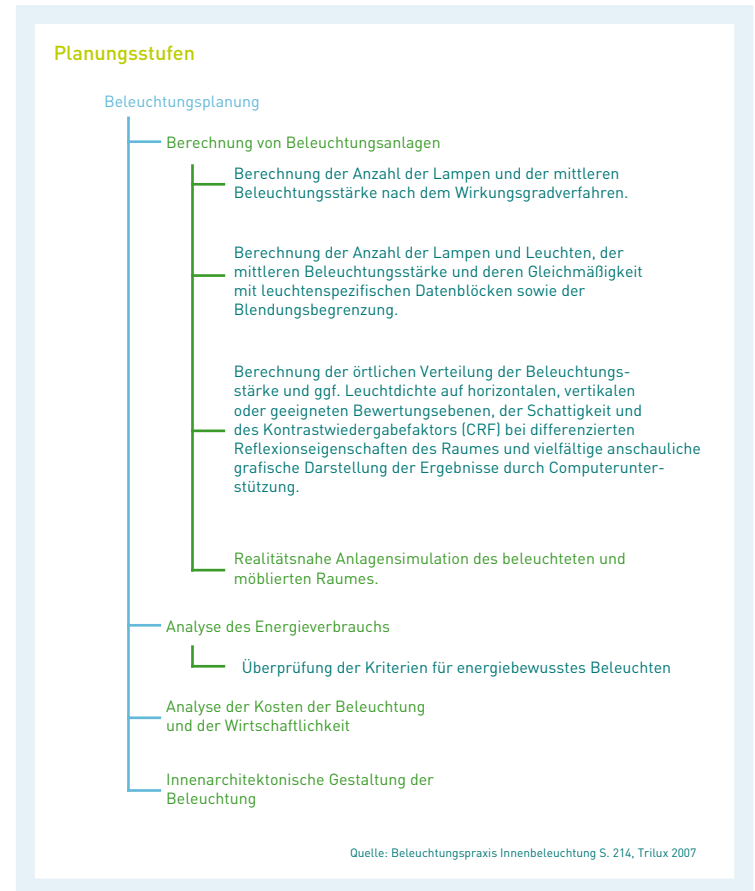


Im ersten Arbeitsschritt wird der Bedarf eines Beleuchtungssystems für einen Neu- oder Umbau zuallererst mit den wichtigsten Güteigenschaften definiert. Diese Güteigenschaften sollen im Folgenden aufgelistet werden:

- a) Erstellen des Nutzungsprofils
- b) Ermitteln von Nennbeleuchtungsstärken
- c) Einigung auf Lichtfarbe
- d) Erprobung der Farbwiedergabe
- e) praktische Erprobung der Blendungsbegrenzungen
- f) Festlegung der bevorzugten Lichtrichtung
- g) Ermitteln von Schattenwirkungen im Tagesverlauf
- h) Klärung, ob raum- oder arbeitsbezogene Beleuchtung erforderlich ist
- i) Prüfung der praktischen Umsetzbarkeit der theoretischen Überlegungen
- j) Ermittlung möglicher dynamischer Systeme für individuelle Erfordernisse

Im Arbeitsschritt 2 sollte ein Vergleich der Möglichkeiten solange angestellt werden, wie die verschiedenen Parameter der ökologischen, ökonomischen und ergonomischen Kriterien mit dem spezifischen Beleuchtungsbedarf nicht abschließend gegeneinander abgewogen worden sind (vgl. auch Kap. 2 und 3).

Arbeitsschritt 3 umfasst nun die Umsetzung der sachkundigen Festlegungen aus den Schritten 1 und 2. Diese erfolgt jedoch nicht einfach schematisch, sondern immer im Einklang mit den einzelnen Bauabschnitten, die getätigt werden müssen. Insofern ist man gut beraten, die Beleuchtungssystemarbeiten von Anfang an mit in die bautechnischen Ausführungen einzubeziehen.

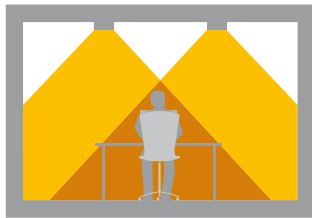
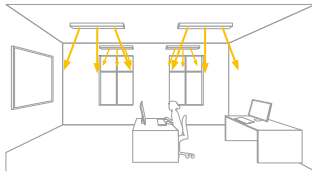


6.1 Beispiel Büroarbeitsplatz

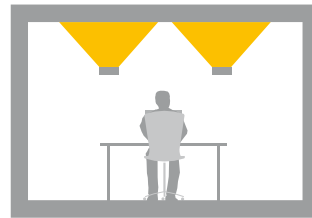
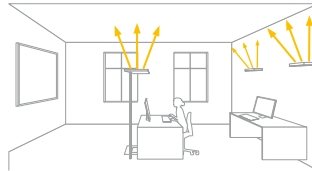
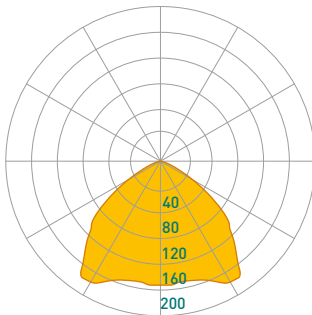
Einer der Vorteile der modernen Gesellschaft ist, dass sie arbeits- teilig funktioniert. Ein Arbeitsplatz im Büro unterscheidet sich von einem Arbeitsplatz in der Fertigung oder im Einzelhandel – und zwar nicht nur hinsichtlich der dort zu bewältigenden Aufgaben, sondern auch hinsichtlich der beleuchtungstechnischen Anforderungen.

An einem Büroarbeitsplatz möchte man aufgrund der vorwiegend sitzenden Tätigkeit vor allem einen ergonomisch gut ausgestattete Arbeitsbereich vorfinden. Dazu gehört aber nicht nur, dass er mit ergonomischen Büromöbeln ausgestattet, sondern auch hell und freundlich sein sollte. Eine richtige Beleuchtung ist daher grund- legend für den Erhalt der Sehkraft und die Erfüllung der spezifi- schen Arbeitsaufgaben am Schreibtisch und Computer. Deshalb muss die Beleuchtung so installiert sein, dass sich Sehleistung und

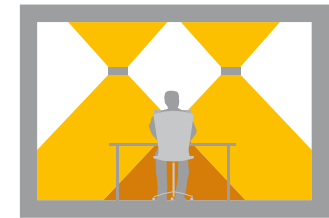
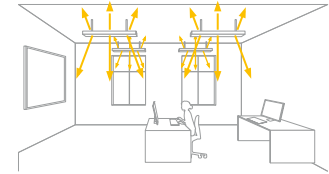
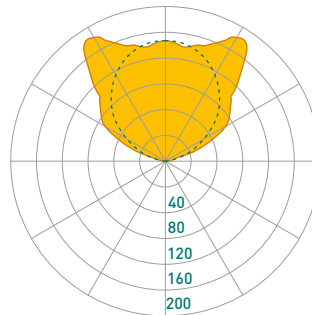
Beispiel direkte/indirekte und kombinierte Beleuchtung



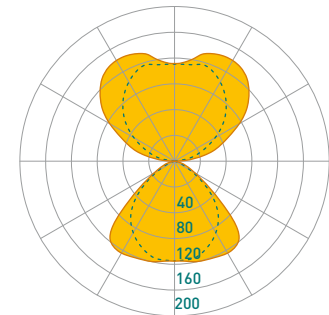
Beleuchtung
direkt strahlend
effizient



Beleuchtung
indirekt strahlend
ineffizient



Beleuchtung
direkt + indirekt strahlend
teilweise effizient, angenehme Raumwirkung



Sehkomfort individuell auf die Bedürfnisse des Mitarbeiters einstellen lassen. Für eine optimale und effiziente Beleuchtung kommen in der Regel drei unterschiedliche Beleuchtungskonzepte in Betracht:

1. Das raumbezogene Beleuchtungskonzept geht davon aus, an allen Stellen im Raum gleichmäßige Sehbedingungen zu schaffen und bleibt so flexibel, auch wenn Arbeitsbereiche z. B. umgestellt werden müssen.
2. Das arbeitsplatzbezogene Beleuchtungskonzept ist ideal bei mehreren Arbeitsbereichen in einem Raum, die unterschiedliche Sehaufgaben zu erfüllen haben und ein unterschiedliches Beleuchtungsniveau erfordern.
3. Das teilflächenbezogene Beleuchtungskonzept ist darauf angelegt, ein Beleuchtungsniveau auf Teilflächen im Büro zu erzeugen, das den jeweiligen Sehaufgaben und Wünschen angepasst werden kann: als direkte, indirekte oder kombinierte Beleuchtung.

Diese drei Beleuchtungskonzepte sind mit Anpassungen auch auf andere Arbeitsbereiche übertragbar.

Bei der Planung der Beleuchtung eines Büroarbeitsplatzes ist die Tageslichtsituation mit der Kunstlichtergänzung abzugleichen: Moderne Lichtsteuer- und Lichtregelgeräte arbeiten tageslicht- und präsenzabhängig und ermöglichen deshalb eine flexible Gestaltung unterschiedlicher Lichtszenen und hohen Bedienungskomfort. Die Architektur des Gebäudes spielt bei der Planung eine große Rolle, denn das Tageslicht fällt meistens von der Seite ein und ist gegenüber der Beleuchtung im Freien um ein Wesentliches gemindert. Hier kann mit Kunstlicht ausgeglichen werden, indem der Verlauf von Lichtfarben und Lichtverteilungen über den Tag, die Reflexionseigenschaften der Oberflächen der Einrichtung, Lichtrichtung Schatten und die Akzente einer dynamischen Beleuchtung miteinander abgeglichen und an die Sehaufgaben angepasst werden.

Da Tageslicht nachweislich eine gesundheitsfördernde Wirkung auf den menschlichen Organismus hat, empfiehlt es sich, den notwendigen Abgleich und die Ergänzung mit Kunstlicht auf ein sinnvolles Maß zu beschränken.



Dabei sollte das Tageslicht nicht in die Augen der sitzenden oder stehenden Mitarbeiter fallen, sondern seitlich einfallen bzw. unter die Decke gelenkt werden, um über diesen Umweg eine Reflexion in die Tiefe des Raumes zu erreichen. Die Decke und die obere Raumhälfte sollten deshalb aufgehellert sein, damit sich ein Tagesgefühl einstellen kann.

Die ideale Leuchtenanordnung in einem Büro ist diejenige, die die Direkt- und Reflexblendungen seitlich zum Mitarbeiter anordnet, damit z. B. störende Reflexionen auf Bildschirmen vermieden werden können. Hierbei sind gut entblendete Lampen von Vorteil. Vertikale Flächen, die für Lese- und Schreibaufgaben ausgeleuchtet werden müssen (z. B. Schrank- und Regalflächen), erfordern darüber hinaus eine zusätzliche Beleuchtung.

6.2 Beispiel Arbeitsplatz in der Produktion

In Werkstätten und Industriehallen ergeben sich je nach Detail der Sehaufgabe und entsprechend der Tätigkeit unterschiedliche Güteanforderungen an die Beleuchtung mit Kunst- und Tageslicht. Bewährt haben sich bei der Beleuchtung von Industriehallen mit Tageslicht Oberlichter wie z. B. nach Norden ausgerichtete Sägezahn-, sogenannte Shed-Dächer. Mit einer effizienten Tageslichtgestaltung kann die Tageslichtautonomie – also die Nutzungsmöglichkeit des Tageslichtes während der Arbeitszeit – optimiert werden. Mittels Steuerungssystemen kann eine tageslicht- und bedarfsabhängige Regelung der Kunstbeleuchtung sehr effizient gestaltet werden.

Sowohl die DIN 5035 als auch die europäische Entsprechung DIN EN 12464-1 geben Mindestwerte der Güte der Beleuchtung in Arbeitsstätten wie z. B. die Beleuchtungsstärke vor (vgl. Tabelle). Die Unterscheidung zwischen Lagerbereichen mit Mindestwerten von 100 lx, groben Arbeiten von 200 bis 300 lx, mittleren Anforderungen um 500 lx und für sehr feine Arbeiten auch mit Mindestwerten über 1.000 lx zeigt die Palette der Beleuchtungsanforderungen für unterschiedliche Arbeitsaufgaben. Es wird zwischen der Beleuchtung der Sehaufgabe und ihrer unmittelbaren Umgebung unterschieden. Bei Konzentration des Lichts auf einen Sehaufgabenbereich ist die Verteilung der Leuchtdichten zwischen Sehaufgabe und unmittelbarer



Tischlereiarbeitsplatz der Deutschen Werkstätten Hellerau GmbH in Dresden

Umgebung zu beachten. Ein Leuchtdichteverhältnis von ca. 3:1 bis 10:1 zwischen Sehaufgabe und Umgebung sollte im Gesichtsfeld eingehalten werden.

Je nach Raumhöhe und Anforderungen an Farbwiedergabe, Blendungsbegrenzung usw. werden heute Systeme mit LEDs, Leuchtstofflampen oder auch Halogenmetalllampen eingesetzt. Bei größeren Hallenhöhen über 6 m kommen beispielsweise Leuchtstofflampen mit erhöhtem Lichtstrom (HO = High Output) oder entsprechende LED-Systeme bzw. Hochdruck-Entladungslampen in Hallentiefstrahlern zum Einsatz. Bei Auswahl der Technik sind auch die Betriebsbedingungen, wie Temperaturverhältnisse und Staub- und Schmutzbelastung zu berücksichtigen.

Das Zusammenspiel von Tageslicht, hocheffizienten Leuchten und Lichtsteuerung ist besonders in Fertigungsbereichen ein Weg für eine wirtschaftliche Beleuchtung.

Auszüge aus DIN EN 12464-1

Art des Raumes, der Aufgabe oder der Tätigkeit	\bar{E}_m	UGR _L	CRI
Druck			
Typensatz, Retusche, Lithografie	1.000	19	80
Farbkontrolle bei Mehrfarbendruck	1.500	19	90
Holzverarbeitung			
Arbeiten an der Hobelbank	300	25	80
Schleifen, Lackieren, Modelltischlerei	750	22	80
Bäckerei			
Vorbereitungs- und Backräume	300	22	80
Endbearbeitung, Glasieren, Dekorieren	500	22	80

Erklärung: \bar{E}_m = mittlere Beleuchtungsstärke in Lux (Wartungswert)
 UGR_L = Grenzwert für die Direktblendung (Unified Glare Rating)
 CRI = Farbwiedergabe-Index der Lampen

6.3 Beispiel Arbeitsplatz im Handel

Ob kleiner Einzelhandel, Discounter, Supermarkt oder Kaufhaus: Licht spielt beim Verkaufen eine wesentliche Rolle. Doch nicht nur die mehr oder weniger dramaturgisch inszenierte Ware – auch die Arbeitsplätze der Mitarbeiter an Kasse und Service sind optimal zu beleuchten. Besonders die Leuchtenanordnung mit Bezug zur Sichtbarkeit von Displays und Bildschirmen muss abgestimmt sein. Auch hier gilt die alte Regel: Einfallswinkel = Ausfallwinkel des Lichtes. Und genau da sollte sich das Beobachterauge nicht befinden. Also gilt: Lichtquellen und Arbeitsplätze mit gesundem Menschenverstand in Bezug auf Reflexblendung und Direktblendung platzieren.

Die Beleuchtung eines Warenbereichs muss zweckmäßig und wirtschaftlich gelöst sein. Mit Akzenten kann man die Aufmerksamkeit auf bestimmte Objekte lenken. Anders als im Bürobereich wird hier mit Dramaturgie und Lichtinszenierung im Verkaufsraum bei unterschiedlichen Beleuchtungsniveaus gearbeitet. Kombinierte Beleuchtungen – Allgemeinbeleuchtung als Licht zum Sehen und ergänzende Akzente als Licht zum Ansehen – sind dabei die gestalterischen Mittel. Bei bestimmten Warengruppen, wie z. B. bei Textilien, ist auf eine besonders gute Farbwiedergabe zu achten.

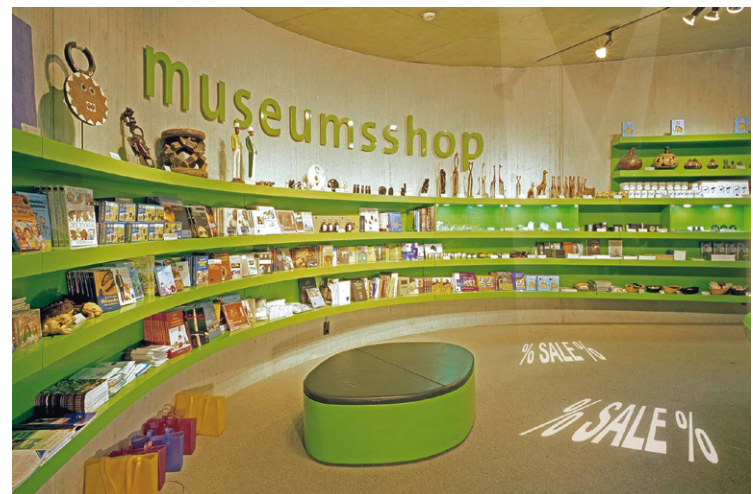
Die Entscheidung für eine Nachrüstung oder eine komplette Sanierung der Beleuchtungsanlage muss im Rahmen der Analyse gründlich abgewogen werden. Das Auswechseln einzelner Komponenten an Leuchten ist immer kritisch zu hinterfragen. Die Anlage kann beispielsweise bei nicht sachgerechtem Tausch von optischen Bauteilen wie Reflektoren ggf. nicht mehr normgerecht leuchten. Auch Adapterlösungen für den Ersatz älterer Leuchtstofflampen durch Systeme mit LED oder anderen Leuchtstofflampen oder Maßnahmen zur Spannungsabsenkung einer Anlage sind nach aktuellem Stand oft noch ungeeignete Lösungen.

LED-Systeme sind bei der Beleuchtung im Trend – doch nur hochwertige Produkte können die Ansprüche an Lichtqualität, Lichtausbeute, Lebensdauer und elektrische Sicherheit erfüllen. Besonders neu entwickelte LED-Leuchtensysteme, die die spezifischen Eigenschaften der LED optimal ausnutzen, können hocheffiziente Lichtlösungen ermöglichen.

Auszüge aus DIN EN 12464-1

Art des Raumes, der Aufgabe oder der Tätigkeit	\bar{E}_m	UGR _L	CRI
Reinigung, Wäscherei			
Waschen und chemische Reinigung	300	25	80
Kontrolle und Ausbessern	750	19	80
Lager- und Kühlräume			
Vorrats- und Lagerräume	100	25	60
Versand- und Verpackungsbereiche	300	25	60
Metzgerei			
Arbeitsplätze in Schlachthöfen	500	25	80
Laderampen, Ladebereiche	150	25	40
Verkaufsbereich			
Kassenbereich	80	19	80
Packtisch	80	19	80

Erklärung: E_m = mittlere Beleuchtungsstärke in Lux (Wartungswert)
 UGR_L = Grenzwert für die Direktblendung (Unified Glare Rating)
 CRI = Farbwiedergabe-Index der Lampen



Homogene Ausleuchtung über die gesamte Fläche eines Shops

7. Checklisten für den Um- bzw. Neubau von Beleuchtungssystemen

Planungshilfe für Neubau bzw. Sanierung: Büro und Verwaltung – je Raum/Bereich



Analyse des Projekts

Raumdaten	Abmessungen, Tageslichtöffnungen	<input type="checkbox"/>
Wartungsdaten	Reinigungszyklus, Lampenwechsel	<input type="checkbox"/>
Nutzungszeiten ca. pro Jahr	z. B. 3.000 h oder 4.000 h (ein Jahr hat 8.760 h)	<input type="checkbox"/>
Sehaufgabe/Tätigkeit	Büroarbeit mit Bildschirmunterstützung, Kommunikation, Besprechung, Präsentation	<input type="checkbox"/>
Mindestanforderungen an die Lichtgüte	Arbeitszone, Umgebung, Raumbereich, Gleichmäßigkeit, Lichtfarbe, Farbwiedergabe	<input type="checkbox"/>
Bewertungsflächen andere Bereiche	Vertikale Bereiche (Regal), Video-konferenz	<input type="checkbox"/>
Art der Lichtlösung, Inszenierungsidee	Raumlicht, arbeitsplatzbezogen	<input type="checkbox"/>
Bestandserfassung, Altanlage	Anlagenkosten für Wartung und Betrieb (Energie usw.)	<input type="checkbox"/>

Vorbereitung Neuanlage

Neue Anforderungen	Lichtgüte und Raumklima, Wirtschaftlichkeit und Energie, Design, Not- und Sicherheitsbeleuchtung	<input type="checkbox"/>
Mögliche Lampentypen	Leuchtstofflampen, LED, Halogenmetaldampf-, Natriumdampf-Hochdrucklampen (Akzente)	<input type="checkbox"/>
Mögliche Leuchtentypen	Direkt, indirekt, kombiniert	<input type="checkbox"/>
Montageart	Einbau, Anbau, Pendel	<input type="checkbox"/>

Wirtschaftlichkeit

Anforderung an Steuerung	Energie sparen, zeit-/nutzungsabhängig, tageslichtabhängig, manuelle Bedienbarkeit gewünscht oder automatisch	<input type="checkbox"/>
Einsparpotenzial gegenüber Altanlage	Energie, Wartung	<input type="checkbox"/>



Planungshilfe für Neubau bzw. Sanierung: Groß- und Einzelhandel – je Raum/Bereich

Analyse des Projekts

Raumdaten	Abmessungen, Tageslichtöffnungen, Schaufenster, Arbeitszonen (Kasse usw.)	<input type="checkbox"/>
Wartungsdaten	Modernisierungszyklus, Wartung/Lampenwechsel, Dekorationswechsel	<input type="checkbox"/>
Nutzungszeiten ca. pro Jahr	z. B. nach Öffnungszeit + Vor-/Nachbereitung ca. 4.000 h (ein Jahr hat 8.760 h), Schaufenster Betriebszeiten Tag/Nacht	<input type="checkbox"/>
Sehaufgabe/Tätigkeit	Büroarbeit mit Bildschirmunterstützung, Kommunikation, Bewertung Ware, Präsentation	<input type="checkbox"/>
Mindestanforderungen an die Lichtgüte	Arbeitszone, Umgebung, Raumbereich, Gleichmäßigkeit, Lichtfarbe, Farbwiedergabe	<input type="checkbox"/>
Bewertungsflächen andere Bereiche	Vertikale Bereiche (Regal), Präsentationsflächen	<input type="checkbox"/>
Art der Lichtlösung, Inszenierungsidee	Strahler, flexible Systeme, Raumlicht, arbeitsplatzbezogen	<input type="checkbox"/>
Bestandserfassung, Altanlage	Anlagenkosten für Wartung und Betrieb (Energie usw.)	<input type="checkbox"/>

Vorbereitung Neuanlage

Neue Anforderungen	Lichtgüte und Raumklima, Wirtschaftlichkeit und Energie, Design und Wettbewerb, Not- und Sicherheitsbeleuchtung	<input type="checkbox"/>
Mögliche Lampentypen	Leuchtstofflampen, LED, Halogenmetaldampf-, Natriumdampf-Hochdrucklampen (Akzente), Sondereffekte	<input type="checkbox"/>
Mögliche Leuchtentypen	Direkt, indirekt, kombiniert	<input type="checkbox"/>
Montageart	Einbau, Anbau, Pendel	<input type="checkbox"/>

Wirtschaftlichkeit

Anforderung an Steuerung	Energie sparen, zeit-/nutzungsabhängig, tageslichtabhängig, manuelle Bedienbarkeit gewünscht oder automatisch	<input type="checkbox"/>
Einsparpotenzial gegenüber Altanlage	Energie, Wartung	<input type="checkbox"/>



Planungshilfe für Neubau bzw. Sanierung: Produktion – je Raum/Bereich

Analyse des Projekts

Raumdaten	Abmessungen, Tageslichtöffnungen	<input type="checkbox"/>
Wartungsdaten	Reinigungszyklus, Lampenwechsel	<input type="checkbox"/>
Nutzungszeiten ca. pro Jahr (Tagesbetrieb Schichtbetrieb)	z. B. 2.000 h für 1-Schicht oder 8.000 h für „rollende Woche“ (ein Jahr hat 8.760 h)	<input type="checkbox"/>
Sehaufgabe/Tätigkeit	je nach Branche (fein, mittel, grob)	<input type="checkbox"/>
Mindestanforderungen an die Lichtgüte	Arbeitszone, Umgebung, Raumbereich, Gleichmäßigkeit, Lichtfarbe, Farbwiedergabe, Sicherheitsfragen (Anforderungen aus Gefährdungsbeurteilung)	<input type="checkbox"/>
Bewertungsflächen andere Bereiche	Krananlagen, Becken, Maschinen usw.	<input type="checkbox"/>
Art der Lichtlösung, Inszenierungs-idee	Raumlicht, arbeitsplatzbezogen	<input type="checkbox"/>
Bestandserfassung, Altanlage	Anlagenkosten für Wartung und Betrieb (Energie usw.)	<input type="checkbox"/>

Vorbereitung Neuanlage

Neue Anforderungen	Lichtgüte und Raumklima, Wirtschaftlichkeit und Energie, Design, Not- und Sicherheitsbeleuchtung	<input type="checkbox"/>
Mögliche Lampentypen	Leuchtstofflampen, LED, Halogenmetaldampf-, Natriumdampf-Hochdrucklampen usw.	<input type="checkbox"/>
Mögliche Leuchtentypen	Direkt, indirekt, kombiniert	<input type="checkbox"/>
Montageart	Einbau, Anbau, Pendel	<input type="checkbox"/>

Wirtschaftlichkeit

Anforderung an Steuerung	Energie sparen, zeit-/nutzungsabhängig, tageslichtabhängig, manuelle Bedienbarkeit gewünscht oder automatisch	<input type="checkbox"/>
Einsparpotenzial gegenüber Altanlage	Energie, Wartung	<input type="checkbox"/>



8. Glossar

EVG

Elektronisches Vorschaltgerät

Farbwiedergabeindex (R_a , neu: CRI für Color Rendering Index)

Die Farbwiedergabe einer Lampe bezeichnet die Wirkung, die ihr Licht auf farbigen Gegenständen hervorruft. Lichtquellen haben unterschiedliche Farbwiedergabeeigenschaften – und nicht immer geben sie die Farben des betrachteten Gegenstands korrekt wieder. So kann es vorkommen, dass Gesichter unter dem Licht bestimmter Lampen fahl wirken oder Gemüse unappetitlich aussieht. Eine Bewertung der Farbwiedergabe erfolgt durch den Index R_a bzw. CRI. Er ist von häufig vorkommenden Testfarben abgeleitet und gibt an, wie natürlich Farben wiedergegeben werden. Generell gilt: Je niedriger der Index, desto mangelhafter werden die Körperfarben beleuchteter Gegenstände wiedergegeben. Ein Farbwiedergabeindex von 100 ist optimal.

KVG

Konventionelles Vorschaltgerät

Lebensdauer einer Lampe

Die Lebensdauer einer Lampe bezeichnet den Zeitraum, in der sie funktionsbereit ist. Sie wird maßgeblich von Umwelteinflüssen determiniert. Starke Erschütterungen, dauerhafte Vibration, Spannungsschwankungen, Häufigkeit des An- und Ausschaltens, Umgebungstemperatur und Zustand der eventuell benötigten Betriebsgeräte sind einige der wichtigsten Einflussfaktoren. Aus diesem Grund sind exakte Lebensdauerangaben nur schwer möglich. In der Praxis ist eine genaue Lebensdauerangabe nicht unbedingt erforderlich, da der Lampenwechsel meist zu einem Zeitpunkt erfolgt, der vor dem Ende der Nutzlebensdauer liegt und durch betriebliche Wartungsprozeduren vorgegeben wird. So könnte ein Wartungszyklus vorgeben, einen Gruppenwechsel von Lampen alle drei Jahre vorzunehmen. Folgende Angaben sind zu unterscheiden:

Mittlere Lebensdauer: Die mittlere Lebensdauer gibt an, nach welchem Zeitraum die Hälfte der Lampen einer Testgruppe unter genormten Bedingungen ausgefallen ist.

Nennlebensdauer: Die Nennlebensdauer ist die vom Hersteller veröffentlichte Lebensdauer, nach der bei einem bestimmten Schaltrhythmus ein bestimmter Prozentsatz der Lampen ausgefallen ist (z. B.: 12B10 entspricht 12-Stunden-Schaltrhythmus und Ausfallquote 10 Prozent).

Nutzlebensdauer: Die Nutzlebensdauer ist die Zeit, nach der der Anlagenlichtstrom auf 80 Prozent bei Leuchtstofflampen und 70 Prozent bei Hoch- und Niederdrucklampen abgesunken ist. Außerdem berücksichtigt sie neben der Ausfallrate der Lampen auch den Rückgang des Lichtstromes über die Lebensdauer, insofern dies für die Art des Leuchtmittels relevant ist (z. B. Entladungslampen, LED).

LED

Light-Emitting Diode, optischer Strahler, Lichtquelle auf Basis eines anorganischen Halbleitermaterials (Lumineszenz)

Leuchtenbetriebswirkungsgrad

Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad ist das Verhältnis des von einer Leuchte abgegebenen Lichtstroms bezogen auf den Nennlichtstrom der Lampen in der Leuchte.

Lichtausbeute

Die Lichtausbeute einer Lampe gibt an, wie wirtschaftlich die eingesetzte elektrische Leistung in Licht – den Lichtstrom – umgewandelt wird. Sie wird in Lumen pro Watt [lm/W] angegeben.

Systemlichtausbeute

Die Systemlichtausbeute bezeichnet den Grad der Umwandlung der elektrischen Leistung mit den Verlusten der evtl. notwendigen vorgeschalteten Bauteile in Licht. Sie hängt neben der Lampenlichtausbeute von der Verlustleistung notwendiger Betriebsgeräte (Vorschaltgeräte) ab.

Lichtfarbe

Die Lichtfarbe beschreibt die Eigenfarbe des von Lampen abgestrahlten Lichts (Farbtemperatur in Kelvin). Niedrige Farbtemperaturen beschreiben warme Lichtfarben, hohe Farbtemperaturen hingegen kalte, eher weißblaue Lichtfarben, die dem Tageslicht ähneln.

Lichttechnische Grundgrößen

Lichtstrom

Der Lichtstrom in Lumen (lm) gibt die Strahlungsleistung einer Lichtquelle in den gesamten Raum an. Dabei wird die Strahlung unter Berücksichtigung der Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges bewertet. Man könnte auch sagen, dass der Lichtstrom die „Menge“ des Lichts ist. Alle anderen lichttechnischen Größen leiten sich von dieser Grundgröße ab.

Lichtstärke

Die Lichtstärke I in Candela (cd) gibt an, welcher Anteil des Lichtstroms in eine bestimmte Richtung abgegeben wird. Dabei hängt die Lichtstärke nicht vom Abstand des Beobachters ab.

Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke E in Lux (lx) gibt den Lichtstrom bezogen auf die beleuchtete Fläche an, und zwar unabhängig von deren Reflexionsgrad. Fällt 1 lm Lichtstrom auf eine Fläche von 1 m², so ergibt sich eine Beleuchtungsstärke von 1 lx. Die Beleuchtungsstärke reduziert sich mit dem Quadrat der Entfernung zwischen Lichtquelle und Bewertungsebene. Mit anderen Worten: Je weiter die Lichtquelle entfernt ist, desto geringer ist die Beleuchtungsstärke.

Leuchtdichte

Die Leuchtdichte L in Candela pro Quadratmeter (cd/m²) ist die maßgebliche lichttechnische Größe für den Helligkeitseindruck, den eine selbstleuchtende oder beleuchtete Fläche im Auge erzeugt und bestimmt somit die Sehleistung. Die Leuchtdichte ist die einzige für den Menschen wahrnehmbare lichttechnische Größe.

Lichtverteilungskurve

Die räumliche Verteilung der Lichtstärke wird als Licht(stärke)verteilung beschrieben. Sie wird in Polarkoordinaten visualisiert, indem die Lichtstärke-Endpunkte zur Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) verbunden werden. An der LVK können Form und Symmetrie der Lichtstärkeverteilung abgelesen werden. Wichtigste Unterscheidungen sind tief- oder breitstrahlende sowie symmetrisch oder asymmetrisch strahlende Leuchten. LVKs sind Grundlage für die Planung der Beleuchtung in Innen- und Außenbereichen (Quelle: licht.de).

OLED

Organic-Light-Emitting Diode; geringere Strom- und Leuchtdichten, geringere Lebensdauer als LEDs (vgl. LED.), aber kostengünstiger in der Flächenanwendung.

Reflexionsgrad

Der Reflexionsgrad gibt an, wie viel Prozent des auf eine Fläche fallenden Lichts reflektiert wird. Dunkle Flächen benötigen eine höhere Beleuchtungsstärke, um den gleichen Helligkeitseindruck zu erzeugen.

Steuerung von Beleuchtungssystemen/Schnittstellen

Es gibt eine große Vielfalt an Möglichkeiten im Bereich der Steuerung von Beleuchtungssystemen: Sensorschalter, Dimmer, Infrarot-Bedienschnittstellen, tageslichtabhängiges Lichtmanagement oder auch intelligente Steuerungen über die Gebäudetechnik.

1–10V-Schnittstelle

Analoge Steuerung /Dimm-Funktion der Beleuchtungsanlage in einem definierten Spannungsbereich.

BACnet

Building Automation and Control Networks (vgl. ISO 16484), ein firmenneutraler Standard für Datenkommunikation; geeignet als Netzwerkprotokoll für die Gebäudeautomation.

DALI/DSI

Digital Adressable Lightning Interface; Protokoll zur Steuerung von lichttechnischen Betriebsgeräten wie z. B. Schaltnetzteilen („elektronischer Transformator“), elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) oder elektronischen Leistungsdimmern. Die digital/serielle Schnittstelle DSI (Digital Serial Interface) wurde weitestgehend durch DALI abgelöst.

DMX

Digital Multiplex; (ältere Versionen DMX512, DMX-512/1990) digitales Steuerprotokoll für Bühnen- und Veranstaltungstechnik zur Steuerung von Dimmern, Scheinwerfern und Effektgeräten.

Dynalite

Produktname für ein Lichtmanagementsystem der Fa. Philips

EIB/KNX

Europäischer Installationsbus, Standard nach DIN EN 50090, kommt aktuell nur noch in der Bezeichnung KNX vor. Die Abkürzung KNX entstand aus der 1999 gegründeten Konnex-Association der Gründungsmitglieder. Der Standard nach ISO 14543-3 ist geeignet zur softwaregestützten Steuerung von Beleuchtungssystemen.

LCN

Local Control Network; geeignet als universelles Gebäudeautomationssystem

LON

Local Operating Network; Feldbus-Standard in der Gebäudeautomation

NIKO

Bezeichnung eines Bussystems des gleichnamigen belgischen Herstellers.

OLE

Objekt Linking and Embedding (engl. Objekt-Verknüpfung und -Einbettung)

OPC

OLE for Process Control; geeignet zur herstellerunabhängigen Steuerung in einem Netzwerk

SMI

Standard Motor Interface; geeignet zur Ansteuerung von elektrischen Antrieben (z.B. Jalousien)

UPnP

Universal Plug and Play; geeignet zur Ansteuerung von Geräten über ein Netzwerk

VVG

Verlustarmes Vorschaltgerät

Wartungswert

Der Wartungswert kennzeichnet das Niveau, unter welches der Wert der entsprechenden lichttechnischen Größe während des Betriebs zu keiner Zeit absinken darf. Beispielsweise sind die in der DIN EN 12464-1 angegebenen Werte Wartungswerte. Der für die Planung der Beleuchtungsanlage relevante Neuwert ergibt sich aus diesem Wartungswert und dem Wartungsfaktor.

$$\text{Neuwert} = \text{Wartungswert} / \text{Wartungsfaktor}$$

Wartungsfaktor

Der Wartungsfaktor (Maintenance Faktor, MF) berücksichtigt die Abnahme des Lichtstroms der Lampen und die Lampenausfallrate, die Verschmutzung der Leuchten sowie des Raumes während einer vorgegebenen Betriebszeit. Folgende Werte sind für die Festlegung eines Wartungsplans und den zu installierenden Neuwert der Beleuchtungsanlage relevant:

Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor (Lampenlichtstromerhalt, Lamp Lumen Maintenance Factor, LLMF)

Verhältnis zwischen dem von einer Lampe zu einem gegebenen Zeitpunkt ihrer Lebensspanne ausgesendeten Lichtstrom und ihrem ursprünglichen Lichtstrom.

Lampenlebensdauerfaktor (Lampenüberlebensfaktor, Lamp Survival Factor, LSF)

Anteil der zu einem gegebenen Zeitpunkt unter bestimmten Bedingungen und bei bestimmter Schaltfrequenz noch funktionierenden Lampen an der Gesamtzahl der Lampen.

Lampen-Wartungsfaktor (LWF)

Der Lampen-Wartungsfaktor ergibt sich als Produkt aus Lampenlebensdauerfaktor und Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor (z. B.: Funktionieren noch 90 Prozent aller Lampen und der Lichtstrom der Lampen ist auf 85 Prozent gesunken, so ergibt sich ein Anlagenlichtstrom von 76,5 Prozent).

Leuchten-Wartungsfaktor (Leuchtenlichtstromerhalt, Luminaire Maintenance Factor, LMF)

Verhältnis zwischen dem Leuchtenbetriebswirkungsgrad einer Leuchte zu einem gegebenen Zeitpunkt und ihrem ursprünglichen Leuchtenbetriebswirkungsgrad. Je geringer der Schmutzanfall der Umgebung und je höher die Schutzart der Leuchte, desto besser, d. h. desto höher ist der Leuchtenwartungsfaktor.

Raumwartungsfaktor (Room Maintenance Factor, RMF)

Verhältnis der Reflexionsgrade von Decken, Wänden und Boden zu einem gegebenem Zeitpunkt und den Reflexionswerten am Anfang. Dieser Wert ist vom Verschmutzungsgrad des Raumes abhängig und hat den vergleichsweise geringsten Einfluss auf den Wartungsfaktor.

$$\text{MF} = \text{LWF} \times \text{LMF} \times \text{RMF}$$

Angaben zu den Lampenwartungsfaktoren können den Produktdatenblättern der unterschiedlichen Hersteller entnommen werden. Mindestvorgaben hierzu sind in den entsprechenden Durchführungsverordnungen zur Ökodesign-Richtlinie definiert.

9. Quellenverzeichnis und weiterführende Literatur

Informationen im Internet

➤ www.licht.de

licht.de mit Sitz in Frankfurt/M. wurde 1970 als eines der ersten Organe für kooperatives Marketing gegründet – damals unter dem Namen Fördergemeinschaft Gutes Licht (FGL). Heute zählt licht.de mehr als 120 Mitgliedsunternehmen aus der Leuchten- und Lampenindustrie, die im ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V., Frankfurt/M. – organisiert sind. Sie tragen licht.de nicht nur finanziell, sondern stellen auch das Fachwissen ihrer Lichtexperten zur Verfügung.

➤ www.on-light.de

On Light - Übersicht über alle Hersteller und Vertrieber von Lichttechnik in Deutschland, weiterführende Lichtinformationen

➤ www.lightcycle.de

Lightcycle - Informationen zur Entsorgung von Gasentladungslampen und LED-Lampen sowie Suche von Lightcycle-Sammelstellen (über ZVEI organisiert)

➤ www.zvei.de

Der Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V. ZVEI veröffentlicht regelmäßig Schriften und Fachinformationen. Beim Fachverband Licht sind unter Publikationen Schriften wie die Stellungnahme zu T5-Adaptern oder zu Umrüstsätzen für Leuchten zu finden.

➤ www.dguv.de

DGUV Informationen der deutschen gesetzlichen Unfallversicherungen zu Regelwerken, Informationsschriften usw. über die Medientankenbank zentral bzw. die der einzelnen Unfallkassen, Berufsgenossenschaften und Landesverbände

➤ www.saena.de

SAENA das sächsische Energieportal mit verschiedenen Energiesparinformationen und Publikationen

➤ www.litg.de

Die Deutsche Lichttechnische Gesellschaft ist nach eigener Aussage „die technisch-wissenschaftliche Heimat aller am Licht Interessierten“. Die LiTG verfolgt gemeinnützige Ziele. Sie ist organisiert als eingetragener Verein und hat zur Zeit ca. 2.300 Mitglieder. Entsprechende Einrichtungen existieren auch in Österreich (www.ltg.at) und der Schweiz (www.slg.ch).

➤ www.lotse-innenbeleuchtung.de

Dieses Online-Angebot der Deutschen Energie-Agentur (dena) bietet Ihnen systematische Unterstützung rund um die energieeffiziente Innenbeleuchtung für Bürogebäude sowie Industrie und Gewerbe. Hier erfahren Sie Schritt für Schritt, wie Sie Beleuchtungsanlagen modernisieren und somit die Stromkosten deutlich senken können. Das Vorgehen orientiert sich dabei an den einzelnen Phasen eines professionellen Modernisierungsvorhabens und umfasst neben der Bestandsaufnahme auch die Planung, die Finanzierung, die Beschaffung sowie die Wartung und den Betrieb der neuen Anlage.

➤ www.bine.info

unter → Publikationen → Projektinfos → Projektinfo 09/12 – Energieforschung konkret zum Thema Innenraumbeleuchtung im Büro, zu Hause oder in Schulgebäuden des BINE Informationsdiensts. BINE Informationsdienst ist ein Service vom Fachinformationszentrum Karlsruhe und arbeitet im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Schriften und Bücher

Grundlagenbuch für Lichtplaner: Baer, Roland (2006): Beleuchtungstechnik. Grundlagen ; [mit Software zur Beleuchtungsberechnung]. 3. Aufl. Berlin: Huss-Medien

Grundlagenbuch für Lichtplaner: Lange, Horst (1992): Handbuch für Beleuchtung. 5. Aufl. Landsberg: ecomed [Sonderausgabe SLG-LiTG-LTAG-NSVV]

Grundlagenbuch zum Thema Haus- und Gebäudetechnik: Laasch, Thomas; Volger, Karl; Laasch, Erhard (2005): Haustechnik. Grundlagen - Planung - Ausführung. 11. Aufl. Wiesbaden: Teubner

Informationsschrift auch zur Bürobeleuchtung: Bildschirm- und Büroarbeitsplätze. GUV-I 650, Leitfaden für die Gestaltung (2006). 2006. Aufl. München

Lichtqualität und Energiesparen in Büro und Verwaltungsgebäuden (Teil 2), Licht 6/2003, S548-552 Zeitschrift für Planung, Design, Technik und Handel, Richard Pflaum Verlag GmbH & Co. KG, München, 2003: Çakir, Gisela und Çakir, Ahmet

Leitfaden Nachhaltiges Bauen; Hrsg.: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Stand Januar 2001, 2.Nachdruck (mit redaktionellen Änderungen) [BMVBW-2001]

➤ www.din.de bzw. www.beuth.de

DIN EN 12464-1 von 2011-08 Licht und Beleuchtung, Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1 Arbeitsstätten in Innenräumen,
DIN EN 12464-2 von 2007-10 der Teil 2 behandelt Arbeitsplätze im Freien

DIN EN 15193 Energetische Bewertung von Gebäuden – Energetische Anforderungen an die Beleuchtung;
Deutsche Fassung EN 15193:2007,
Bezug über Beuth Verlag

➤ www.baua.de

Beleuchtung von Arbeitsstätten, Stand der Gesetzgebung, Projekt F 1988, Dortmund Berlin Dresden 2008, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Dortmund: Görner, Bettina

AMEV Beleuchtung 2006 - Hinweise für die Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden - Lfd. Nr.: 095, Aufgestellt und herausgegeben vom Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV), Geschäftsstelle des AMEV im Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin 2006

➤ www.licht.de

Heft „Lichtwissen 5 für Industrie und Handwerk“, Fördergemeinschaft Gutes Licht, Frankfurt a. M. 2009

10. Impressum

Herausgeber

Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH
Pirnaische Str. 9
01069 Dresden

Telefon: 0351 4910-3179
Telefax: 0351 4910-3155

E-Mail: info@saena.de
Internet: www.saena.de

Layout

media project creative network GmbH
Glashütter Str. 101
01277 Dresden

Telefon: 0351 34060-33
Telefax: 0351 34060-31

E-Mail: agentur@mediaproject.de
Internet: www.mediaproject.de

Redaktion

Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH

Anke Augsburg Licht:
Lichtdesign und Lichtplanung für Architektur

Erlenstraße 2b
04105 Leipzig

Internet: www.lichtarchitekten.com

Bildnachweis:

Titel: links, alle: © OSRAM; rechts: © Deutschen Werkstätten Hellerau - Fotograf Sven Döring, S. 14 unten: © iStock.com/ Alexey Stiop;
S. 18 alle © OSRAM, S. 19 v.rn.l.: © Wikipedia.de/Afran99; © OSRAM; © Wikipedia.de/KMJ; © OSRAM; © Wikipedia.de/Sabinezhangwang;
© OSRAM, S. 20 links: © OSRAM; rechts: © iStockphoto.com/Vladimir Melnik, S. 21 links: © LuxLED® Leipzig; rechts: © OSRAM, S. 30 ©
Leipziger Verkehrsbetriebe, S.33: © OSRAM, S. 37 © fotolia.com/Alexander Nasonov, S. 38: © Deutschen Werkstätten Hellerau – Fotograf
Sven Döring, S. 39: © OSRAM, S.43 © fotolia.com/Industrieblick

Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH

Pirnaische Straße 9, 01069 Dresden, info@saena.de

www.saena.de