

Effiziente Beleuchtungssysteme in Produktion, Verwaltung und Handel



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
8	1.4 Licht und menschliche Psyche
9	2. Beleuchtung von Arbeitsstätten
10	2.1 Beleuchtungsaufgaben
10	2.2 Beleuchtungsanforderungen und Richtlinien
15	3. Grundlagen der Lichttechnik
16	3.1 Eigenschaften von Lichtquellen
19	3.2 Vorschaltgeräte
19	3.3 Lampenarten
23	3.4 Leuchtenarten
24	3.5 LED-Leuchtensysteme
30	4. Steuerung von Beleuchtungssystemen
34	5. Energieeffizienz in der Beleuchtung
34	5.1 Grenz- und Zielwerte einer effizienten Beleuchtung
36	5.2 Praktische Handlungsmöglichkeiten für eine energieeffiziente Beleuchtung
38	6. Planung von Beleuchtungssystemen
40	6.1 Beispiel Büroarbeitsplatz
42	6.2 Beispiel Arbeitsplatz in der Produktion
43	6.3 Beispiel Arbeitsplatz im Handel
44	7. Checklisten für den Um- bzw. Neubau von Beleuchtungssystemen
48	8. Glossar
52	9. Weiterführende Literatur
54	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. Insbesondere in diesem Sektor ist der Anteil der Beleuchtung am gesamten Energieverbrauch nicht unerheblich. So liegt der Anteil mit ca. 14 % nur wenig unter dem Anteil für Motoren und Antriebe und sogar doppelt so hoch wie bei Informations- und Kommunikationstechnik (Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren, AG Energiebilanzen, 2017). Die Einsparung von Energie bei gleichzeitiger effektiver Beleuchtung ist in der Wirtschaft ein bedeutender Faktor. Es ist wichtig, sich vor allem dort mit dem energieeffizienten und angemessenen 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).

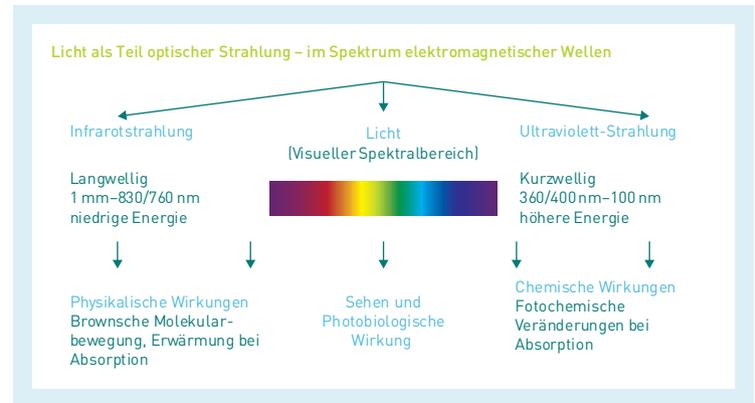


natürliche Beleuchtungssituationen	Beleuchtungsstärke
Auge (dunkeladaptiert – untere Wahrnehmungsgrenze)	ca. 10^{-4} lx
direkte Sommersonne (Mitteleuropa)	ca. 60.000–100.000 lx
Sonniger Himmel/im Schatten	ca. 2.000–10.000 lx
Sonnenlicht im Winter	ca. 10.000 lx
Bedeckter Himmel im Sommer	ca. 5.000–20.000 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

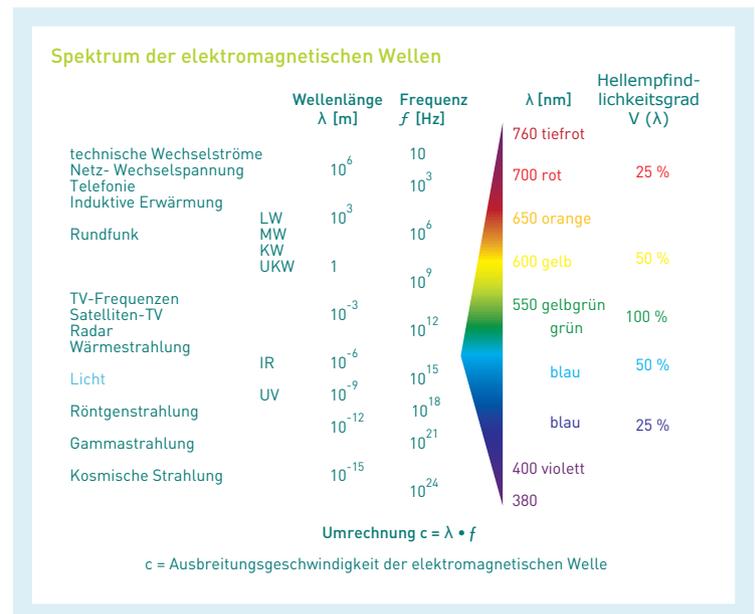
Die untere Wahrnehmungsgrenze des Auges (an Dunkelheit adaptiert) liegt bei einer Beleuchtungsstärke von ca. 0,0001 lx. Das helladaptierte Auge kann bis über 120.000 lx wahrnehmen.

1.2 Was ist Licht?

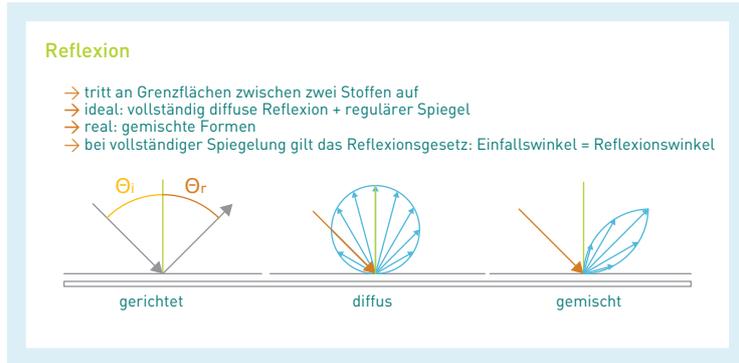
Licht bezeichnet umgangssprachlich das für den Menschen sichtbare Spektrum der elektromagnetischen Wellen zwischen ca. 380 und 780 Nanometern. Unterschiedliche physikalische Theorien zur Beschreibung der Eigenschaften von Licht ergänzen sich. Seit Isaac Newton weiß man z. B., dass sich weißes Licht aus 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



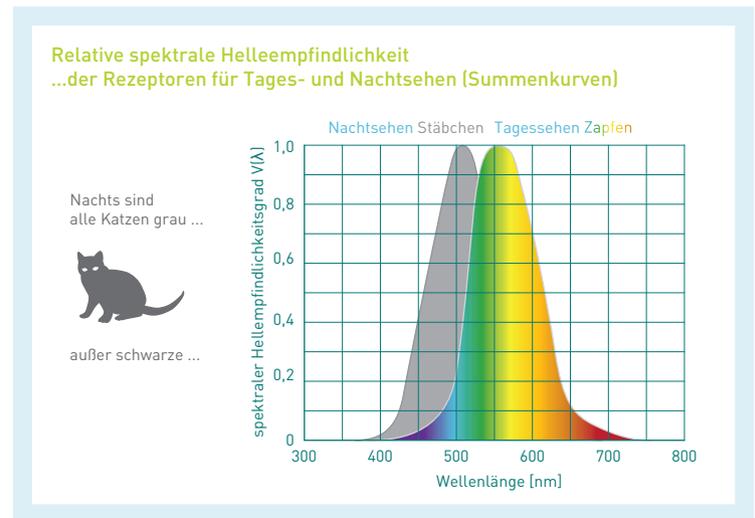
einer Quelle ausgehen und kann das erklären, was Newtons Modell nicht konnte. Augustin Fresnel hat 1822 herausgefunden, dass jede Spektralfarbe einer ganz bestimmten Wellenlänge entspricht. Zu jeder Wellenlänge gehört ein Farbeindruck, der vom kurzwelligen energiereichen Violett über Blau, Blaugrün, Grün, Grüngelb, Gelb, Orange bis zum langwelligen energiearmen 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. Beispielsweise 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 optischer Strahlungsanteile in Wärme bzw. chemische oder elektrische Energie (Photozelle). Die optische Strahlung von Lichtquellen hat Einfluss auf Materialien bei Absorption. Auch das Licht von LED ohne zusätzliche Anteile im IR- oder UV-Bereich kann beispielsweise mit seinem energiereichen Blauanteil im Spektrum Alterungsprozesse auf Materialien hervorrufen.

1.3 Licht und menschliches Sehvermögen

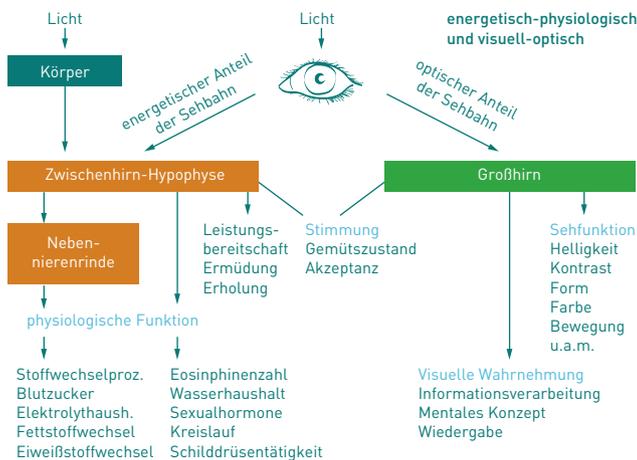
Der Mensch orientiert sich im Unterschied zu vielen anderen Lebewesen in seiner Umwelt vorrangig visuell. Das Auge ist sein wichtigstes Fern-Sinnesorgan. Mehr als drei Viertel aller Informationen, die der gesunde Mensch aufnimmt, lassen sich auf Sehnehmungen zurückführen. Ohne Licht wäre das Sehen für den Menschen unmöglich. Deswegen liegt es nahe, Licht und Beleuchtung 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. Man unterscheidet die visuell-optische und die energetisch-physiologische Verarbeitung der Sinnesreize im Körper. Der Körper kann sich 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 % der Reizwahrnehmung wird heute mit der relativen spektralen Empfindlichkeitskurve dieser drei Sensorgruppen unserer Netzhaut dargestellt.

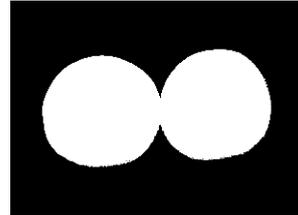
Verarbeitung im Gehirn – 2 Pfade der Verarbeitung



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 Leuchtdichte-Niveaus 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.

Sehprozess

Wahrnehmung von:



Kontrast



Helligkeit



Farbe



Bewegung

+ Form, Linie, Raum, Gestalt...

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.

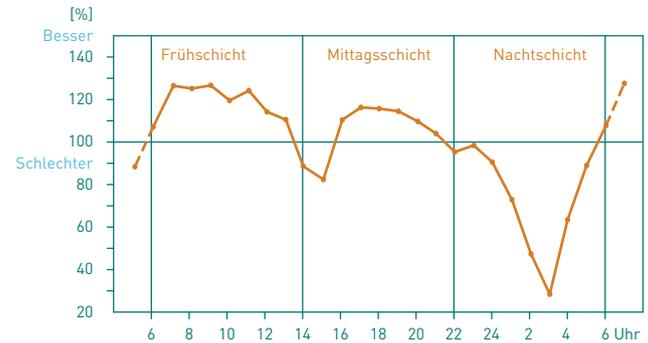
Die moderne Arbeitswelt entfernt sich immer mehr von den natürlichen Tag-Nacht-Rhythmen. Wir verbringen die meiste Zeit in Gebäuden. Viele Menschen arbeiten im Schichtbetrieb oder in fensterlosen Gebäuden, sehen vor allem in den dunklen Jahreszeiten kaum das Tageslicht. Das wirkt sich oft negativ auf 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. Der „Trigger“ Tageslicht fehlt für die „Ausgeglichenheit“ des Körpers. Jeder zehnte Erwachsene in Deutschland leidet z. B. unter saisonal bedingter Depression, einer Art Lichtmangelerkrankung. 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 den Individuen ausreichend Licht, entwickeln 5 bis 20 % 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 die meiste Zeit des Tages mit Kunstlicht leben und arbeiten müssen, sollte dieses effizient und wirkungsvoll dosiert werden.

Dem natürlich gegebenen Biorhythmus des Menschen sollte so weit wie möglich entsprochen werden, um „Nebenwirkungen“ zu vermeiden. Bei der Anwendung von weißen LED-Systemen muss man wissen, dass der im Licht enthaltene energiereichere Blauanteil Wirkung auf die Unterdrückung des Schlafhormones Melatonin hat.

Tagesverlauf der Leistungsbereitschaft des Menschen

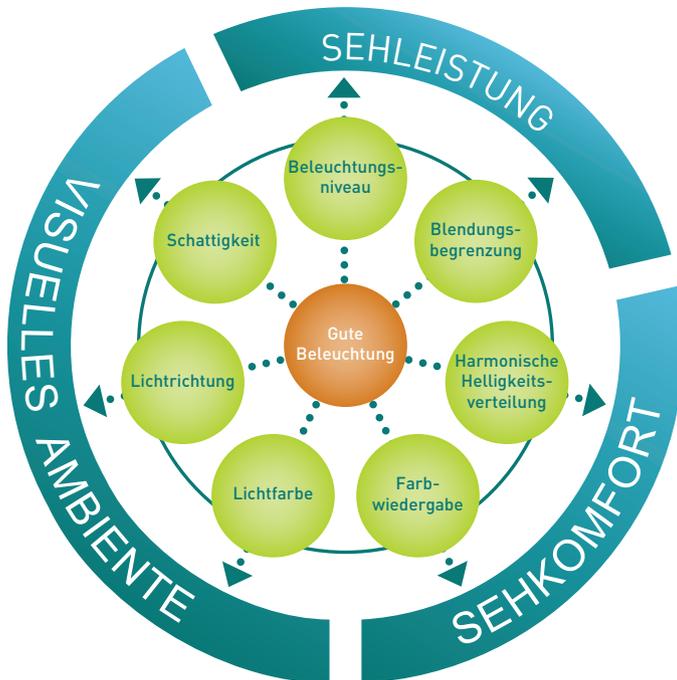


Auch der Sehvorgang ist nicht immer leistungsfähig! Die Scharfeinstellung des Bildes, die Fusion beider Bilder bei der Wahrnehmung usw. verlaufen gemeinsam mit dem Biorhythmus.

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, Fehleraten 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.

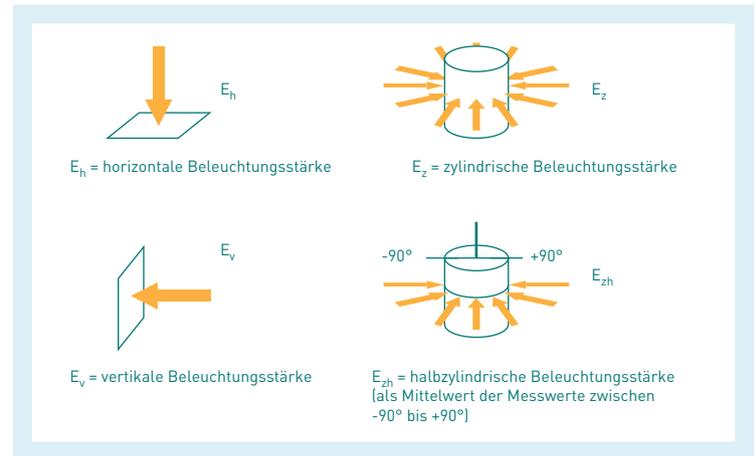
Ob ein Beleuchtungssystem mehrerer Leuchten diffus, indirekt oder direkt ausgerichtet wird, richtet sich nach der jeweiligen Arbeits- und Gestaltungsaufgabe. Die europäische Norm zur Beleuchtung von Arbeitsstätten DIN EN 12464/Teil 1 (2011) und Teil 2 (2014) für Arbeitsplätze im Freien dient in Deutschland 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; Neben der Tageslichtintensität in Arbeitsplatznähe spielt hier die Sichtverbindung nach Außen eine wichtige Rolle;
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.

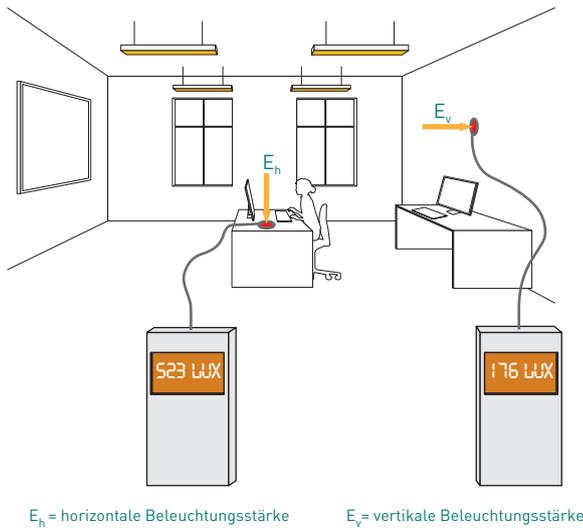
Zusätzlich zum allgemeinen Stand der Technik sind sogenannte allgemein anerkannte Regeln der Bautechnik rechtlich bindend anzuwenden. Manche Normen und Richtlinien werden indirekt über Gesetze, wie z. B. im Arbeitsschutz zur Vorschrift. Andere Regeln, z. B. berufsgenossenschaftliche Regeln oder Vorschriften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

Wenn 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:



Arten der Beleuchtungsstärke auf Flächen



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 und der arbeitende Mensch dabei so wenig wie möglich geschädigt wird. Es geht um fehlerfreies und gesundes Arbeiten. Es sind präventiv solche Arbeitsbedingungen 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.

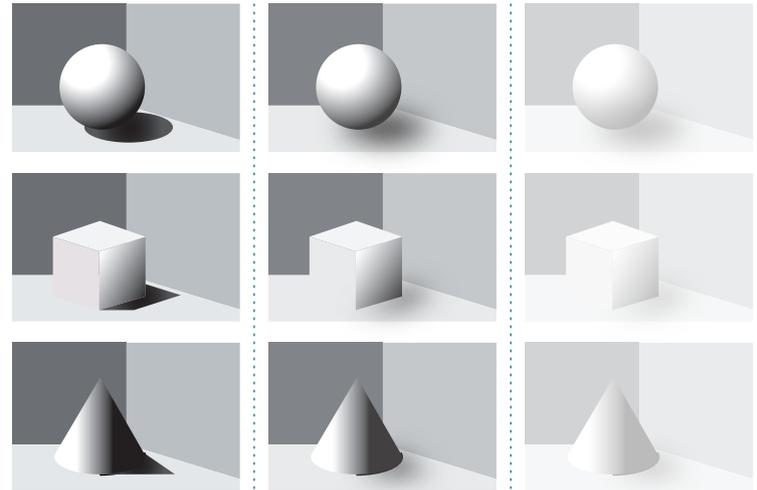
Darüber hinaus spielen Parameter wie Gebrauchstauglichkeit eine Rolle, die technische Systeme an die Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen anpasst. Auch technische und menschliche Zuverlässigkeitskriterien gehören mit in die ergonomische Betrachtung. Das sind vor allem kognitive Aspekte. Nicht zuletzt 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) bzw. der berufsgenossenschaftlichen Regeln, Vorschriften und Informationen (DGUV R, V, I) 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 sowie Beiblatt 1 als aktueller Stand der Technik anzuwenden. Eine begründete Abweichung von den vorgegebenen Mindestwerten der Güte der Beleuchtung ist möglich. Hierbei dürfen Schutzziele nicht verletzt werden.



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. Halogenglühlampen) und Entladungsstrahlern (z. B. Leuchtstofflampen, Hochdruck-Halogenmetaldampflampen, Hochdruck-Natriumdampflampen). 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 Elektronik-Geräten.

Weiterhin gilt die Ökodesign- bzw. ErP-Richtlinie (Rahmenrichtlinie 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. Durchführungsverordnungen zur Produktgruppe Beleuchtung regeln, welche Lichtquellen, Vorschaltgeräte und Leuchten gehandelt werden dürfen. Grundlegende Neuregelungen zur Produktgestaltung beim Thema Beleuchtung sind ab 01. September 2021 zu erwarten. Dann soll es ebenfalls neue Energielabel mit einer einheitlichen Skalierung von A bis G geben.

ENERGIEEFFIZIENZKLASSEN NACH EU-ENERGIELABEL UND ZUORDNUNG DER LICHTQUELLEN

Effizienzklassen (EU)	Lichtausbeutebereich (hier beispielhaft für Lampen mit 700 lm Lichtstrom, entspricht ca. 60 W Glühlampe), Werte ganzzahlig gerundet	Beispiele für Lichtquellen die eine entsprechende Lichtausbeute erreichen
A++	> 111 lm/W	LED
A+	72-111 lm/W	LED
A	51-72 lm/W	LED, Energiesparlampe, Leuchtstofflampe (T5)
B	20-51 lm/W	LED, hoch-effiziente Niedervolt-Halogenlampe, Energiesparlampe
C	15-20 lm/W	Halogenlampe
D	13-15 lm/W	Halogenlampe
E	< 13 lm/W	Halogenlampe

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.

Gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) 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
SächsBO	Sächsische Bauordnung
EltBauVO	Verordnung über elektrische Betriebsräume
LAR	Brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen
VstättVO	Versammlungsstättenverordnung

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 % 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 Produktanwendung 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/Leuchtmittel = 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.

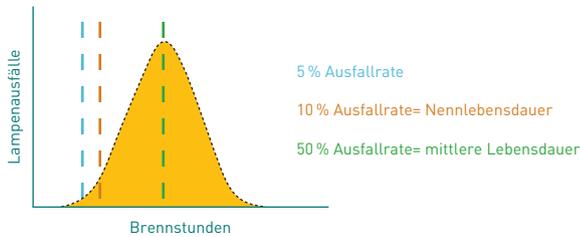


3.1 Eigenschaften von Lichtquellen

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

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

Arten der Lebensdauerangaben für Lampen

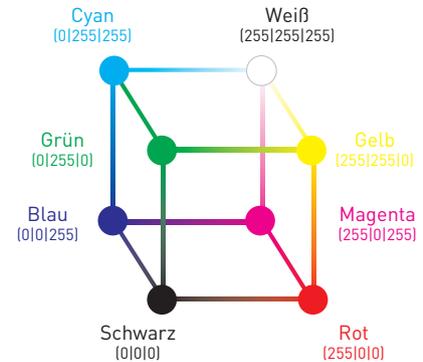
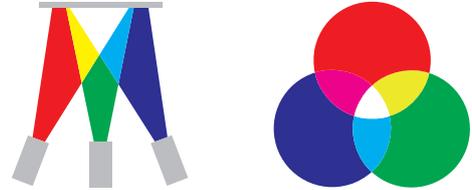


Eine Erläuterung zu den verwendeten Definitionen finden Sie im Glossar.

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

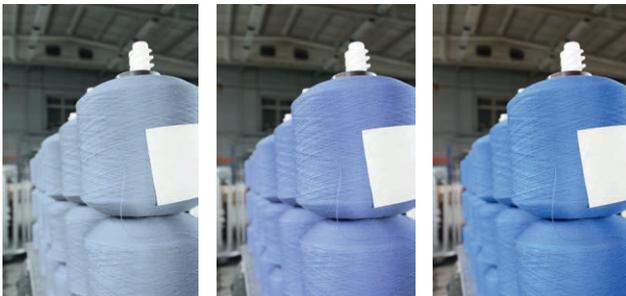
Weiterhin sind die Notwendigkeit von Betriebsgeräten oder Treibern, die Dimmbarkeit, das Temperaturverhalten, die Brennstellung sowie Umweltaspekte wie Schadstoffgehalt und letztendlich auch die Kosten bei Investition, Betrieb und Entsorgung zu berücksichtigen.

Lichtquelle	Lichtausbeute [lm/W]	übliche Lebensdauer [h]	Spektrum und Farbwiedergabe	Vorschaltgerät/ Regelbarkeit	Einsatzbereiche
Kerze, Öllampe	0,2	wenige	kontinuierlich, ww, 100	–	nur für Ambiente
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
Halogenmetaldampf-lampe	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-Retrofitlampe	ab 100	bis zu 35.000	diskontinuierlich, ww, nw, tw, von 80–95	eingeschränkt, nur mit passenden Dimmern etc.	für nahezu alle Bereiche als Übergangslösung, bei konventionellen Lampenfassungen
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

Tageslicht erscheint uns mittags bei bedecktem Himmel eher bläulich sowie morgens und abends eher rötlich anmutend. Auch das künstlich erzeugte weiße Licht tritt in verschiedenen Lichtfarben auf. Die Farbqualität von weißem Licht wird durch die Lichtfarbe und Farbwiedergabe definiert.

Weißes Licht wird durch die ähnlichste Lichtfarbe/Farbtemperatur beschrieben und in K (Kelvin) angegeben. Dabei gibt es die Bezeichnungen warmweiß (bis 3300 K) mit mehr gelblich roten Spektralanteilen, neutralweiß (3300 K bis 5000 K) und tageslichtweiß (über 5000 K) mit mehr blauen Spektralanteilen. Trotz gleicher Lichtfarbe haben Leuchtmittel aufgrund verschiedener spektraler Zusammensetzung ihrer Strahlung unterschiedliche Farbwiedergabe-Eigenschaften. Als objektiver Kennwert der Farbwiedergabeeigenschaft wurde der Farbwiedergabeindex CRI eingeführt. Er bezeichnet das Maß der Übereinstimmung der gesehenen Farbe eines geometrischen (Muster-)Körpers mit ihrem Aussehen unter einer bestimmten Bezugslichtquelle. Um die Lichtfarbe und Farbwiedergabe von Lichtquellen international eindeutig zu kennzeichnen, wurde eine herstellernerneutrale dreistellige Farbbezeichnung eingeführt.

Farbwiedergabe auf gewickeltem Nähgarn



schlechte Farbwiedergabe
CRI = 60

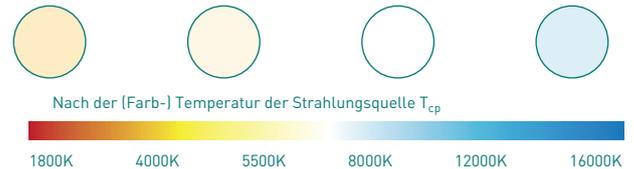
gute Farbwiedergabe
CRI = 80

sehr gute Farbwiedergabe
CRI = 95

Die dreistellige 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.

Nach welchem Kriterium kann man weißes Licht unterscheiden?



warmweiß (ww)
neutralweiß (nw)
tageslichtweiß (tw)

$T_{cp} > 3300$ K warm
 $3300 \text{ K} \leq T_{cp} < 5000$ K mittel
 $5000 \text{ K} \leq T_{cp}$ kalt

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)

3.2 Vorschaltgeräte

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.

Allgemein wird zwischen (magnetisch) konventionellen, verlustarmen und elektronischen Typen unterschieden. 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.

LEDs und LED-Module müssen ebenfalls an EVGs betrieben werden (Ausnahme Hochvolt-LED-Module). Diese sind genau an die zu versorgenden LEDs angepasste Netzteile und Treiber. Diese werden i.d.R. vorprogrammiert eingebaut. Neben der erforderlichen konstanten Stromversorgung können diese EVGs beispielsweise zur Sicherstellung eines konstanten Lichtstroms über die Lebensdauer oder zur Dimmung dienen.

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.

3.3 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 nach wie vor zu unterscheiden:

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

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.



Arten der Lichterzeugung und Eigenschaften

Lichtquellen ————— Sonne/Sterne

technische Lichtquellen

Festkörperlampen

Temperaturstrahlung

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



mit elektrischer Energieerzeugung

Glühlampen

gasgefüllte Glühlampen

ohne Halogen



mit Halogen



Lumineszenz

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



Bauformen LED:

SMD (Surface Mounted Device)
SuperFlux
COB (chip-on-board)
LED-Filaments
OLEDs

Entladungslampen

Bogenentladung

offen brennend
z.B.:
Bogen
Beckbogen



mit lichtdurchlässigem Kolben

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



Glimmentladung

Glimmlampen ohne positive Säule
(Anzeigelampen)

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



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

kontinuierliches Spektrum

verschiedene Spektren,
meist diskontinuierlich

Spektrallampen (diskontinuierlich)

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 %, 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
- + lange 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

- + sehr hohe Effizienz, als farbiges Licht sehr hohe Effizienz
- + sehr hohe Lebensdauer (meist über 30.000 h je nach Type)
- + gute Farbwiedergabe (Vollspektrum)
- + sehr kleine Abmessung (LED)
- + Flächenlicht mit OLED, Punktlicht mit LED
- + uneingeschränkt dimmbar (mit geeigneten Dimmern)

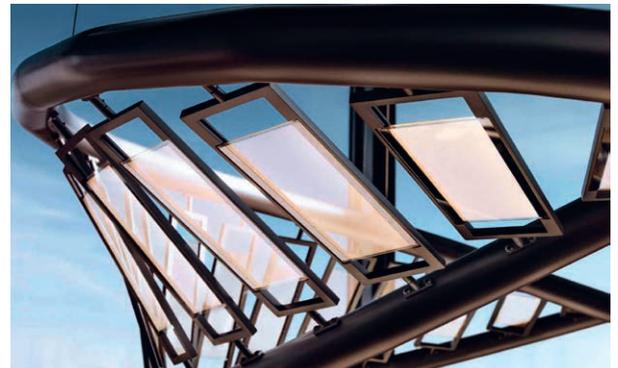
Weißes Licht wird heute meist mit blauen LEDs und einem gelben möglichst breitbandigen Leuchtstoff erzielt. Farbige LED-Anwendungen sind wesentlich effizienter als andere Lichtquellen mit Farbfiltern. Die Weiterentwicklung von OLED lässt ganz neue Lichtgestaltungen mit flächigem Licht erwarten.

OLED (Organic Light Emitting Diode): Diese Lichtquelle besteht im Gegensatz zur anorganischen LED aus einer organischen halbleitenden Dünnschicht. Das Einsatzgebiet der OLEDs wird jedoch mittelfristig nicht in der Allgemeinbeleuchtung liegen.

- temperaturabhängig, Kühlung und Feuchteschutz müssen optimiert sein
- Blendgefahr bei zu hohen Leuchtdichten am Lichtpunkt



LED-Beleuchtung im äußeren Tankstellenbereich



OLEDs, Designerleuchte „Rollercoaster“ von OSRAM

3.4 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. Splitter- und Schutz) 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. 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

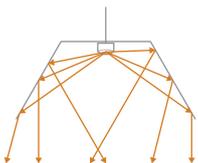
- realisiert durch Art des Reflektors und der Leuchtenabdeckung
- weißer Reflektor, weißes Raster, Spiegelraster
- Spiegelreflektor/Opalwanne, Prismenwanne
- Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB}

Montageart

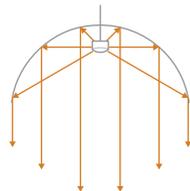
- Einbauleuchten, Anbauleuchten, angehängte Leuchten, Stehleuchten, Arbeitsplatzleuchten (fest oder ortsveränderlich)

Gestalterische Aspekte (Design)

Beispiele Lichtverteilung – Reflektortypen



Ebener Reflektor



Parabolischer Reflektor



Kombination von sphärischem und parabolischem Reflektor



Elliptischer Reflektor

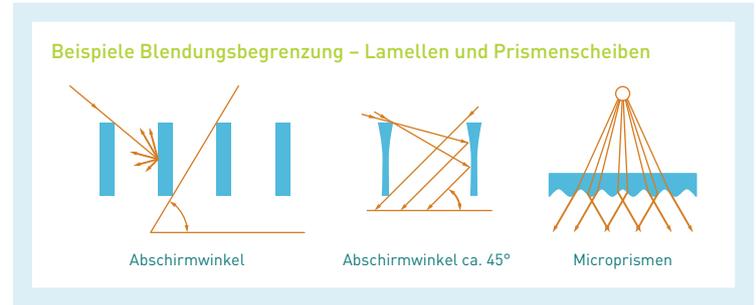
Leuchtenfunktionen

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, Linsen 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).

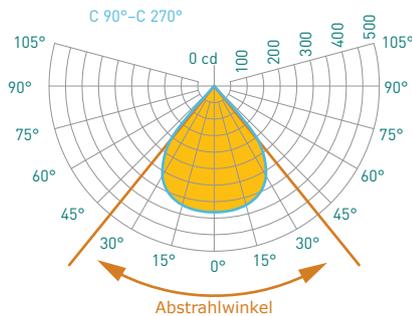
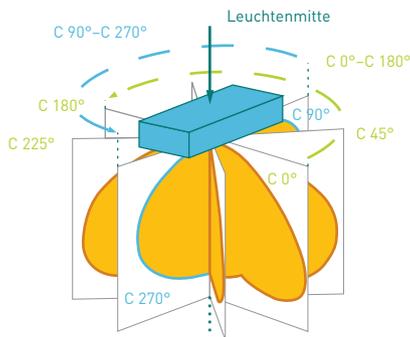


3.5 LED-Leuchtensysteme

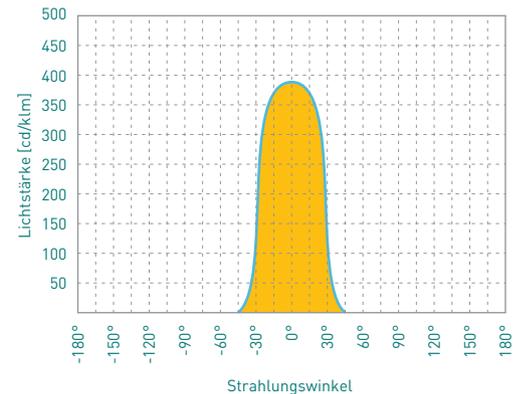
Die Entwicklung der LED zu einem ausgereiften und hocheffizienten Leuchtmittel verlief in den letzten 10 Jahren rasant. Inzwischen werden fast nur noch LED-Leuchten neu verbaut.

Die LED-Technik ermöglicht neue, teils sehr komplexe Lösungen. Die Einhaltung geforderter Standards und die Beschaffung einer hohen Qualität der Beleuchtung wird für den Anwender immer anspruchsvoller.

Lichtstärkeverteilungskurve



Polardiagramm



Kartesisches Lichtstärke-Diagramm (bei Strahlern)

Vorteile der LED wie Energieeffizienz, Langlebigkeit, Lichtqualität, Nachhaltigkeit, Wartungsfreundlichkeit und Ausfallsicherheit werden nur bei richtigem Leuchteneinsatz erreicht. Planungs- und Betriebsfehler können bei LED-Beleuchtungsanlagen schnell zu einem Funktionsverlust und frühzeitigem Totalausfall führen und damit einen wirtschaftlichen Schaden verursachen. Eine häufige Fehlerquelle sind falsch berechnete Ausfallraten bei spezifischen Projekt-Umgebungstemperaturen (zu geringe Montagehöhen, wärmegeämmte Einbaurote, fehlende Kaminwirkung zur Kühlung, Abwärmestau, Feuchtigkeit).

Daher bedarf es einheitlicher Definitionen, Qualitätskriterien und Kennwerte von LED-Modulen und LED-Leuchten. Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) hat dementsprechende Kennwerte und Normen zur Arbeitsweise von LED-Leuchten (IEC 62722) und LED-Modulen (IEC 62717) formuliert. Ein objektiver technischer Vergleich von LED-Leuchten erfordert die Betrachtung dieser Kennwerte:

Bemessungsleistung [W]

Bemessungslichtstrom [lm]

Leuchten-Lichtausbeute [lm/W]

Lichtstärkeverteilung [cd]

Farbqualitätskriterien

- Ähnlichste Farbtemperatur [K]
- Farbwiedergabe-Index Ra
- Farbtoleranz

Bemessungsumgebungstemperatur [°C]

Lebensdauerkriterien

- Bemessungslebensdauer [h]
- Mittlere Bemessungslebensdauer
- Totalausfall
- Zeit bis Totalausfall
- Totalausfallrate

Flimmern und stroboskopische Effekte

Bemessungsleistung einer Leuchte

Die Systemleistung der gesamten Leuchte umfasst die notwendige Leistungsaufnahme in Watt aller in der Leuchte eingebauten und für deren Betrieb erforderlichen Komponenten, einschließlich der Verlustleistung der notwendigen Betriebsgeräte.

Für den Betrieb von LED-Systemen benötigt man genau an die zu versorgenden LEDs angepasste Netzteile und Treiber, die sogenannten elektronischen Vorschaltgeräte. Elektronische Vorschaltgeräte unterliegen ebenso wie LEDs einer definierten Lebensdauer, Ausfallraten und Umgebungstemperaturabhängigkeiten. Bei den Kennwerten für LED-Leuchten und LED-Module werden die EVGs nicht gesondert betrachtet, sondern deren technische Daten gehen in den (Gesamt-)Kennwert ein!

Die gemessene Systemleistung einer LED-Leuchte darf im Betrieb mit der angegebenen Bemessungsspannung (üblicherweise 230 V), der angegebenen Bemessungsumgebungstemperatur und mit 100 % des angegebenen Lichtstroms den angegebenen Wert der Bemessungsleistung nicht mehr als 10 % überschreiten.

Wird bei LED-Leuchten die Konstantlichtstrom-Technologie eingesetzt, so ist ein weiterer Wert der Bemessungsleistung am Ende der definierten Lebensdauer anzugeben.

Bemessungslichtstrom einer Leuchte

Der Bemessungslichtstrom beschreibt die gesamte Strahlungsleistung einer Leuchte, die im sichtbaren Bereich in alle Richtungen abgestrahlt wird. Die gemessene Bemessungslichtstrom einer LED-Leuchte darf im Betrieb mit der angegebenen Bemessungsspannung, der angegebenen Bemessungsumgebungstemperatur (i.d.R. 25 °C) und bei 100 % der angegebenen Bemessungsleistung den angegebenen Wert nicht mehr als 10 % unterschreiten. Dieser Wert bezieht sich immer auf den Neuwert des Lichtstroms einer Leuchte.

Praxistipp: Gerade für Energieeffizienzmaßnahmen, bei denen eine vorhandene Beleuchtung 1:1 unter Beibehaltung der Leuchtenstandorte und Verkabelung durch neue LED-Leuchten ersetzt wird, besteht oft die Gefahr, dass stellenweise die geforderte Beleuchtungsstärke überschritten wird. Es würde mehr Licht als notwendig und damit auch relativ mehr Energie verbraucht werden. Daher empfiehlt es sich, Leuchten einzusetzen, deren Lichtstrom stufenweise an der Leuchte voreinstellbar ist, um nur die notwendige Lichtmenge punktgenau einzubringen und somit (noch mehr) Energie zu sparen.

Leuchten-Lichtausbeute

Die Lichtausbeute gibt an, wie effizient die eingesetzte elektrische Energie in Licht umgewandelt wird. Die Leuchten-Lichtausbeute berechnet sich als Quotient aus dem Lichtstrom und der Systemleistung einer Leuchte.

Sie taugt jedoch nicht (allein) zur Beurteilung der Energieeffizienz von Leuchten, da hier auch Streulichtanteile miteinberechnet sein können, die nichts zur Ausleuchtung der zu beleuchtenden (Ziel-) Fläche beitragen. Eine hohe Effizienz wird durch optimierte optikgestützte Lichtlenkung und systematische Reduzierung von Streulichtanteilen erreicht.

Lichtstärkeverteilung

Die räumliche Verteilung der Lichtstärke einer Leuchte wird durch Lichtstärkeverteilungskurven beschrieben. Je nach Form und Symmetrieeigenschaften der Lichtstärkeverteilung unterscheidet man tiefstrahlende, breitstrahlende, symmetrische, asymmetrische, direkt strahlende Leuchten, direkt-indirekt strahlende und indirekt strahlende. Eine weitere Einteilung kann aufgrund des Lichtstromanteils in den unteren bzw. oberen Halbraum erfolgen.

Farbqualität

Neben den bereits in Kapitel 3.1 beschriebenen Qualitätskriterien Lichtfarbe und Farbwiedergabe gilt insbesondere für LED-Leuchten auch deren Farbtoleranzbereich als ein wesentliches Kriterium der Farbqualität.

Bei der Herstellung von LED-Platinen treten Toleranzen auf, die unter anderem zu Unterschieden in der Lichtfarbe führen. Daher werden LEDs nach der Produktion gemessen und in Toleranzklassen aufgeteilt. Dieser Prozess wird als Farb-Binning bezeichnet.

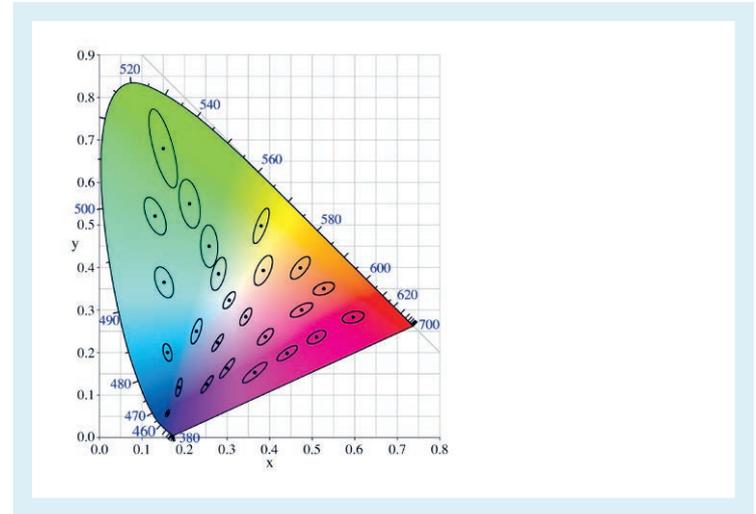


Abb. MacAdam-Ellipse, Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:CIExy1931_MacAdam.png

Die Farborttoleranz wird durch die MacAdam-Ellipsen beschrieben. Sie geben in ihrem Zentrum einen Bereich im CIE-Normvalenzsystem an, der alle Farben enthält, die vom menschlichen Auge nicht mehr unterschieden werden können.

Insbesondere bei repräsentativen Anwendungen in Shops, Meetingräumen und auch größeren Büros, in denen sich einzelne Lichtquellen in räumlicher Nähe zueinander befinden und gleichzeitig wahrgenommen werden können, sollte auf geringe Farbabstände geachtet werden.

Über den Lebenszyklus der LEDs hinweg altern die in den Chips verwendeten Leuchtstoffe. Die Angabe der Farbtoleranzen erfolgt daher mit einem Anfangswert und einem zweiten Wert nach Ablauf einer bestimmten Betriebsdauer (z. B. nach 50.000 h).

Bemessungsumgebungstemperatur

Die Langlebigkeit eines LED-Leuchtensystems wird im Wesentlichen durch die Umgebungstemperatur beeinflusst!

Die Erzeugung von Licht durch Umwandlung von elektrischer Energie erzeugt immer Wärme, auch bei LEDs. Im Gegensatz zu konventionellen Leuchtmitteln reagiert der Halbleiter LED sehr empfindlich auf Wärme. LED-Leuchten sind daher mit großen Kühlkörpern bzw. entsprechend großer Gehäuseoberfläche versehen, um die entstehende Wärme ableiten zu können. Mit steigender Umgebungstemperatur wird es noch schwieriger die Wärme abzuleiten. Moderne LED-Systeme werden zunehmend temperaturstabiler.

Vereinfachend kann man sagen, dass eine Erhöhung der Umgebungstemperatur um 10 Kelvin eine Halbierung der Lebensdauer bewirkt, jedoch lässt sich umgekehrt feststellen, dass eine Unterschreitung um 10 Kelvin fast zu einer Verdopplung der Lebensdauer führt. Als Wert für die Bemessungsumgebungstemperatur ist ein Wert von 25 °C normiert, abweichende Werte sind zu kennzeichnen. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, dass außerdem die höchste Bemessungsumgebungstemperatur t_a angegeben wird, bei der ein „sicherer Betrieb“ der Leuchte hinsichtlich Lebensdauer und lichttechnischer Eigenschaften zulässig ist. Die Angabe einer Lebensdauer mit Bezug zu einer Umgebungstemperatur bezieht sich nur auf den hypothetischen Fall, dass eine Leuchte dauerhaft der gleichen Umgebungstemperatur ausgesetzt ist.

Praxisbeispiel: Einsatz von LED-Leuchten in einer unbeheizten, nicht klimatisierten Industriehalle, Leuchtenanbringung 50 cm unterhalb der Hallendecke: Die Umgebungstemperatur der Leuchten liegt im Winter gleich der Außentemperatur, im Frühling/Herbst 10 °C über der Außentemperatur, im Sommer 30 °C über der Außentemperatur (Sonneneinstrahlung, warme Hallenluft steigt nach oben). Aus dem gemittelten Jahrestemperaturprofil der Umgebungstemperatur der Leuchte wird deutlich, dass die Leuchten 4 Monate weit oberhalb der Bemessungsumgebungstemperatur von 25 °C betrieben werden. Da die Leuchte aber insgesamt die längere Zeit im Bereich unterhalb ihrer Bemessungsumgebungstemperatur betrieben wird,

geht man davon aus, dass der „sichere Betrieb“ dieser Leuchten gewährleistet ist und die Lebensdauer der Leuchte nicht wesentlich beeinträchtigt ist.

Bei der Verortung und Installation von LED-Leuchten ist auf folgendes zu achten:

- Montagehöhen im Raum/unter Decken
- Leuchtenabstand untereinander (gegenseitiges Erwärmen)
- Luftzirkulation/Wärmeabfuhr in geschlossenen Decken
- Berücksichtigung von Schwankungen der Umgebungstemperatur
- Verschmutzungsgrad
- direkte Sonneneinstrahlung auf die Leuchte

Das Abschätzen und kritische Bewerten der Lebensdauer kann nur für ein konkretes Projekt erfolgen. Die Kennwerte gelten nur für standardisierte, aber zumeist sehr realitätsferne Bedingungen.



Quelle: ZVEI Zentralverband der Elektroindustrie, Fachverband Licht, Leitfaden Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung, überarbeitete 2. Ausgabe, 2016

Der Leuchtenhersteller muss aber Kennwerte seines Beleuchtungssystems zur Verfügung stellen, damit der Planer bzw. Nutzer hieraus seine projektbezogene Lichtplanung und einen entsprechenden Wartungsplan erstellen können.

Lebensdauerkriterien von LED-Leuchten

Die Lebensdauer von LED-Leuchten ist im Wesentlichen durch das Unterschreiten eines bestimmten Mindestlichtstroms (Degradation) und deutlich seltener durch einen Totalausfall begrenzt.

Die Lichtstromdegradation kann sowohl durch die Degradation der einzelnen LED wie auch durch den Ausfall einzelner LEDs innerhalb einer LED-Leuchte verursacht sein.

Bemessungslebensdauer von LED-Leuchten – Beispiel L80 B10 → 50.000 h

Alle Angaben zu Bemessungslebensdauern sind Prognosewerte, die nicht über die gesamte Lebensdauer gemessen wurden. Mittels Extrapolation der Ergebnisse kürzerer Messzeiträume werden diese Messwerte ermittelt.

Der L-Wert (mittlere Bemessungslebensdauer) gibt den Anteil des Bemessungslichtstroms in % an, der nach Ablauf der benannten Lebensdauer noch vorhanden ist. L80 bedeutet, dass noch 80 % des Bemessungslichtstroms nach 50.000 Betriebsstunden (bei der angegebenen Bemessungsumgebungstemperatur) erreicht werden (max. 20 % Lichtstromrückgang vom Ausgangswert). Dies kann theoretisch durch Rückgang des Lichtstroms aller LEDs auf 80 % oder einen Totalausfall von 20 % der LEDs oder die Kombination beider Ereignisse ausgelöst werden. Praxisrelevant ist der letztgenannte Fall, weshalb zusätzlich ein Wert B angegeben wird.

Der B-Wert (Anteil der Leuchten am Lichtstromrückgang) nennt die statistische Anzahl der betroffenen LEDs nach Ablauf der angegebenen Lebensdauer in %, die unterhalb des angegebenen L-Wertes

liegen können. B10 bei 50.000 h bedeutet zum Beispiel, dass 10 % der Leuchten einen schlechteren Wert des Lichtstromrückgangs L haben. Wird B nicht explizit ausgewiesen, ist von B50 auszugehen.

Ein C-Wert gibt den Totalausfall von LED im System an. Dieser Wert ist bei modernen Systemen sehr gering, weshalb er meist nicht angegeben wird. Die Ausfallrate von Vorschaltgeräten liegt in der Regel unter 1 % je 5000 h Lebensdauer. Diese Werte werden in der Regel ebenfalls nicht detailliert ausgewiesen. Gemäß Empfehlung des ZVEI werden LED-Leuchten nur durch den L-Wert gekennzeichnet.

Systemzuverlässigkeit

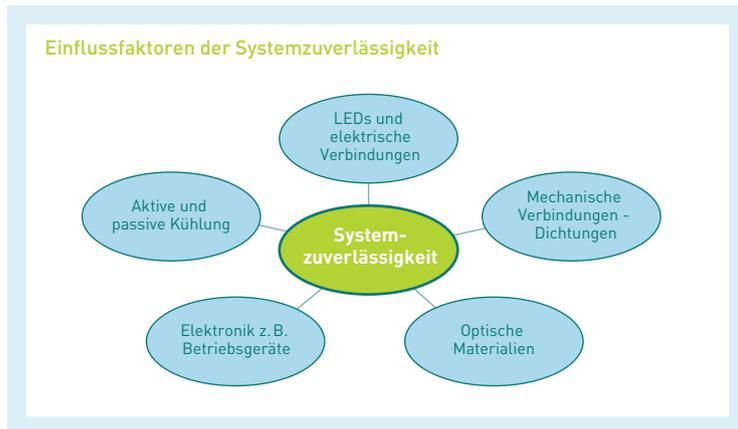
Die Lebensdauer von LED-Leuchten wird durch die Zuverlässigkeit aller im Leuchtensystem verbauten Komponenten (LEDs, EVGs, Kühlung, Mechanik) sowie durch die Umgebungsbedingungen am Einsatzort bestimmt. Der Ausfall nur einer Leuchtenkomponente bewirkt schon den Totalausfall der gesamten Leuchte.

Lichtflimmern (engl. Flicker) und stroboskopische Effekte

Viele LED-Systeme werden aus wirtschaftlichen Gründen mit preiswerteren modulierenden Netzteilen versorgt. Die Lichtfrequenzen liegen in der Regel über der visuell sichtbaren Flimmerverschmelzungsfrequenz von ca. 22 bis 90 Hz (je nach Lichtintensität). Eine gute Abstimmung von LED-Modul und Vorschaltgerät spielt hier eine sehr wichtige Rolle. Bei Frequenzen unter Werten von ca. 400 Hz können Belastungen des visuellen Systems beim Menschen auftreten. Das kann zu stärkeren Ermüdungserscheinungen, Unwohlsein oder (auch unbewusstem) Stress führen. Lichtsensitive Menschen nehmen peripher ein störendes Flimmern wahr.

Die Bewertung des Flimmerns ist auch für professionelle Anwender noch schwierig. Neue Regelungen zur Produktgestaltung im Bereich Beleuchtung sollen entsprechende Vorgaben enthalten.

Praxistipps: Indem man die Hand oder ein Lineal sehr schnell im Licht der Lampe hin und her wedelt, kann Flimmern wahrgenommen werden. Besonders sensibel reagiert das seitliche Blickfeld auf Flimmern. Eine weitere einfache Methode ist die Verwendung einer Smartphonekamera. Sofern das Leuchtmittel flimmert, sieht man auf dem Bildschirm sich bewegende helle und dunkle Bänder.



Exkurs: LED – Verschmelzung von Leuchte und Lampe – zukünftig kein LEUCHTMITTELTausch vorgesehen.

Da die Leuchtmittellebensdauer von LEDs inzwischen bei deutlich über 30.000 Betriebsstunden liegt, nähern sich Leuchten- und Leuchtmittellebensdauer einander an, so dass sie zunehmend zu einer Betriebseinheit verschmelzen.

Das ermöglicht einerseits optimierte technische Beleuchtungslösungen und erfordert andererseits eine genaue lichtplanerische Betrachtung der einzelnen Nutzungsdauern je nach Einsatzort, Zweckbestimmung und Anwendungseigenschaften. Nachfolgende Anwendungsfälle verdeutlichen diese Überlegungen:

- Leuchten mit hoher IP-Schutzart sind irreversibel voll versiegelt und geschlossen (z. B. spezielle industrielle Umgebungen mit Wasser, Chemikalien, Staubpartikeln). Der Einsatz langlebiger Leuchtmittel spielt hier eine entscheidende Rolle.
- Leuchten in Industriehallen mit 24-Stunden-Schichtbetrieb oder Leuchten in Tunneln, öffentlichen Durchgängen ohne Tageslicht erreichen bereits nach 7 Jahren eine Betriebsdauer von 52.000 h, sodass ein LED-Modulaustausch notwendig ist, da die übliche Nutzungsdauer dieser hochwertigen Leuchten bei 10 Jahren und mehr liegt.
- Shopbeleuchtungen mit einer 14-Stunden-Betriebsdauer pro Tag, 6 Tage pro Woche erreichen nach 7 Jahren (der durchschnittliche Renovierungszyklus) eine Gesamtbetriebsdauer von ca. 30.500 h, – eine Lebensdauer, die von LED-Leuchtmittel bereits heute deutlich überschritten wird.
- Leuchten in privaten Haushalten haben tägliche Betriebszeiten von 30 Minuten bis zu 4 Stunden, so dass hier theoretische Nutzungsdauern von 40 und mehr Jahren möglich sind.

Dementsprechend sind bei der Planung einer Beleuchtungsanlage die Lebenszykluskosten zu berücksichtigen und planerische Entscheidung darüber zu treffen, ob austauschbare oder fest verbaute LED-Module zum Einsatz kommen.

Grundsätzlich lassen sich folgende Austauschscenarien beschreiben:

- Kein Austausch möglich (komplett konstruiertes und ineinander verschmolzenes Leuchtensystem – Nutzungsdauer der Leuchte entspricht der Nutzungsdauer des LED-Moduls mit Betriebsgerät)

- Austausch durch den Hersteller im Werk
- Austausch durch eine Fachkraft am Einsatzort (wenn dies herstellereitig vorgesehen ist, die Sicherheit der ausführenden Person gewahrt ist (Schutz gegen elektrischen Schlag), die mechanische, elektrische und thermische Verbindung zwischen Leuchten und neuem LED-Modul wiederhergestellt wird, die lichttechnischen Eigenschaften der Leuchte erhalten bleiben)
- Werkzeugloser Austausch durch den Endnutzer am Einsatzort (keine elektrische und thermische Änderung der Leuchte)

Die am Markt verfügbaren modernen LED-Beleuchtungssysteme verfügen überwiegend über nicht austauschbare Komponenten. Ursache hierfür ist die rasante technologische Entwicklung sowie immer noch fehlende Standardisierung, welche einen gleichwertigen und normierten Ersatz nach Jahren bei gleichzeitiger Einhaltung der ursprünglichen lichtplanerischen Anforderungen unmöglich macht. Erste Ansätze bilden die Bemühungen über ZHAGA Standards, bestimmte LED-Module ähnlich wie bei Ersatzlampen austauschbar herzustellen.

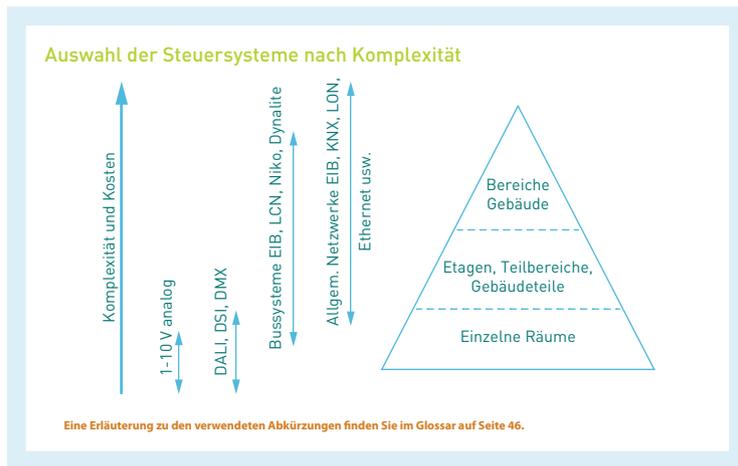
LED-Leuchtmittel sind gemäß der DIN EN 62031 (Sicherheit von LED-Modulen) und DIN EN 60598-1 (Sicherheit von Leuchten) verfügbar als:

- Ersatz für konventionelle Lampen RETROFIT – „Lichtquelle“ – Lampe mit standardisiertem Lampensockel
- LED-Lampen mit neuen Sockeln – „unabhängiges LED-Modul“, das unabhängig von einer Leuchte oder einem zusätzlichen Gehäuse montiert und betrieben werden kann (z. B. Module nach ZHAGA)
- LED-Module zur Integration in Leuchten – „ersetzbare Lichtquelle“/„eingebautes LED-Modul“/„nicht vom Nutzer ersetzbare Lichtquelle“, die von Herstellern bzw. qualifizierte Fachkräfte über Klemmen, Verbinder angeschlossen und ausgetauscht werden können
- LED-Leuchten – „nicht ersetzbare Lichtquelle“, die für den dauerhaften Gebrauch bestimmt und fester Bestandteil einer Leuchte ist, sie kann nicht getauscht werden, ohne dass die Leuchte beschädigt wird

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 oder Dimmer, die bewegungsaktive Regelung und Schaltung über Präsenzmelder, das tageslichtabhängige Lichtmanagement, die sensorgeführte Automatik-Lichtregelung bis hin zu dynamischen Lichtszenen mit Farb- und Intensitätsänderung über einen gegebenen Zeitraum 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 1-10 V und digitale Schnittstellen wie DSI (Digital Serial Interface), DALI (Digital Adressable Lightning Interface) oder DMX 512 (Digital Multiplex). Es gibt bei manchem EVG integrierte Funkschnittstellen für Programmierungen und Bedienung sowie vorbereitete Sensoranschlüsse. 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

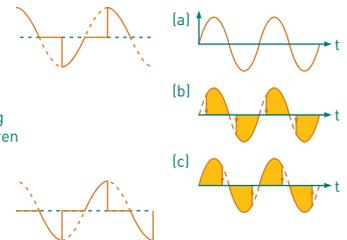
Dimmer (230V)

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)



zusätzlich eine Netzabschaltung vorsehen. Verschiedene Schnittstellen haben unterschiedliche technische Eigenschaften, die zu berücksichtigen sind.

Manuelle Lichtregelung

Das bedarfsgerechte Zu- und Abschalten von Lampen und Leuchten nennt man manuelle Bedienung. Vorteil dieser Art der Lichtregulierung 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.

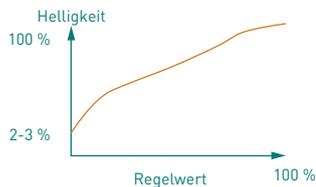
Die Sensibilisierung für wirtschaftliches Energiesparen bedarf hier nur einer organisatorischen Maßnahme. Es entstehen keine zusätzlichen Investitionskosten. Allerdings ist diese Art der Lichtregulierung auch nicht vollständig kontrollierbar. Außerdem kann das Schalten ergonomische Probleme hervorrufen, wenn z. B. nur Teilbereiche beleuchtet werden und der Rest eines Raumes dunkel bleibt.

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

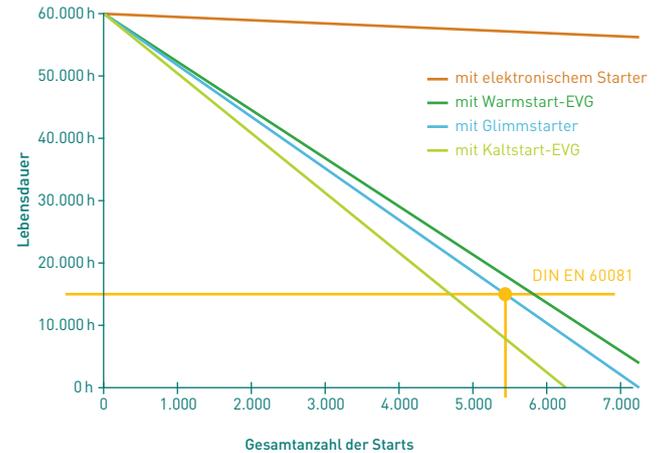
weiteres langes Tasten ändert die Dimmrichtung,
2-3 % bis 100 % Regelbereich



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 aufgrund der Alterung mancher Systeme mit Entladungslampen bei häufigem Schalten.

Um die Lebensdauer einer Leuchte mit konventionellem Vorschaltgerät oder Kaltstart-Vorschaltgerät für Leuchtstofflampen zu verbessern, ist es sinnvoll, in Räumen, die länger als 10 Minuten nicht benutzt werden, die Beleuchtung ganz auszuschalten. Bei Leuchten mit Warmstarteinschaltung 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. LED-Systeme hingegen sind problemlos schalt- und regelbar und können jederzeit aus- und eingeschaltet werden.

Wechselt das Blickfeld in diese dunklen Teilbereiche, muss das Auge häufiger adaptieren, was zu Ermüdungserscheinungen führen kann.

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 für ungenutzte Beleuchtung 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.

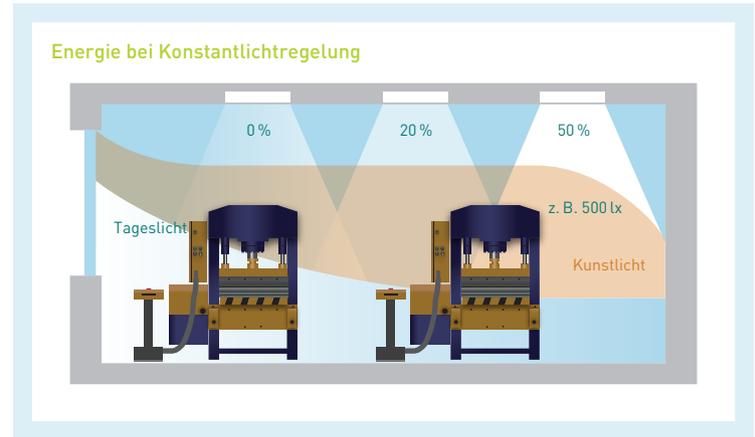
Die Höhe der Einsparung hängt dabei also von der Aufenthaltswahrscheinlichkeit in diesen Räumen ab. Der Einbau von Bewegungs- oder Präsenzmeldern mit integrierten Schaltaktoren bzw. Dimmern bringt hier nicht nur Kosteneinsparungen, sondern steigert auch den Komfort und die Sicherheit. Oft sind solche 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 so viel Kunstlicht erzeugt werden muss, wie für eine optimale Ausleuchtung auf einem bestimmten Beleuchtungslevel erforderlich ist. Eine Konstantlichtregelung kann bis zu 50 % Energie im Vergleich zu ständig eingeschalteten Systemen einsparen. Dafür ist der



Einbau von dimmbaren Leuchten und entsprechenden Regelsystemen mit Sensoren notwendig. Zusätzliche Bedienmöglichkeiten 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.

Hinweis: Eine automatische Präsenzdetection in Industrieanlagen ist häufig schwer realisierbar, da Passiv-Infrarot-Sensoren Wärmebewegungen und Sensoren mit Radarprinzip Bewegungen von Objekten als Präsenz detektieren. Warme Luftbewegung bzw. Maschinenvibration könnten als Präsenz detektiert werden und es kommt zu Fehlfunktionen der Lichtsteuerung.

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 Dynalite (Markenname der Fa. Philips) sind in großen Gebäuden inzwischen Standard. 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, 0-10 V, DMX, Funk, Ethernet) 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. Die moderne Leuchte übernimmt mit integrierten Sensoren zusätzliche Funktionen für die Steuerung und kann bei entsprechender Ausstattung auch auf das Licht aufmodulierte Daten und Informationen abgeben. Damit ist zum Beispiel die Anwendung von Indoor Positioning oder LiFi (Datenempfang über Licht) möglich. Das IOT (Internet of Things) hält damit Einzug in professionellen Anwendungen.

Steuerung von Beleuchtungssystemen

Wichtigste Techniken zum Steuern von Licht

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

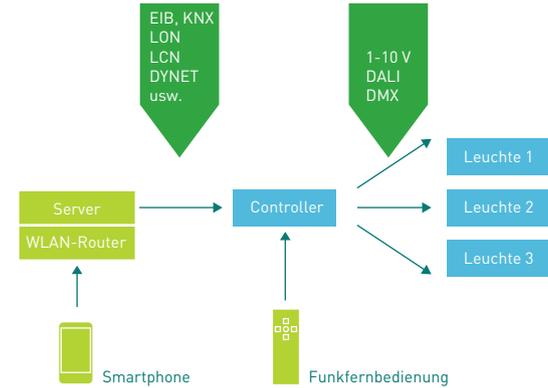
Komplexe Systeme zur Steuerung

- 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.

Im Handel bringt z. B. die Einbeziehung der Kunden in die visuelle Kommunikation mit Umwelt, Produkt und Marke ganz neue Möglichkeiten der Raumgestaltung. Hierbei werden auch Verbindungen zu individuellen Mobilgeräten und Apps genutzt.

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 Komforterhöhung – 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 oder sogar eine bessere 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 Güteermerekmale 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. Seit 2009 muss beispielsweise jedes Nichtwohngebäude in Deutschland mit mehr als 1000m² Nettogrundfläche nach der Energiesparverordnung EnEV einen Energieausweis haben. Dazu ist auch die Effizienz und Qualität der Beleuchtung zu prüfen. Ein Verfahren ist in DIN V 18599 beschrieben.

Diese Richtlinien und Normen enthalten sogenannte Nutzerrandbedingungen und einen Vergleich des Energiebedarfes mit einem Referenzgebäude.

In Bezug auf Beleuchtung soll die Effizienz von Beleuchtungssystemen, insbesondere der Wirkungsgrad von Beleuchtungseinrichtungen, die Verbesserung der Tageslichtnutzung, die Ausstattung zur Regelung und Abschaltung dieser Systeme, optimiert werden um vermeidbare Energieverluste zu verhindern.

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, sehleistungsorientierte, 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 Güteermerekmale 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 Leuchtensystem 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 Lampenwechsel 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. Es gibt smarte Retrofit-LED-Lampen mit Zusatzfunktionen, wie veränderbaren Lichtfarben und programmierbaren Lichtszenen, Fernsteuerung über App oder Sprachassistenten etc. Dabei müssen die erhöhten Standby-Verbräuche berücksichtigt werden, da diese Lampen immer in Empfangsbereitschaft sind.



Retrofit für E27-Sockel



Retrofit für GU10-Sockel

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.

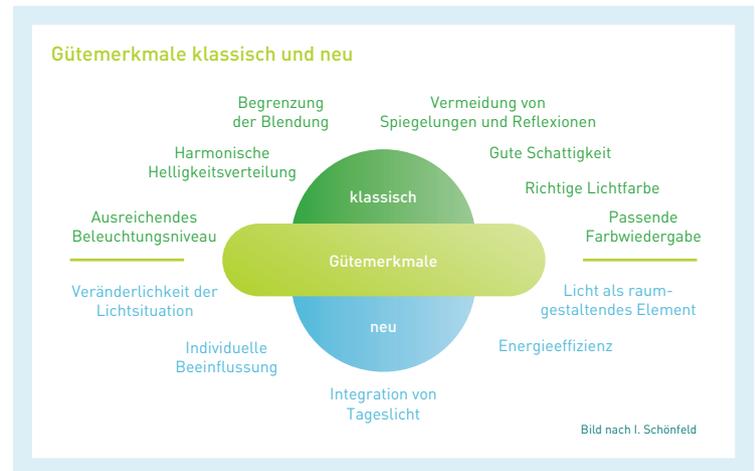
Je früher in eine Gesamtkonzeption eines Neu- oder Umbaus auch die Beleuchtungsaufgabe mit einbezogen wird, desto effizienter, wirtschaftlicher und nachhaltiger können Beleuchtungsaufgaben gelöst werden, so dass Nachbesserungen unnötig werden. Es ist immer von einer Ist-Analyse (dem Gegebenen) und Soll-Definition (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.

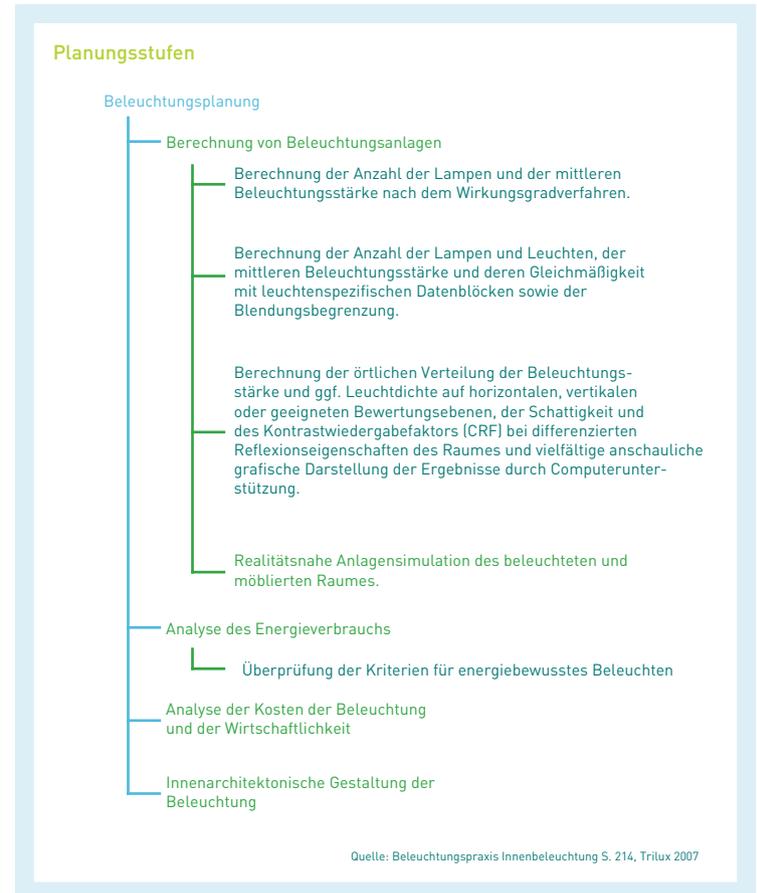


Im ersten Arbeitsschritt wird der Bedarf eines Beleuchtungssystems für einen Neu- oder Umbau zuallererst mit den wichtigsten Güteigenschaften definiert. Diese Güteigenschaften sollen im Folgenden aufgelistet werden:

- 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.

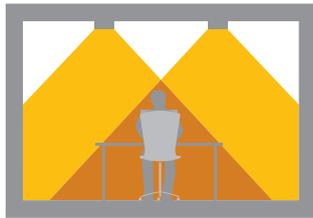
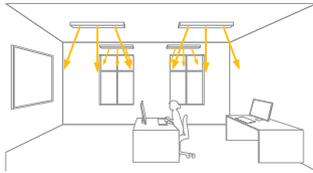


6.1 Beispiel Büroarbeitsplatz

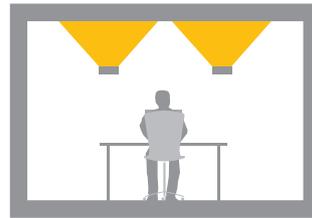
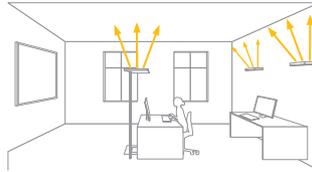
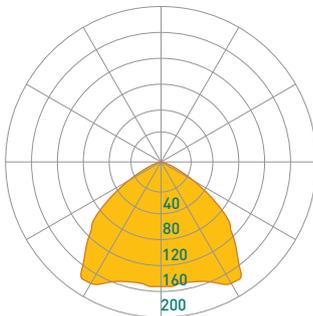
Einer der Vorteile der modernen Gesellschaft ist, dass sie arbeits- teilig funktioniert. Ein Arbeitsplatz im Büro unterscheidet sich von einem Arbeitsplatz in der Fertigung oder im Einzelhandel – und zwar nicht nur hinsichtlich der dort zu bewältigenden Aufgaben, sondern auch hinsichtlich der beleuchtungstechnischen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

An einem Büroarbeitsplatz möchte man aufgrund der vorwiegend sitzenden Tätigkeit vor allem einen ergonomisch gut ausgestatteten 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

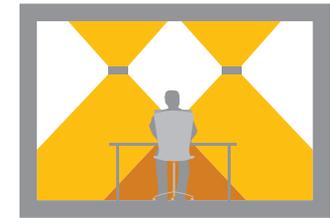
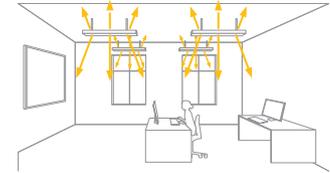
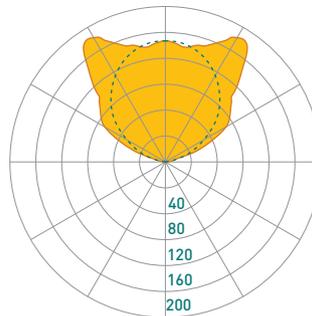
Beispiel direkte/indirekte und kombinierte Beleuchtung



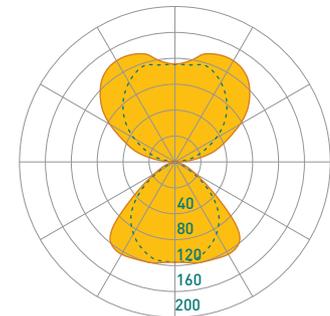
Beleuchtung
direkt strahlend
effizient



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 aufgehellt 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 oder auch Halogenmetaldampf-Hochdrucklampen eingesetzt. 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. Pausenräume sowie Unterkünfte sind mit möglichst ausreichend Tageslicht zu gestalten und sollen eine Sichtverbindung nach außen haben.

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 das Maß der Dinge – doch nur hochwertige Produkte können die Ansprüche an Lichtqualität, Lichtausbeute, Lebensdauer und elektrische Sicherheit erfüllen. Insbesondere 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	60	22	80
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"/>
Einbausituation	Wärmeableitung	<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, arbeitsplatzsbezogen	<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"/>
Einbausituation	Wärmeableitung	<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, 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 usw.	<input type="checkbox"/>
Mögliche Leuchtentypen	Direkt, indirekt, kombiniert	<input type="checkbox"/>
Montageart	Einbau, Anbau, Pendel	<input type="checkbox"/>
Einbausituation	Wärmeableitung	<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 (CRI für Color Rendering Index, R_a)

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 CRI (früher R_a). 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.

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 %).

Nutzlebensdauer: Die Nutzlebensdauer ist die Zeit, nach der der Anlagenlichtstrom auf 80 % bei Leuchtstofflampen und 70 % 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 m^2 , 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/m^2) 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.

1–10 V-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 Firma 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

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

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 % aller Lampen und der Lichtstrom der Lampen ist auf 85 % gesunken, so ergibt sich ein Anlagenlichtstrom von 76,5 %).

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. 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 130 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 Vertreiber 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.lichtnet.de

Zeitschrift Licht mit vielen Fachinformationen seit 1948, Licht-Termine, Neues aus der Branche usw.

➤ www.zvei.org

Der Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V. ZVEI veröffentlicht regelmäßig Schriften und Fachinformationen zur Planungssicherheit mit LED-Leuchten.

➤ www.dguv.de

DGUV Informationen der deutschen gesetzlichen Unfallversicherungen zu Regelwerken, Informationsschriften usw. über die Mediendatenbanken 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).

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

Informationsschriften auch zur Bürobeleuchtung: Beleuchtung im Büro DGUV 215-442 (2008) und Bildschirm- und Büroarbeitsplätze DGUV 215-410 Leitfaden für die Gestaltung (2006).

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 2011-08 Licht und Beleuchtung, Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1 Arbeitsstätten in Innenräumen, DIN EN 12464-1 Beiblatt 1:2017-08 Beleuchtungskonzepte und Beleuchtungsarten für künstliche Beleuchtung

Das Beiblatt ergänzt die DIN EN 12464-1:2011-08 und enthält Inhalte der DIN 5035-7:2004-08, die nicht in DIN EN 12464-1:2011-08 behandelt werden (besonders Arbeitsplätze mit Bildschirmen und Hilfestellung zur Verständigung zwischen DIN EN 12464-1 und der in Deutschland gültigen ASR A3.4).

DIN EN 12464-2 2014-05 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 Regelsetzung, Projekt F 1988, Dortmund Berlin Dresden 2008, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Dortmund: Görner, Bettina

➤ [AMEV](http://AMEV.de)

Beleuchtung 2016 (Stand 2017) - Hinweise für die Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden - Lfd. Nr.: 129, Aufgestellt und herausgegeben vom Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV), Geschäftsstelle des AMEV im Bundesministerium des Inneren für Bau und Heimat, Berlin 2016.

➤ [ZVEI](http://ZVEI.de)

Zentralverband der Elektroindustrie, Fachverband Licht, Publikationen zu verschiedenen Themen z. B.:
Information Temporal Light Artefacts – Flimmern und Stroboskopeffekt, Frankfurt a. M., 2017
Leitfaden Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung, überarbeitete 2. Ausgabe, 2016
Einsatz von LED-Lampen als Alternative zu zweiseitig gesockelten Leuchtstofflampen in Leuchten, 2016

➤ www.licht.de

Heft 4 „Licht im Büro motivierend und effizient“, 2012
Heft 5 „Industrie und Handwerk“, 2018
Heft 6 „Shopbeleuchtung, attraktiv und effizient“, 2011
Heft 12 „Lichtmanagement“, 2016
Heft 17 „LED: Grundlagen – Applikation – Wirkung“, 2018
Heft 21 „Leitfaden Human Centric Lighting“, 2018

10. Impressum

Herausgeber

Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH
Pinnaische Str. 9
01069 Dresden

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

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

Redaktion

Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH

Anke Augsburg Licht:
Lichtdesign und Lichtplanung für Architektur
www.lichtarchitekten.com

Dipl.-Ing. Dirk Seifert
Lichtstudio Halle
www.lichtstudio-halle.de

Bildnachweis:

Titel: links, oben: © OSRAM; mitte: © Deutsche Werkstätten Hellerau - Fotograf Sven Döring; unten: SIMMEL AG Chemnitz; rechts: © PONGS Technical Textiles Mühltruff - Fotograf Rainer Weisflog, S. 7 Jogger © Freepik.com, https://www.freepik.com/free-vector/running-race-silhouette-set_721525.htm; Äpfel © Stefan Gröschel, S. 15 oben: © krasyyuk - stock.adobe.com; S. 15 unten: © iStock.com/Alexey Stiop; S. 19 alle © OSRAM, S. 20 v.rn.l.: © Wikipedia.de/Afran99; © OSRAM; © Wikipedia.de/KMJ; © OSRAM; © krasyyuk - stock.adobe.com; © Wikipedia.de/Sabinezhangwang; © OSRAM, S. 21 links: © OSRAM; rechts: © iStockphoto.com/Vladimir Melnik, S. 22 links: © LuxLED® Leipzig; rechts: © OSRAM, S. 34 © Leipziger Verkehrsbetriebe, S.37 links: © Andrei Kuzmik - stock.adobe.com; rechts: © Madzik - stock.adobe.com; S. 41 © fotolia.com/Alexander Nasonov, S. 42: © Deutschen Werkstätten Hellerau – Fotograf Sven Döring, S. 43 SIMMEL AG Chemnitz; S.47 © fotolia.com/industrieblick

Layout

media project GmbH creative network
Glashütter Str. 101
01277 Dresden

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

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

2. Auflage / überarbeiteter Nachdruck 2019

Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH

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

www.saena.de