

licht.wissen 17

LED: Grundlagen - Applikation - Wirkung

Freier Download auf
www.licht.de





Editorial


*Sehr geehrte Damen und Herren,
vor Ihnen liegt eine Neuausgabe des Heftes licht.wissen über die LED-Technik und ich freue mich, Sie in dieses interessante Thema einführen zu dürfen. Wer in den vergangenen Jahren in der Lichttechnik tätig war, hat eine Revolution auf dem Gebiet der Lichtquellen erleben dürfen. Ende der 1990er Jahre hielt die lichtemittierende Diode (kurz LED) erstmals Einzug in Nischenprodukte, wie beispielsweise hochgesetzte Bremsleuchten und als Entwickler konnte man sich rühmen, die hellsten roten LEDs mit einem Lichtstrom von ein bis drei Lumen verwenden zu dürfen. Heutzutage ist es problemlos möglich, den Lichtstrom einer 100W Glühlampe mit nur wenigen LED-Chips zu erzeugen.*

Die LED-Entwicklung ist eine große Erfolgsgeschichte, da sich die LED zur bislang effizientesten und langlebigsten Lichtquelle der Menschheitsgeschichte entwickelt hat und dabei ist, spezifische Defizite, beispielsweise in der Lichtqualität, mehr und mehr zu überwinden. Das Spektrum reicht von den ursprünglichen, gesättigten LED-Farben hin zu verschiedenen Weißtönen, welche von kaltweißem Licht niedriger zu warmweißem Licht hoher Farbwiedergabe reichen. Eine neue Dimension der Beleuchtung mit LEDs wird durch die weite spektrale Anpassbarkeit (beispielsweise durch RGBW-Mischung) und die dynamische Ansteuerung aufgespannt. Die Anwendungen reichen hier von nicht visuellen Wirkungen über das richtige Licht für bestimmte Tätigkeiten bis hin zu den Themen, welche durch den Begriff „Human Centric Lighting“, also Licht für den Menschen beschrieben werden. In dem Ihnen vorliegenden Band von licht.wissen finden Sie hierzu eine Vielzahl von Anwendungsbeispielen im Innenraum und Außen- gelände. Licht zum Sehen, Ansehen, Lernen, Kaufen, Wohlfühlen und vielen weiteren Themen. Aber auch die Grundlagen der LED-Technik verdienen Ihre Aufmerksamkeit.

In der Entwicklung von LED-Leuchten steht der Systemgedanke prominent im Vorder- grund. Als Halbleiterlichtquelle ist die LED auf eine elektronische Ansteuerung sowie eine gute Wärmeableitung angewiesen und ermöglicht als „kalte“ Lichtquelle neu- artige optische Systeme, welche einerseits für eine besonders effiziente Lichtsteuerung, andererseits für ein neues Design in der Beleuchtungstechnik stehen. Obwohl heute noch Retrofits den Markt dominieren, werden immer mehr LED-Lösungen entwickelt, welche nicht mehr auf die vorhandenen, für andere Lichtquellen entwickelten Fassun- gen zurückgreifen. Trotz und wegen der vielfältigen neuen Möglichkeiten, gibt es auch eine Vielzahl von Forschungsfragen in Grundlagen und Anwendung der LED-Technik. Auch hierzu und zu ganz praktischen Fragestellungen der Lichtplanung finden sie viele Beispiele in diesem Band.

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen beim Lesen und Lernen und hoffe, die Beiträge dieses Heftes erwecken und vergrößern Ihr Interesse und Wissen in Bezug auf die LED- Technologie für viele zukünftige Anwendungen.

Mit herzlichen Grüßen


Prof. Dr. Cornelius Neumann
Lichttechnisches Institut Karlsruhe

[Titelseite] Im Innern von LED-Leuchten sind zumeist LEDs auf stromführenden Leiterbahnen aufgelötet.

[01] LED-Beleuchtung ist ungemein vielfältig und hat – bei höchster Lichtqualität – die Mög- lichkeiten der Lichtplanung deutlich erweitert.



Einleitung
Seite 06



Mit LED-Beleuchtung
durch den Tag
Seite 08



Die Lichtquelle LED
Seite 20



LED-Lichtquellen
Seite 28



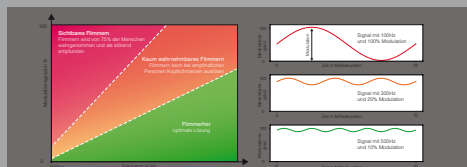
Die LED-Leuchte,
ein technologisches
Lichtsystem
Seite 30



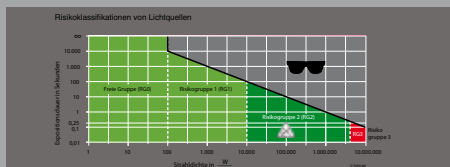
Qualitätsmerkmale
Produkt
Seite 32

Licht-Spezial

Qualitätsmerkmale des LED-Lichts
Seite 22



Photobiologische Sicherheit
Seite 26



Lichtsteuerung mit LEDs
Seite 36





Human Centric
Lighting
Seite 38



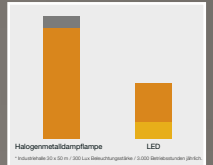
Hinweise zur
Lichtplanung von
LED-Anlagen
Seite 42



Einsparpotenziale
erkennen
Seite 46



LEDs: Kosten,
Nutzen, Qualität
Seite 48



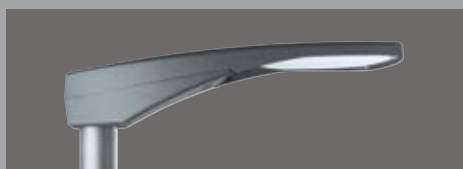
Schriftenreihe
Impressum
Seite 54



Sicherheit, Prüfzeichen und Normen
Seite 40



Vorteile der LED-Beleuchtung
Seite 50



Glossar
Seite 52





02



03



04

LED – Die Lichtquelle des 21. Jahrhunderts

Wir befinden uns im Luxopozän, im Zeitalter des leuchtenden Menschen, schreibt Mathias Wambsganß im Zukunftsreport 2017. Doch wie könnte sich die Zukunft der Lichttechnik nachhaltig, steuerbar und flexibel gestalten lassen? Mit der LED, die heute als die Lichtquelle des 21. Jahrhunderts betrachtet wird.

Seit dem Beginn der 2000er Jahre ist die LED in der Grundfarbe Weiß zu einem festen Basisbestandteil bei der Ausstattung von Allgemeinbeleuchtungslösungen geworden. Anfänglich nur für kleinere Sehaufgaben geeignet, entwickelten sich die Lichtausbeuten dieser Halbleiterlichtquellen rasant in alle Beleuchtungsbereiche hinein. Mittlerweile übertreffen sie sogar die Leistungskapazitäten bisheriger Lichtquellen – bei bedeutend interessanteren Verbrauchswerten und sehr viel höherer Flexibilität im Einsatz, von der Taschenlampe über flächige Raumausleuchtungen bis hin zu Hochleistungsstrahlern. Wie in allen Wirtschaftsbereichen findet auch in der Technik eine Art „sportlicher Wettkampf“ der Superlative statt. Zuerst verglich und steigerte man die Werte von Lichtausbeuten und Lichtströmen, später die Lebensdauer der Leuchtmittel und ihre Spektrenpotenziale.

Die Weiterentwicklung der LED-Technik eröffnet viele neue Möglichkeiten in der Lichtgestaltung, verändert damit aber gleichzeitig auch die generellen Anforderungen an die Lichtumgebung. So diskutiert man heute die Qualität und die „Farben“ des weißen Lichtes und, Steuer- und Regelbarkeit über Applikation. Eine ehemals rein technische Betrachtungsweise öffnet sich mehr und mehr dem Aspekt des Human Centric Lighting. Die Funktion des Lichtes wird zunehmend stärker und pragmatischer auf den individuellen Nutzer bezogen.

Auch der konzeptionelle Umfang in der Lichtplanung ist mit den Möglichkeiten der LED anspruchsvoller und umfangreicher geworden. So kommen neben den bekannten lichttechnischen Größen wie Beleuchtungsstärke, Gleichmäßigkeit oder Lichtfarbe weitere, neue Messgrößen ins Spiel. Moderne Lichtplaner müssen genauso auf Farbwiedergabe, Lichtflicker oder Harmonische Verzerrungen achten

und zudem Auskunft über die kaufmännische Bewertung der lichttechnischen Anlage geben können. Neben Zahlen zu Investitions und Betriebskosten stehen auch Werte zu Amortisation und Return on Investment (ROI) auf dem Plan.

Die Lichtquelle LED nimmt heute für sich in Anspruch, jede bislang verfügbare Lampentechnologie adäquat ersetzen zu können. Ob Halogenlampen, Leuchtstofflampen oder Gasentladungstechnik: Die mit LEDs bestückten Leuchten können alle diese Funktionen erfüllen. Teilweise werden bei Sanierungsmaßnahmen nur die Lichtquellen und Leuchtmittel selbst ausgetauscht und sogenannte „Retrofits“ übernehmen die Funktion der Lichterzeugung. Eine Chance, ihre Stärken wirklich auszuspielen, erhalten LEDs natürlich besonders in den speziell auf diese Technik ausgelegten Beleuchtungssystemen. Ob „konservativ“ oder „innovativ“, beide Ansätze lassen sich jeweils gut begründen. Der Kunde entscheidet – und sollte daher in Technik und Technologie gut beraten werden, um die beste Lösung für sich finden zu können.

Von den Anwendungen in unterschiedlichsten Bereichen bis hin zu den echten Zukunftsthemen der Digitalisierung und des Human Centric Lighting führt das vorliegende licht.de-Heft zum Thema LED umfassend (und mit speziellen Tipps für die Applikation) in die technischen Grundlagen dieser Beleuchtungstechnik ein. Zudem werden normative Grundlagen thematisiert und die wichtigsten Kennzahlen, Werte, Kosten und Umweltaspekte beschrieben. Ein ganzheitlicher Ansatz steht dabei im Fokus des Heftes. Checklisten, spezielle Ratschläge und Tipps bieten eine echte Hilfestellung für Planer, Installateure und Anwender und erleichtern den Einstieg in die Zukunft der Lichttechnik.

[02-04] Ob im Geschäfts- oder Privatbereich: Durch die Entwicklung der weißen LED hat sich die Vielfalt der Gestaltungsmöglichkeiten mit Licht deutlich erweitert. Lichtplaner und Architekten können mit flexiblen LED-Stripes und steuerbaren LED-Leuchten fast jeden Kundenwunsch erfüllen.

Mit LED-Beleuchtung durch den Tag

Nachdem die LED-Technologie sich in nahezu allen Bereichen der Beleuchtung etabliert hat, konzentrieren sich die Entwickler inzwischen auf die Lichtqualität und neue multifunktionale Möglichkeiten. Was dies für den Alltag und den Menschen bedeutet, wird auf den folgenden Seiten anhand ganz unterschiedlicher Einsatzgebiete dargestellt.

[05] Über den Tag betrachtet verändert sich das natürliche Licht im Bereich von 3.000 bis 12.000 Kelvin.

[07] Bei alten Menschen ist ein deutlich höheres Beleuchtungsniveau erforderlich, damit sie sich in Räumen gut orientieren können. Zudem kann durch circadianes Licht der natürliche Tag-/Nacht-Rhythmus unterstützt werden.

Seit der Erfindung der Allgebrauchslampe hat kein Leuchtmittel allein hinsichtlich seiner Eigenschaften eine ähnlich folgenreiche Revolution ausgelöst wie die modernen Lichtlösungen der LED-Technik. LEDs sind energieeffizient, klein und bieten aufgrund ihrer technischen Eigenschaften eine Vielzahl neuer Funktionen an. Beleuchtungskonzepte mit LEDs sind nahezu in allen Alltagssituationen vertreten und überzeugen inzwischen selbst die größten Kritiker durch ihre positiven Eigenschaften.

Seit Jahrtausenden richten sich die menschlichen Aktivitäten an dem Licht der Sonne aus. Insbesondere unter physiologischen Aspekten ist dieser Rhythmus unerlässlich

für die Gesunderhaltung des Menschen, und dennoch entfernt sich der Mensch mit seinen Lebensgewohnheiten immer weiter davon. Künstliches Licht kann die Dynamik des Tageslichts mit seinen vielen positiven Effekten heute nachbilden. Auch wenn diese Erkenntnisse nicht neu sind, so erhalten sie durch die multifunktionalen Steuerungsmöglichkeiten der LED-Technik eine neue Relevanz und erreichen ganz neue Kundengruppen. Die heutigen LED-Leuchten und -Lichtsysteme ermöglichen eine stufenlose Veränderung der Lichtfarbe und der Helligkeit und bieten auf Wunsch die Funktion, den natürlichen Verlauf des Tageslichtes dynamisch nachzubilden, um so die positiven Eigenschaften in allen Lebensbereichen nutzbar zu machen.



LED-Licht für Krankenhäuser und Pflegeeinrichtungen

Gute Beleuchtung ist für Patienten eine Grundvoraussetzung, um gesund zu werden. Von zentraler Wichtigkeit ist dabei eine hohe Funktionalität der Beleuchtungsanlagen. Patienten und Bewohner von Pflegeheimen benötigen eine an ihre Bedürfnisse angepasste und individuell einstellbare Beleuchtung, beispielsweise dimmbare LED-Leuchten zum Lesen im Bett oder für den nächtlichen Gang zur Toilette.


Für das medizinische Personal muss ebenfalls das für die Sehaufgabe und Tätigkeit entsprechende Licht zur Verfügung stehen, wobei hier das Hauptaugenmerk auf ausreichender Beleuchtungsstärke sowie guter Blendungsbegrenzung und Farbwiedergabe liegen muss. Gerade im Bereich der Diagnostik und bei Operationen können LED-Leuchten ihre Stärke ausspielen. Sehr gute Farbwiedergabewerte und einstellbare Lichtfarben helfen dabei, Feinheiten und

Details gut zu erkennen. Zur Diagnostik werden vorrangig kalte Lichtfarben eingesetzt, während im Pflegebereich warme Lichtfarben präferiert werden. Eine moderne LED-Beleuchtung kann die unterschiedlichen Bedürfnisse durch steuerbare Helligkeit und Lichtfarben gleichermaßen erfüllen.

Tageslicht verändert seine Farbtemperatur über den Tag hinweg in einem Bereich von 3.000 und 12.000 Kelvin. Damit prägt es den Rhythmus des Menschen und wirkt sich auf Wohlbefinden, Konzentrationsfähigkeit und Schlafrhythmus aus. Vereinfachend lässt sich sagen, dass die zur Tageszeit übliche Lichtfarbe Aktivität und Entspannung fördert oder ihr entgegenwirkt. So sorgen warme Lichtfarben am Abend eher für Entspannung, während kaltes, blaues Licht am Mittag die Aktivität unterstützt. Entsprechend diesem natürlichen Rhythmus sollten Innenräume mit moderner LED-Technik eine tageslicht-synchrone Dynamik abbilden können, um diese gesundheitsförderlich einsetzen zu

können. Die Einsatzbereiche einer auch in der Farbtemperatur anpassbaren Beleuchtungsanlage im Gesundheitswesen sind überaus vielfältig. So lassen sich durch die richtige Lichtfarbe Empfangs- und Wartezonen freundlich inszenieren und Arbeitsplätze so gestalten, dass konzentriertes Arbeiten ermöglicht wird. Ruhe- und Entspannungsorte können lichttechnisch so bespielt werden, dass die Wirkung aufgrund der gewählten Lichtfarbe die Ansprüche der Nutzer an diese Räume unterstützt.

Voraussetzung für den Einsatz komplexer, steuerbarer LED-Beleuchtungslösungen ist eine gewissenhafte und zielorientierte Lichtplanung und die konsequente Umsetzung des aus diesem Prozess resultierenden Beleuchtungskonzeptes.

 Weitere Informationen in licht.wissen Heft 07: Gesundheitsfaktor Licht.



© licht.de

06

Circadiane Beleuchtung

Unter circadianer Rhythmik [06] versteht man innere regelmäßige Abläufe, wie den Schlaf-Wach-Rhythmus, in einem Zeitraum von circa 24 Stunden. Da dieser Rhythmus unter anderem durch die spektralen Farbanteile sowie die Intensität des Lichts beeinflusst wird, ist es sehr wichtig eine tageslichtähnliche Beleuchtung auch nur tagsüber zu schalten (siehe blaue Kurve). Gesteuert wird die innere Uhr des Menschen durch die Ausschüttung des Hormons Melatonin, welches in der Regel nur vor und während der Schlafphase produziert wird. Melanopisch gering wirksames Licht (rote Kurve) sollte nachts, in den frühen Morgenstunden und abends eingesetzt werden. Setzt man sich in dieser Zeit Licht mit blauem Farbanteil aus, so wird der natürliche Tagesrhythmus entsprechend gestört und es kann zu Schlafstörungen kommen.

07





08



09

LED-Licht für Bildungseinrichtungen

Wissensvermittlung an Schulen und Hochschulen verändert sich und damit auch die Anforderung an die Beleuchtung. Da inzwischen nicht mehr ausschließlich die Kreidetafel, Schulhefte und Bücher zum Einsatz kommen, sondern vermehrt elektronische Lösungen und Hilfen, wie Computer und Beamer vorhanden sind, ist Flexibilität oberstes Gebot. Ein Unterrichtsraum ist heute vom Prinzip her wie ein Großraumbüro zu betrachten und auch so zu beleuchten. Das bedeutet unter anderem, dass indirekte Lichtanteile vorhanden sein müssen, um ein blendfreies Arbeiten an jeder Stelle des Raumes gewährleisten zu können.

Flexibel steuerbare LED-Beleuchtung


Schulungs- und Klassenräume werden mehr denn je flexibel bestuhlt, um die unterschiedlichsten Aktivitäten und Bedürfnisse abzudecken. Gruppenarbeit, Prüfungssituationen, Kreativphasen und auch Präsentationen mit Projektoren erfordern jeweils unterschiedliche Beleuchtungsszenarien. Bei modernen LED-Beleuchtungssystemen lassen sich diese Szenarien über Touch-Panels, Multifunktionsschalter oder Tablets einfach auswählen und anpassen. Es gibt aber auch vernetzte, intelligente Steuerungen, die von selbst erkennen, wie viel natürliches Licht vorhanden ist und welches Lichtniveau die Nutzer im Raum gerade benötigen. An einem trüben Tag im Winter

beispielsweise ist das Licht dynamisch eingestellt. Wird im Laufe des Tages z.B. der Beamer eingeschaltet, dimmt es sich automatisch herunter und passt sich der neuen Situation entsprechend an. Ist ein Raum im Gebäude hingegen nicht belegt, schaltet sich das Licht automatisch aus, um Energie zu sparen. Bei allen praktischen Automatismen sollte jedoch immer die Möglichkeit bestehen, manuell einzugreifen und den Auto-Modus zu verlassen. Hier sind einfache und intuitiv verständliche Einstellmöglichkeiten gefragt.

Aufgrund der Erkenntnisse über veränderbare Lichtfarben und deren Wirkung auf den biologischen Rhythmus des Menschen ist der Einsatz einer farbdynamischen Lichtsteuerung nicht nur wünschenswert,

sondern absolut förderlich für den Lernerfolg. Eine optimale Licht- und Schattenwirkung hat ebenfalls maßgeblichen Einfluss auf die Arbeitsqualität im Raum und wird durch die Wahl der geeigneten Leuchten bestimmt. Hier ist der Lichtplaner gefragt.


Insbesondere die oftmals überfällige Modernisierung älterer Lichtsysteme durch den Einsatz sparsamer LED-Leuchten und optionaler Präsenzmelder entpuppt sich schnell als lohnenswerte Investition. Alle Vorgaben und Wünsche an eine energieeffiziente, funktionale und flexible Beleuchtung lassen sich heute problemlos und ganzheitlich mit LED-Technik umsetzen.

 Weitere Informationen in licht.wissen Heft 02: Besser Lernen mit gutem Licht

Beleuchtungsstärken im Klassenraum:

[10] Im Bestuhlungsbereich von Klassenräumen wird laut der DIN EN 12464-1 eine Beleuchtungsstärke von 300 Lux gefordert. Dies ist aber lediglich als Mindestwert zu betrachten, denn empfohlen wird ein Niveau von 500 Lux, wie es auch für Fachräume und Abendschulen beschrieben wird. Die Präsentationsflächen bzw. der Bereich an der Tafel sollte eine gleichmäßige vertikale Beleuchtungsstärke von mindestens 500 Lux aufweisen, was ebenso als unterster Richtwert zu verstehen ist.

Dieses Tafellicht sollte über eine separate, individuell zuschaltbare Lichtquelle verfügen. Damit also den unterschiedlichen Anforderungen in Klassen- und Schulungsräumen Rechnung getragen werden kann, bietet sich der Einsatz regelbarer Beleuchtungsanlagen an.

 Weitere Informationen im Leitfaden zur DIN EN 12464-1 Beleuchtung von Arbeitsstätten.



10



11



12

LED-Licht für Büro und Verwaltung

Mit dem Einsatz innovativer LED-Lösungen steigt die Lichtqualität in der Bürowelt, während zugleich die Kosten für die Beleuchtung nachhaltig gesenkt werden können. LED-Beleuchtung, richtig eingesetzt, trägt in hohem Maße zur Lebensqualität bei, es unterstützt die Menschen am Arbeitsplatz in ihrer Konzentration und im Austausch miteinander, sodass zufriedene Mitarbeiter letztendlich auch bessere Leistungen erbringen.


Auch die Büro- und Verwaltungsgebäude profitieren von den vielfältigen Möglichkeiten, die die LED-Technologie bietet. Mit LEDs können sämtliche Bereiche, von der Empfangstheke über die Korridore und

Treppenhäuser bis hin zu den Bildschirm-Arbeitsplätzen energieeffizient beleuchtet werden. Durch die LEDs hat sich zum einen das rein visuelle Erscheinungsbild der klassischen Büroleuchte merklich zum Positiven gewandelt. Zum anderen stellen sich die Beleuchtungskonzepte von heute zunehmend auf die Bedürfnisse des Menschen ein. In nicht allzu ferner Zukunft wird wohl für jeden Arbeitsplatz die passende individuelle Beleuchtung zur Verfügung stehen, die alle Ansprüche an die Beleuchtung zu den unterschiedlichen Tageszeiten berücksichtigt.

Die filigranen und extrem leistungsstarken LED-Module lassen viel Raum für innovative Leuchtendesigns. Eine Verbindung zwischen Raumelementen und Möbeln lässt

sich durch die gute Integrierbarkeit der LEDs problemlos umsetzen. Die Leuchten bilden dann mit der Funktion des Raumes eine Einheit. Es erweist sich auch als Vorteil, wenn am Arbeitsplatz selbst eine individuell zuschaltbare Lichtquelle zur Verfügung steht. Die Möglichkeit der Einflussnahme auf die Beleuchtung durch Schalter, Dimmer und smarter Steuerung lässt sich technisch mit LED-Leuchten sehr einfach realisieren und führt zu hoher Akzeptanz beim Nutzer.

Ein besonderes Augenmerk verdienen die multifunktionalen Steuerungsoptionen moderner Beleuchtungssysteme. Das können Lichtlösungen sein, die sich über Präsenzmelder und Helligkeitssensoren automatisch schalten bzw. dimmen lassen und die Schwarmverhalten aufweisen. Drahtlose Systeme ermöglichen eine einfache Kommunikation der Systemelemente im Gebäude. Per Tablet oder Smartphone lassen sich diese mit einer entsprechenden App oder einem Sprachassistenten konfigurieren und steuern. Die Auswertung dieser Daten bildet den nächsten logischen Schritt, um den Nutzern adäquateres Licht zu bieten. Zudem helfen sie den Facility-Managern, die Räume besser zu nutzen und die Kosten zu senken.

 Weitere Informationen in licht.wissen Heft 04: Licht im Büro, motivierend und effizient.

Beleuchtungsstärken am Arbeitsplatz und im Umgebungsbereich

[13] Ein Büro unterteilt sich hinsichtlich der geforderten Beleuchtungsstärken in den eigentlichen Arbeitsplatz mit seiner Nutzfläche, den Umgebungsbereich und eine Randzone von 0,5 m zur Wand hin. Dabei ist der Arbeitsplatz laut DIN EN12464-1 mit mindestens 500 Lux und mögliche Teilflächen, die eine erhöhte Sehqualität erfordern, mit 750 Lux zu beleuchten. Der Umgebungsbereich muss mindestens 300 Lux aufweisen, während der Randbereich bei Nichtnutzung keinen Auflagen unterliegt. Es werden zusätzlich Vertikalbeleuchtungsstärken von 175 Lux beispielsweise für Regalflächen gefordert.



13

Durch die räumlich differenzierte Nutzung und die gelegentliche Verschiebung der Arbeitsplätze sind entweder flexible Leuchten oder ein entsprechend hohes Beleuchtungsniveau in dem gesamten Raum zu empfehlen.

[11, 12] Flexible und statische Beleuchtungslösungen für Büro- und Verwaltungsgebäude.



[14] Lager und Produktionsstätten müssen auch im Außenbereich über eine angemessene Lichtqualität verfügen, um Sicherheit und Sehkomfort zu gewährleisten.

[15] Die Wege in einem Hochregallager sind so zu beleuchten, dass diese eine sichere Begehung ermöglichen und die Waren ausreichend ausleuchten. Insbesondere Kennzeichnungen und Schilder müssen gut lesbar sein.


[16] LED-Leuchten bieten aufgrund ihrer Qualität, sowie der Flexibilität in der Lichtverteilung und den einfachen Steuermöglichkeiten das perfekte Licht für Produktionsplätze. Durch die Wahl der richtigen Lichtfarbe wird die Konzentrationsfähigkeit merklich erhöht.

LED-Licht für Industrie und Handwerk

Rund 8,1 Millionen Beschäftigte sind laut Statistischem Bundesamt in Deutschland im produzierenden Gewerbe tätig (Stand März 2017). Anders als beispielsweise im Büro ist die Versorgung mit Tageslicht meist schon durch die Gebäudekonstruktion (hohe Decken, fehlende Fenster, etc.) eingeschränkt. Verstärkt wird dieser Mangel an Tageslicht auch durch nächtliche Arbeitszeiten, wenn im Zwei- und Dreischichtbetrieb gearbeitet wird. Grundsätzlich wird empfohlen, die vertikalen Lichtanteile der Beleuchtung dort höher anzusetzen, wo körperlich gearbeitet wird.

Für die meisten Anlagen gilt: Ist der Arbeitsplatz nicht besetzt, wird auch keine Beleuchtung benötigt. Moderne LED-Systeme mit präsenzabhängigen Steuerungen, Sensoren für die Lichtmessung und einer Vernetzung untereinander schalten sich je nach Bedarf entweder ab oder regeln das Beleuchtungsniveau herunter. Das spart Energie und senkt die Betriebskosten zum Teil so signifikant, dass in Verbindung mit einer Finanzierung ab dem Zeitpunkt der Umrüstung ein positiver „Cashflow“ vorhanden ist. Es gibt bereits eine Anzahl von Anbietern auf dem Markt, die hieraus ein Geschäftsmodell entwickelt haben und die sowohl Installation als auch Betrieb der Anlage über einen definierten Zeitraum übernehmen, ohne dass dies für den Kunden mit einer Investition verbunden ist.

Bei Industriearbeitsplätzen geht das Beleuchtungsniveau durch Alterung und Verschmutzung schneller zurück als beispielsweise im Büro. Mitarbeiter bemerken diesen schleichenden Vorgang oft nicht. Umso wichtiger ist es, dass regelmäßig eine Überprüfung und gegebenenfalls eine Wartung vorgenommen wird. Mit LED-Technik können die Intervalle deutlich verlängert werden und auch Leuchtenausfälle sind deutlich seltener als bei konventioneller Beleuchtung. Sehr hohe Energieeffizienz und Lebensdauer senken die laufenden Kosten merklich.

 Weitere Informationen in licht.wissen Heft 05: Industrie und Handwerk.

LED-Licht für die Sanierung in Handel, Gewerbe und Verwaltung


In vielen Betrieben wird die Sanierung veralteter Lichtanlagen aktuell deutlich vorangetrieben. Die Argumente für LED-Lichtkonzepte mit ihren positiven Eigenschaften Energieeffizienz, Langlebigkeit und gute Lichtqualität sind überzeugend. Dabei gibt es verschiedene Strategien, um von der neuen Technik zu profitieren. Manchmal genügt es bereits, vorhandene Leuchtmittel durch sogenannte LED-Retrofits zu ersetzen, um die Betriebskosten zu reduzieren. In einigen Gewerbebetrieben und öffentlichen Bereichen sind Brennstellen mit veralteter Lichttechnik im Einsatz, bei denen sich schon ein Austausch gegen LED-Lampen, beispielsweise für ein paar Jahre, als Übergangslösung lohnt.

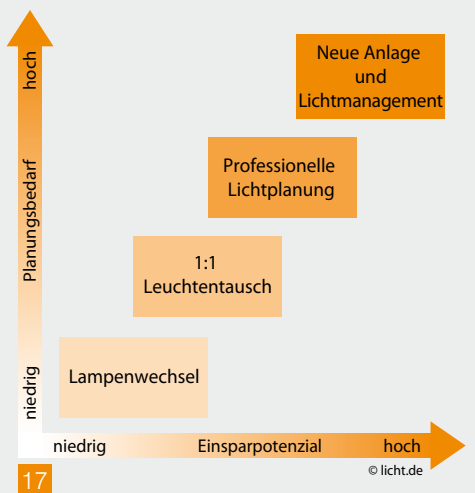
Eine zweite Möglichkeit stellen komplette LED-Geräteträger dar, mit denen sich unter anderem bestehende Lichtbänder umrüsten lassen. Um alle Vorteile der heutigen LED-Lichttechnik zu nutzen, ist eine grundlegende Erneuerung allerdings meist die beste und nachhaltigste Lösung.

Bei der Sanierung sollte im Idealfall in drei Schritten vorgegangen werden:

- 1) **Analyse:** Überprüfung der Lichtanlage bezüglich Lichtqualität, Energieeinsparpotential und Normenkonformität
- 2) **Detailanalyse und Lichtplanung:** Alle Parameter und Erkenntnisse werden miteinander abgeglichen und bewertet
- 3) **Wirtschaftlichkeitsberechnung**

Einsparpotentiale durch Modernisierung
Rechenbeispiele hinsichtlich des Energieverbrauchs von Altanlagen im Vergleich zu modernen LED-Beleuchtungslösungen überzeugen. Schon nach wenigen Jahren haben sich, je nach Nutzungsverhalten, die Investitionen bezahlt gemacht. Hinzu kommt, dass die Langlebigkeit der LED-Technik die Wartungsintervalle verlängert und dadurch weitere Einsparpotentiale bietet. Durch die Vernetzung einzelner Leuchten oder die Integration in eine automatisierte Haustechnik wird zudem der Komfort deutlich erhöht

 Weitere Informationen in licht.wissen Heft 09: Sanierung in Handel, Gewerbe und Verwaltung.



Sanierungsoptionen

[17] Die jährlichen Betriebskosten lassen sich durch die Investition in eine neue, effiziente Beleuchtung erheblich reduzieren. Gleichzeitig können die laufenden Wartungskosten gesenkt werden. Schon mit einfachen Sanierungsmaßnahmen lässt sich eine deutliche Verbesserung erzielen. Kunden und Lichtplaner sollten vor Ort die unterschiedlichen Möglichkeiten einer Sanierung erörtern. Generell sind vier Sanierungsstufen möglich – und mit jeder Stufe wachsen Komfort und mögliche Energieeinsparungen. Zur Wahl stehen:

- Wechsel der Lampen
- 1:1-Leuchtaustausch
- Planung einer Anlage
- Einsatz von Lichtmanagementsystemen



18



19

[18, 19] Eine moderne LED-Shopbeleuchtung erfüllt höchste Ansprüche an Farbwiedergabe, Beleuchtungsstärke und Lichtakzentuierung.

[20] Fokussierbare LED-Strahler setzen Akzente und lenken den Blick auf das Wesentliche.

Beleuchtung von Lebensmitteln

Im Einzelhandel kann die LED-Technik ihre Qualitäten und Möglichkeiten gut ausspielen. Allein die reduzierte UV- und Wärmestrahlung wirkt sich gerade auf empfindliche Lebensmittel positiv aus. Doch auch hinsichtlich der gewünschten Lichtfarben können die LED-Leuchten punkten. So setzt man bei Obst und Gemüse vorzugsweise Leuchten mit sehr hohen Farbwiedergabewerten ein. Wurst- und Fleischwaren werden über optimierte Spektralbereiche mit höheren Rotanteilen beleuchtet, während Fisch mit kühlem Licht beleuchtet wird. Für die Käsetheke sollte ein wärmerer Farbton gewählt werden. Auch Brot- und Backwaren können mit diesem Licht besonders attraktiv beleuchtet werden. Die LED bietet eine hohe Farbsättigung, die sie für die Beleuchtung von Lebensmitteln prädestiniert.

LED-Licht für Shops

Der geringe Energieverbrauch und die gesunkenen Wartungskosten der LED-Technik überzeugen viele Einzelhändler vom Nutzen eines lichttechnischen Updates. Dies ist enorm wichtig, denn ca. 25 Prozent des gesamten Stromverbrauchs im Einzelhandel sind der Beleuchtung zuzuschreiben. Geht man davon aus, dass ein Shopkonzept im Durchschnitt alle 7 Jahre (entspricht ca. 28.000 Betriebsstunden) neu konzipiert wird, liegt das Hauptaugenmerk nicht auf einer möglichst langen Lebensdauer, sondern auf einer sehr hohen Zuverlässigkeit in Sachen Ausfall und Lichtstromrückgang. Dies wird mit dem Einsatz von qualitativ hochwertigen wartungsfreien LED-Leuchten gewährleistet.


Warenpräsentation und Markenbildung

Eine flexible Beleuchtungslösung inklusive einfacher Austauschbarkeit und Justage sind die wichtigsten Anforderungen an eine moderne Shopbeleuchtung. Die exzellente Ausleuchtung der Ware, der Warenträger und der Verkaufsbereiche schafft eine positive Atmosphäre, die letztendlich zum Kauf animiert. Die LED ermöglicht es, durch ihre geringen geometrischen Maße Leuchtensysteme in die Anwendung zu bringen, die in ihrer gestalterischen Form und dem Design wesentlich freier sind. Hinzu kommt noch, dass man mit LEDs

wesentlich präzisere und effizientere Abstrahlcharakteristiken erzeugen kann. LED-Leuchten benötigen keine zusätzlichen UV- oder IR- Schutzfilter, da das Spektrum der LED nur im sichtbaren Bereich liegt. Dadurch werden die Waren nicht durch Wärme und harte Strahlung belastet. Mit einer hohen Farbwiedergabe der LED werden die geforderten Ansprüche an ein modernes Shopkonzept bedient. Die vielfältigen Beleuchtungsoptionen der LED-Technik (z.B. RGB-Steuerungen) ermöglichen es, die Lichtwirkung gezielt und effektiv einzusetzen.

Vernetztes Licht im Ladenbau

Moderne LED-Leuchten mit integrierten Sensoren ermöglichen die Analyse des jeweiligen Kundenverhaltens auf Basis geeigneter Software und helfen, den Einkauf zu unterstützen. Durch intelligente Vernetzungen lassen sich zusätzliche Produktinformationen auf einem Smartphone oder Tablet abrufen oder bei Bedarf auf multimedialen Wänden anzeigen. Raum- und Zeitgrenzen, wie die limitierten Verkaufsflächen oder die Ladenöffnungszeiten, werden dadurch aufgehoben. Durch vernetzte Leuchten könnte man heute schon von einer vierten Dimension, dem zeitlichen Faktor der Beleuchtung, sprechen.

 Weitere Informationen in licht.wissen Heft 06: Shopbeleuchtung.



20

LED-Licht für Museen und Ausstellungen

Ein Museum stellt eine Erlebniswelt dar, in der die unterschiedlichsten Exponate durch ein anspruchsvolles Lichtsystem inszeniert werden. Die zu beleuchtenden Objekte reichen von zweidimensionalen Bildern bzw. Fotografien bis hin zu dreidimensionalen Skulpturen und Plastiken. Zusätzlich zu der individuellen Beleuchtung der Ausstellungsstücke ist es aufgrund des unterschiedlichen Besucheraufkommens notwendig, der allgemeinen Grundbeleuchtung besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Durch ein komplexes LED-System können diese vielschichtigen Anforderungen erfüllt werden.


Empfindliche Exponate sicher beleuchten

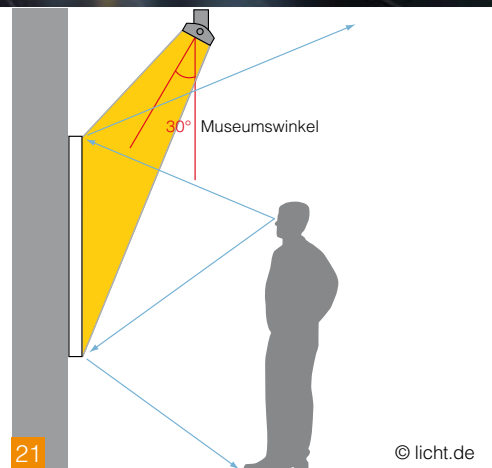
Da es sich bei den Präsentationen oftmals um wertvolle Einzelstücke handelt, ist eine besondere Sorgfalt bei der zu wählenden Lichttechnik angemessen. Insbesondere eine erhöhte Wärme- und UV-Strahlung muss vermieden werden, da einige Exponate besonders empfindlich darauf reagieren und eine Missachtung zu irreversiblen Schäden führen kann. LED-Leuchten sind geradezu prädestiniert für diesen Einsatz, da die Wärmeabstrahlung im Lichtkegel sehr gering ist und sich das Farbspektrum maximal im UV-nahen Bereich bewegt. Herkömmliche Beleuchtungstechnologien sind meist problematischer und können für eine

schonende Beleuchtung als eher schwierig bewertet werden. Zudem ist eine hohe Farbwiedergabe zwingend erforderlich, um die Kunstwerke so erscheinen zu lassen, wie sie vom Künstler gedacht waren. Warme bis neutralweiße Lichtfarben sorgen für ein angenehmes Ambiente und steigern das Wohlbefinden der Besucher.

Lichtinszenierung als Kunstwerk

Um die Attraktivität der Museums- und Ausstellungslandschaft attraktiver zu gestalten, setzen die Aussteller auch bzgl. der Lichttechnik vermehrt auf multimediale Inszenierung. Ein spannendes Wechselspiel von Licht und Farben zwischen der Lauffläche und den zu beleuchtenden Exponaten schafft hier eine neue Erlebniswelt. Gänge und neutrale Flächen werden bewusst diffuser ausgeleuchtet, um Raumgrenzen aufzuheben und harte Konturen abzuschwächen. Dadurch werden die akzentuierten Ausstellungsstücke deutlich in den Vordergrund gerückt und mit Licht inszeniert. Unterschiedliche Abstrahlwinkel, optional einstellbare Farbtemperaturen und modulare Lichtsysteme garantieren die benötigte Freiheit, wechselnden Ausstellungspräferenzen gerecht zu werden. Vernetzte Lichtlösungen bieten außerdem die Möglichkeit, das Licht interaktiv in das Geschehen mit einzubinden.

 Weitere Informationen in licht.wissen Heft 18: Licht für Museen und Ausstellungen.



21

© licht.de

Leuchten korrekt positionieren

[21] Gemälde und Skulpturen leuchtet man vorzugsweise mit einem 30°- Einfallswinkel aus. Somit lassen sich Streiflichter und zu große Schattenbildungen am unteren Rahmenrand, die durch steilere Winkel entstehen würden, vermeiden. Bei einem Einfallswinkel von mehr als 30 Grad steigt die Möglichkeit einer Verschattung auf dem Exponat oder Bild durch den Besucher selbst. Durch eine Beleuchtung des Ausstellungsstückes aus zwei unterschiedlichen Richtungen werden unerwünschte Reflexe und eine mögliche Schattenbildung vermieden. Bei glasgerahmten Bildern oder Fotos kann das auftreffende Licht reflektiert werden, was zu unangenehmen Blendeffekten führt. Das wird durch entsprechende Beleuchtungswinkel, abgeschirmte Lichtaustrittsflächen und enge Lichtkegel vermieden. Bei der Beleuchtung von Skulpturen kann es Sinn machen, den Künstler hinzuzuziehen, wenn es darum geht, die gewünschte Wirkung mit Licht herauszuarbeiten.

LED-Licht für Sport und Freizeit

Bei der Beleuchtung von Sportstätten kann die moderne LED-Technik ihre Möglichkeiten voll ausspielen – mit positiven Auswirkungen auf Betreiber, Sportler, Zuschauer und Anwohner. So profitieren Betreiber von niedrigeren Energiekosten und Langlebigkeit – verbunden mit einer höheren Ausfallsicherheit und einer deutlichen Reduktion der Wartungskosten. Die Stoßunempfindlichkeit der LEDs prädestinieren sie zudem für ballwurfsichere Leuchten. Sportler und Zuschauer ziehen ihren Nutzen aus der besseren Lichtqualität der LED-Leuchten und werden zudem auch noch weniger geblendet. Sogar Anwohner und Umwelt profitieren, da das Licht nicht in die Umgebung, sondern ganz präzise auf das Spielfeld fokussiert werden kann.

Maßgeblich bei der Auswahl und Planung der Beleuchtungsanlage ist die Lichtqualität, die durch die EN 12193 definiert und auf die individuellen Gegebenheiten vor Ort

anzupassen ist. Die Werte orientieren sich an den Beleuchtungsklassen der Norm.


Die moderne LED-Technik bietet eine Vielzahl an Optionen und eine ganz neue Art der Flexibilität. Ob vor Ort mit dem Smartphone, Tablet, oder dem PC im Steuererraum. Mit vernetzten LED-Lichtsystemen hat man jederzeit die volle Kontrolle über die Beleuchtungsanlage. Damit lässt sich durch die Verantwortlichen schnell und einfach die passende Beleuchtung für die nächste Spieleinheit einstellen. Zusätzlich bekommt der Betreiber jederzeit einen Überblick über Stromkosten, Nutzung und Zustand der Beleuchtungsanlage.

Aber nicht nur vor Ort, auch die Zuschauer am Bildschirm zu Hause müssen dem Geschehen gut folgen können. Dafür ist es erforderlich, eine fernsehgerechte Beleuchtungssituation zu schaffen. Besonders anspruchsvoll wird dies dann, wenn eine qualitativ hochwertige Fernsehübertragung (z.B. Superzeitlupen) möglich

sein soll. Dies ist mit konventionellen 50Hz Lichtenanlagen nicht flackerfrei möglich. Hier bieten moderne LED-Lösungen die entsprechende Sicherheit, auch im Hinblick auf notwendige Beleuchtungsstärken.

Schutz für Natur und Umwelt

Das UV-freie Licht der LED-Leuchten sorgt dafür, dass Insekten weniger angezogen werden als dies der Fall bei konventioneller Beleuchtung ist. Durch den Einsatz asymmetrischer Reflektoren mit geringem Streulicht wird die Insektenverträglichkeit zusätzlich verbessert. Wichtig ist hierbei: Die Anforderungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes in Verbindung mit der LAI-Schrift (Länderausschuss für Immissionsschutz) hinsichtlich der Störwirkung müssen zwingend berücksichtigt werden.

 Weitere Informationen und normative Vorgaben zu den jeweiligen Sportarten finden sich in licht.wissen Heft 08: Sport und Freizeit.



22



23

LED-Licht für Straßen, Wege und Plätze

Beleuchtung im öffentlichen Raum sorgt für gute Sichtverhältnisse im Straßenverkehr und trägt wesentlich zum Sicherheitsgefühl bei. Aufgrund ihrer hohen Kosteneffizienz (geringer Energieverbrauch sowie lange Lebensdauer) können Kommunen durch Verwendung von LED-Straßenleuchten erhebliche Einsparungen realisieren. Zudem fügen sich moderne LED-Leuchten durch gefällige Formen harmonisch in das Stadtbild ein und die Beleuchtung von Straßen und Plätzen erfährt auch gestalterisch neue Impulse. Vernetzte Lichtlösungen erhöhen den Bedienkomfort und die Anlagenverfügbarkeit.

In vielen deutschen Städten und Gemeinden entfallen 30 bis 50 Prozent des kommunalen Stromverbrauchs auf die Straßenbeleuchtung. In kleinen Gemeinden kann der Anteil sogar bei über 50 Prozent liegen. Energieeffiziente


LED-Leuchten senken die Betriebskosten für die Beleuchtung erheblich. Viele Kommunen haben dies frühzeitig erkannt und waren Vorreiter bei der Einführung der LED-Technik für die Allgemeinbeleuchtung. Öffentliche Förderprogramme unterstützen diese Entwicklung bis heute. Konventionelle Leuchten spielen dagegen bei der Planung von Beleuchtungsanlagen keine Rolle mehr.

LED-Straßenleuchten haben eine lange Lebensdauer. Mussten früher nach etwa zwei bis vier Jahren alle Leuchtmittel ersetzt werden, sind heutige LED-Module und Betriebsgeräte auf Wechselintervalle von zwölf bis fünfzehn Jahren ausgelegt. Dies reduziert den Wartungsaufwand erheblich

Durch die optionale Vernetzung und den Einsatz von Sensoren in den jeweiligen Leuchten erweitert sich der Nutzen einer LED-Außenbeleuchtung. So lassen sich Betriebszustände und mögliche Fehlermeldungen an einem zentralen Ort sammeln und erleichtern somit die Wartungspla-

nung. Zusätzlich ist durch den Einsatz von Präsenzmeldern eine bedarfsgerechte Steuerung möglich, was letztendlich weitere Einsparpotentiale und eine Verlängerung der Lebensdauer bietet. Ergänzend lassen sich damit Parkleitsysteme und exakte Verkehrsmessungen realisieren.

Auch unter Umweltaspekten können LED-Außenleuchten punkten: Störende Lichtemissionen in den Nachthimmel werden verringert. Warmweiße LED-Lichtquellen emittieren ein insektenfreundliches Lichtspektrum.

 Weitere Informationen in licht.wissen Heft 03: Straßen, Wege und Plätze.

[22, 23] Niedrige Energiekosten, flexible Steuerungsoptionen und die hochwertige Lichtqualität der LED-Technik bieten große Vorteile für Sportstätten.

[24, 25] Die Vernetzung moderner LED-Leuchten erhöht die Flexibilität und den Wartungskomfort.




LED-Licht für Hotellerie und Gastronomie

Der Besuch eines Hotels oder eines Gastronomiebetriebes sollte ein besonderes Erlebnis sein. Hierfür ist sowohl die Architektur und das Interieurdesign, aber vor allem auch eine ganzheitliche Lichtplanung von erheblicher Bedeutung. Besonders Licht kann die Corporate Identity des Hauses oder der Hotelkette in allen Bereichen erlebbar machen. Eine persönliche und gemütliche Lichtwirkung wird immer auch durch „Licht zum Ansehen“, also durch Lichtobjekte gefördert, sei es die großvolumige Schirmleuchte oder das Lichtobjekt – klassisch ein Kronleuchter – im Foyer. Gezielt eingesetztes farbiges Licht oder entsprechende Steuersysteme mit Farb- und Helligkeitsverläufen können zudem Lichtszenen inszenieren, die die Emotionen der Besucher positiv beeinflussen.

Energieeffiziente Lösungen

Neben der gestalterischen Möglichkeit durch LED-Beleuchtung setzen aber vor allem die Einsparpotentiale und die variablen Einstellmöglichkeiten dieser Lichttechnik Maßstäbe. So lohnt es sich gerade in Hotel- und Gastronomiebereichen schon aufgrund des 24h-Betriebes und der häufigen Schaltzyklen, auf eine LED-Lösung zu setzen. Flure können beispielsweise nachts gedimmt werden, oder das Licht schaltet sich mittels Präsenzmelder nur dann ein, wenn es benötigt wird. Hier kommt ein weiterer Vorteil zum Tragen: Das Licht ist sofort beim Einschalten mit voller Lichtleistung verfügbar und die Lebensdauer wird durch die Schalthäufigkeit nicht beeinflusst. Im Vergleich zu herkömmlichen Lichtlösungen geben LED-Leuchten eine deutlich geringere Wärme ab, was im Sommer zu einer signifikanten Absenkung des Klimatisierungsaufwandes und somit zu weiteren Einsparungen führt.

Betreiber, die noch keine Komplettanierung planen, können mit LED-Retrofitlösungen auch kurzfristig viel Energie einsparen. Langfristig gesehen schöpft jedoch erst eine Komplettanierung das volle Potential moderner LED-Leuchten aus.

 Weitere Informationen in licht.wissen Heft 11: Gutes Licht für Hotellerie und Gastronomie





28

LED-Licht für Not- und Sicherheitsbeleuchtung


Sicherheit und Unfallverhütung ist ein wichtiger Aufgabenbereich der Beleuchtung. Bei Störung der Stromversorgung muss unverzüglich die Notbeleuchtung über eine Ersatzstromquelle zugeschaltet werden. Rettungszeichen markieren die Wege aus dem Gebäude; eine zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung hilft, Panik zu vermeiden, gibt Orientierung und senkt die Unfallgefahr. Rettungszeichen- und Sicherheitsleuchten sind häufig rund um die Uhr in Betrieb. LED-Systeme haben sich aufgrund ihrer Zuverlässigkeit und hohen Energieeffizienz bereits sehr früh etabliert. Hochwertige LED-Leuchten erreichen zudem eine sehr lange Lebensdauer. Das bedeutet in der Praxis: Geringerer Wartungsaufwand sowie deutlich reduzierte Betriebskosten.

Rettungszeichen

Um den relevanten Normen zu entsprechen, muss die punktuelle Leuchtdichte der LED in eine gleichmäßig hell leuchtende Fläche umgewandelt werden. Rettungszeichen müssen auch bei eingeschalteter Allgemeinbeleuchtung gut erkennbar sein. Die geforderte mittlere Leuchtdichte beträgt mindestens 200 cd/m^2 beziehungsweise 500 cd/m^2 für die weißen Teilbereiche des Rettungszeichens. Es muss gewährleistet werden, dass der Lichtstrom der LEDs während ihrer gesamten Lebensdauer diese Werte nicht unterschreitet. Rettungszeichenleuchten sollten deshalb lichttechnisch mit einer entsprechenden Reserve dimensioniert sein, die den altersbedingt abnehmenden Lichtstrom der LEDs berücksichtigt.

Sicherheitsleuchten

Aufgrund der geringen Anschlussleistung von LED-Sicherheitsleuchten können die zu ihrem Betrieb erforderlichen Ersatzstromversorgungen kompakt und damit kostensparend dimensioniert werden.

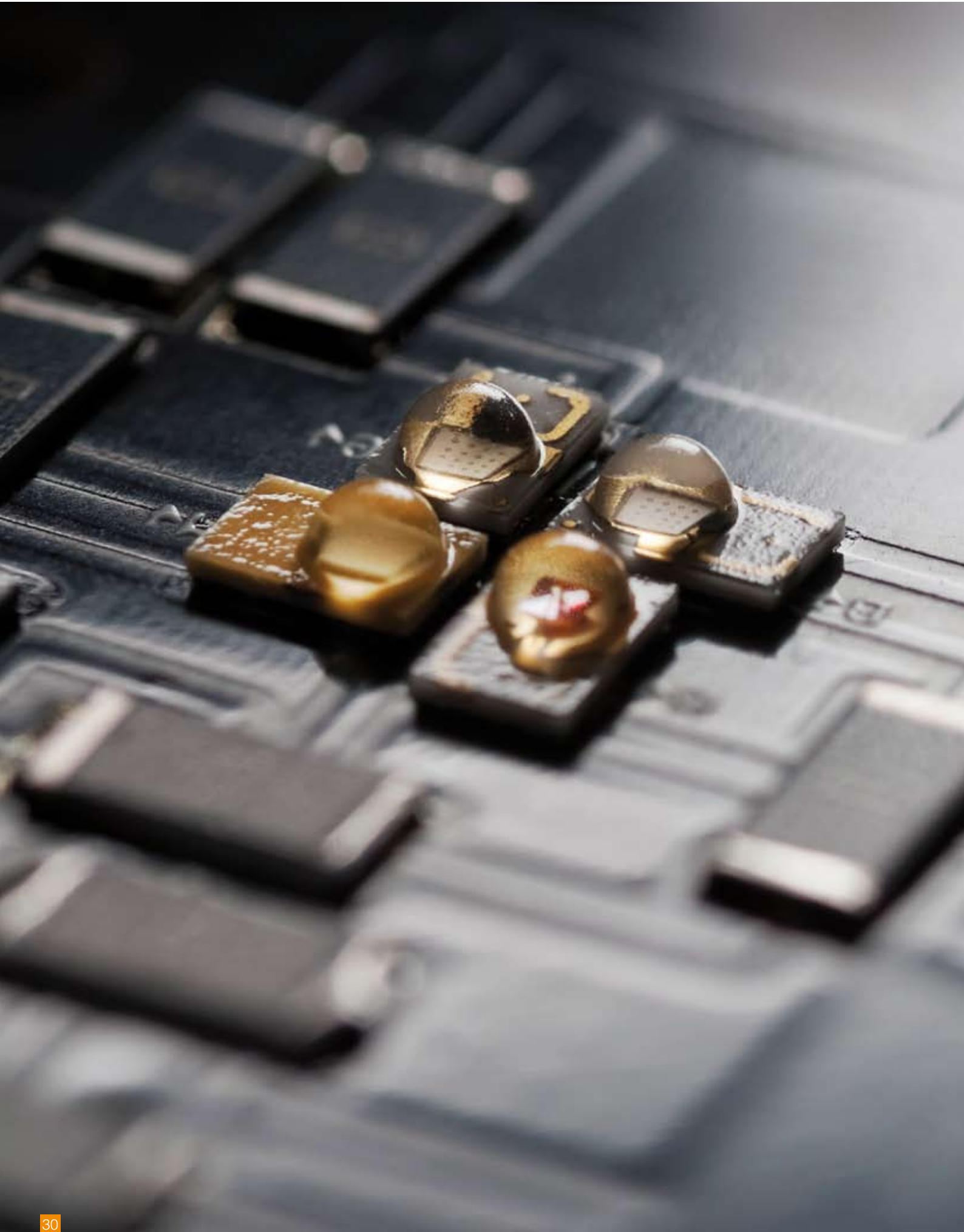
 Weitere Informationen in licht.wissen Heft 10: Notbeleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung.

[26, 27] Lichtsteuerungssysteme sorgen für attraktive Gestaltungsmöglichkeiten.

[28, 29] LEDs sind prädestiniert für eine effiziente und wartungsfreie Notbeleuchtung.



29



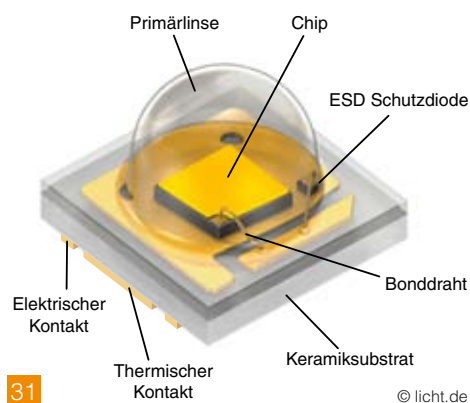
Die Lichtquelle LED

Neu entwickelte Leuchtmittel haben bereits in den vergangenen 120 Jahren immer wieder für größere Veränderungen im Lichtmarkt gesorgt. Seit der Erfindung der Glühlampe hat jedoch kein anderes Leuchtmittel den Lichtmarkt so nachhaltig revolutioniert wie die LED.

Der Engländer Henry Joseph Round entdeckte schon 1907, dass anorganische Materialien bei Stromdurchfluss leuchten können. Es dauerte aber noch bis in die 1970er Jahre, bis die ersten farbig leuchtenden LEDs beispielsweise in Taschenrechnern und Uhren eingesetzt wurden. Weißes LED-Licht ist erst seit der ersten hell abstrahlenden blauen Diode – entwickelt 1993 durch den japanischen Physiker Shuji Nakamura – möglich geworden. Sie war der Durchbruch und die Basis für die erste weiß leuchtende LED, die wenige Jahre später auf den Markt kam. Nakamura erhielt für seine Erfindung 2014 den Nobelpreis für Physik.

Lag die Lichtausbeute der leuchtenden Dioden anfangs noch bei 1-20 Lumen pro Watt elektrischer Leistung, so stieg diese bis 2013 schon auf zirka 80-120 Lumen pro Watt. Mit der technischen Entwicklung der LED und der steigenden Nachfrage hat sich das anfangs hohe Preisniveau inzwischen erheblich reduziert. Damit verdrängen LED-Lampen und -Leuchten alle anderen etablierten Lichttechnologien.

Das Grundprinzip der LED

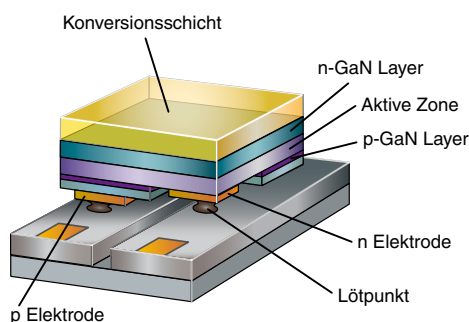


31

Der eigentliche lichterzeugende Chip in einer LED (Light Emitting Diodes) baut sich aus mehreren Halbleiterschichten (epitaxy layer) und Anschlusselementen auf. In

der aktiven Schicht wird beim Betrieb der Diode über Gleichspannung Licht einer Wellenlänge (blaues Licht bei weißen LEDs) erzeugt. Im Halbleiter rekombinieren Elektronen und Löcher. Elektrische Energie wird über Elektrolumineszenz direkt in Licht (elektromagnetische Energie) umgewandelt. Der dabei abgegebene Anteil an Wärmeenergie beträgt aber immer noch 50 bis 70 Prozent. Dieser muss zum Erhalt der Lebensdauer effektiv abgeführt werden.

LED-Chip Architektur



32

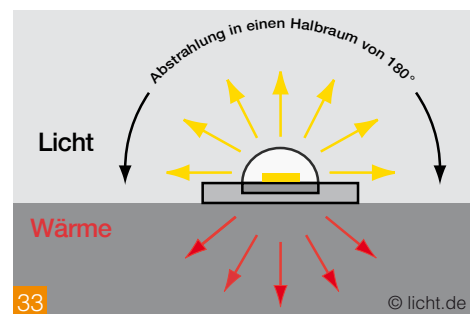
© licht.de

Während herkömmliche Glühlampen ein kontinuierliches Lichtspektrum aussenden, emittiert ein Chip eine ganz bestimmte Farbe. Sie ist im Wesentlichen abhängig vom verwendeten Halbleitermaterial. Der Chip wird meist in ein Gehäuse eingebaut. Dieses sogenannte Package führt auch die elektrischen Kontakte nach außen und enthält die Konversionsschicht (Leuchtstoff) zur Erzeugung weißen Lichts. Das Package nimmt noch weitere Funktionen auf, wie zum Beispiel Schutzschaltungen, optische Linsen oder Elemente zur Wärmeabfuhr. Die Einheit aus Chip(s) und Package wird üblicherweise LED genannt.

Größen zur Charakterisierung der LED

Wesentliche lichttechnische Kennwerte der LED sind Lebensdauer, Effizienz, Lichtfarbe, Farbwiedergabe und Lichtstrom. Diese Parameter sind aufgrund der

Weiterentwicklung meist noch dynamische Größen. In nur wenigen Jahren hat sich der Wert der Effizienz der LED schrittweise erhöht. Es werden bereits LEDs mit über 200 lm/W eingesetzt. Ein Ende dieser Technologieentwicklung ist noch nicht erreicht, liegt aber bei hoher Lichtqualität einer Leuchte bei über 250 lm/W (siehe dazu auch Grafik 35 auf Seite 24). Diese Werte sind mit konventionellen Lichtquellen nicht erreichbar.



33

© licht.de

Vorteilhaft für die Leuchteneffizienz ist, dass die Lichtemission der LED in einen Halbraum von 180° abgegeben wird. Bei LED-Modulen zum Beispiel wird das Licht in eine Richtung abgestrahlt, während die in der LED entstehende Wärme in die andere Richtung abgeleitet wird.

[30] LED-bestückte Leiterplatte in Nahaufnahme. Die stromführenden Leiterbahnen sind hier sehr gut sichtbar.

Qualitätsmerkmale des LED-Lichts

Nachdem über Jahre hinweg die Effizienz der LED im Fokus stand, wird heute mehr und mehr Wert auf die Lichtqualität gelegt. Hier rücken Themen wie Lichtfarbe, Farbwiedergabe, Flimmern, die photobiologische Sicherheit und das Verhalten der LED beim Dimmen in den Fokus.

Licht ist für den Menschen essenziell – eine gute Lichtqualität ebenso. Aber was macht eine gute Lichtqualität aus? Zunächst einmal muss das Beleuchtungsniveau stimmen, denn nur wenn eine ausreichende Menge an Licht für die Sehaufgabe vorhanden ist, kann diese auch erfüllt werden. Zu wenig Licht strengt die Augen an und wirkt ermüdend, zu viel Licht kann stören und blenden. Eine gute visuelle Wahrnehmung im Raum wird zudem von der Helligkeitsverteilung, der Lichtrichtung und vom Modelling bestimmt. Hierdurch kann das dreidimensionale Sehen positiv beeinflusst werden.

Qualitätsmerkmal Lichtfarbe

Die Lichtfarbe der LED-Lichtquellen hat Auswirkungen auf die Psyche und Emotionen des Menschen. Im privaten Bereich wird gerne warmweißes Licht eingesetzt, bei der Arbeit oft neutral- oder kaltweißes Licht. Inzwischen werden nahezu alle LED-

Produkte in Warmweiß (< 3.300K), Neutralweiß (3.300K bis 5.300K) und Kaltweiß (> 5.300K) angeboten. Das Emissionsspektrum bestimmt die Farbtemperatur, hat zudem Auswirkungen auf den circadianen Rhythmus des Menschen und ist wichtiges Kriterium bei der Planung von biologisch wirksamer Beleuchtung. Siehe auch Kapitel Human Centric Lighting, Seiten 38-39.

Qualitätsmerkmal Farbwiedergabe

Eine gute Farbwiedergabe bei LED-Produkten wird durch spezielle Konversionsstoffe erreicht. Ein Farbwiedergabeindex R_a von 80, 90 oder mehr ist Stand der Technik. Der Farbwiedergabeindex R_a einer Lichtquelle beschreibt, wie ähnlich eine Körperfarbe im Vergleich zum Tageslicht bzw. zum Licht der Glühlampe ($R_a = 100$) dargestellt wird. Lichtspektren mit einer guten Rotwiedergabe haben in der Regel eine hohe Akzeptanz beim Nutzer. Wie authentisch

Flackern, Flimmern, Stroboskop-Effekte

Als **Flackern** wird ein in kurzen, unregelmäßigen Abständen an- und ausgehendes Licht bezeichnet. Man kennt diesen Effekt beispielsweise beim Anschalten von Leuchtstofflampen.

Helligkeitsschwankungen werden als **Flimmern** (englisch: flicker) bezeichnet. Diese Schwankungen werden vom Menschen bei niedrigen Frequenzen bewusst (im Extremfall bis ca. 80 Hz) als sehr unangenehm wahrgenommen. Sie können aber auch unbemerkt, z.B. bei höheren Frequenzen von 80-400 Hz, negative Auswirkungen auf das Wohlbefinden haben und beispielsweise Kopfschmerzen auslösen.


Stroboskop-Effekte können die Wahrnehmung von Bewegungen rotierender oder sich hin- und herbewegender Maschinenteile verändern, so dass diese eventuell nicht mehr richtig sichtbar sind. So kann beispielsweise bei einer sich schnell drehenden Maschine ein erhöhtes Verletzungsrisiko entstehen, weil dem Auge vermittelt wird, dass die Maschine stillsteht.

[34] Störendes Flimmern von Lichtquellen wird durch Modulation (Kurvenauschlag) und Frequenz (Hz) bestimmt. Die Grafik zeigt, dass nur mit hohen Frequenzen und geringem Modulationsgrad optimale Ergebnisse erreicht werden.

und brillant die Farben des beleuchteten Produktes wirken, kann mit der Auswahl der passenden LED noch verstärkt werden. Mittlerweile werden gerade im Shopbereich spezielle LED-Spektren angeboten, die in den Bereichen Fashion oder Food hervorragendes Licht für die Inszenierung der jeweiligen Produkte abgeben. Die Wertigkeit der beleuchteten Materialien kann damit deutlich gesteigert werden. Der Trend bei der Entwicklung neuer Technologien in der Allgemeinbeleuchtung geht mehr und mehr in Richtung kontinuierlicher Spektren mit höchster Farbwiedergabe.

Effizienz versus Lichtqualität

Die Effizienz aus erzeugtem Lichtstrom pro eingespeister elektrischer Leistung von LEDs ist keine feste Größe, sondern verbessert sich fortwährend durch den technischen Fortschritt. Warmweiße LEDs und LEDs mit hoher Farbwiedergabe werden immer effizienter und sind kaum schlechter als kaltweiße LEDs oder solche mit niedriger Farbwiedergabe.

 Weitere Informationen zum Thema Lichtqualität und Güteermere der Beleuchtung siehe licht.de Heft 01, Die Beleuchtung mit künstlichem Licht.

Flimmern von Lichtquellen

Flimmern (englisch: flicker) ist eine sich schnell ändernde Helligkeitserscheinung, die vom Beobachter als sehr störend empfunden werden kann. Aber auch unbewusst wahrgenommenes Flimmern kann Symptome auslösen und Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden haben. Diese sind von der Frequenz und der Modulation abhängig und können individuell sehr unterschiedlich ausfallen. In einer Empfehlung der IEEE 1789 werden diese daher grundlegend in verschiedene Kategorien eingeteilt. Sie beschreibt, wie wahrscheinlich es ist, dass entsprechende Auswirkungen auf den Menschen zu erwarten sind.

Entscheidend ist dafür das Zusammenspiel von Frequenz und Modulation (Ausgangsstärke der Kurve), wie in Grafik 34 dargestellt. Je höher die Frequenz in Hertz und je niedriger der Modulationsgrad, desto besser und flimmerfreier ist das Produkt.

Das Beispiel mit der roten Sinuskurve aus Grafik 34 zeigt einen starken Kurvenauschlag mit einem Modulationsgrad von 100% bei einer verhältnismäßig niedrigen

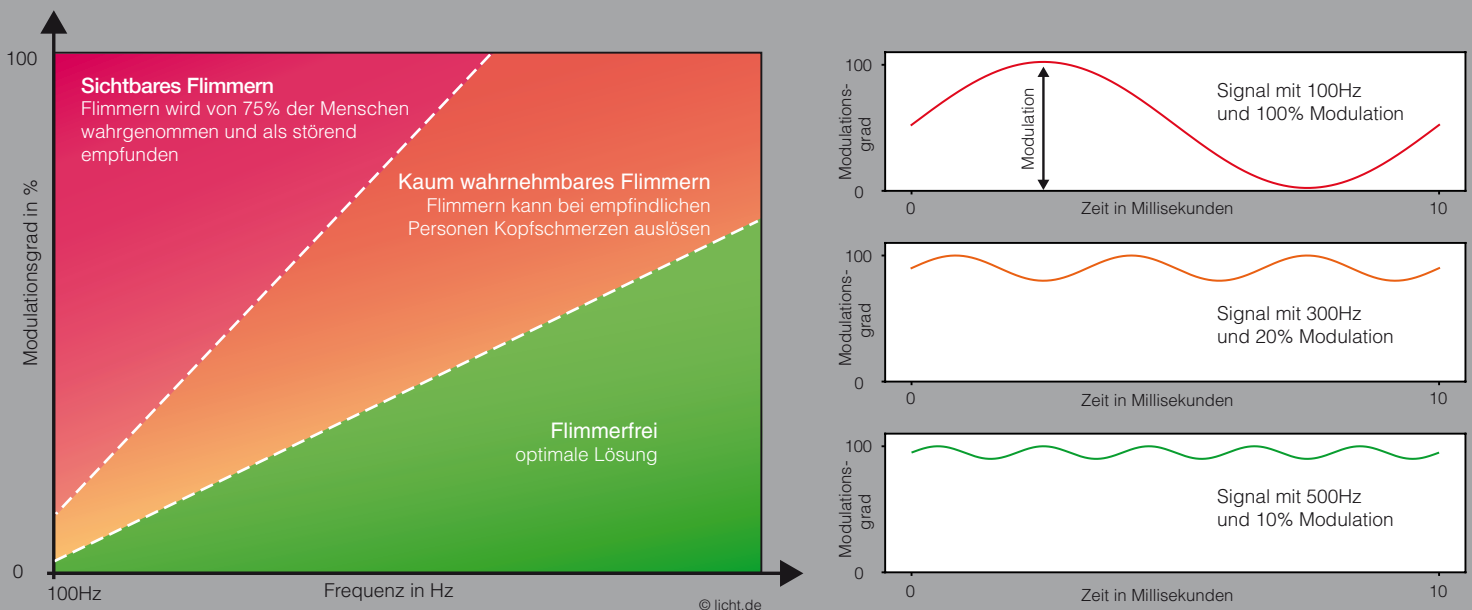
Frequenz von 100Hz. Hier kann Flimmern bewusst wahrgenommen und als störend empfunden werden.

Die orange Kurve zeigt einen Bereich, bei dem die Modulation mit 20% schon deutlich geringer ist, aber noch eine Frequenz von 300Hz wirkt. Auch wenn der Nutzer nur ein leichtes oder kein Flimmern wahrnimmt, kann es bei empfindlichen Menschen möglicherweise zu negativen Auswirkungen wie Kopfschmerzen kommen.

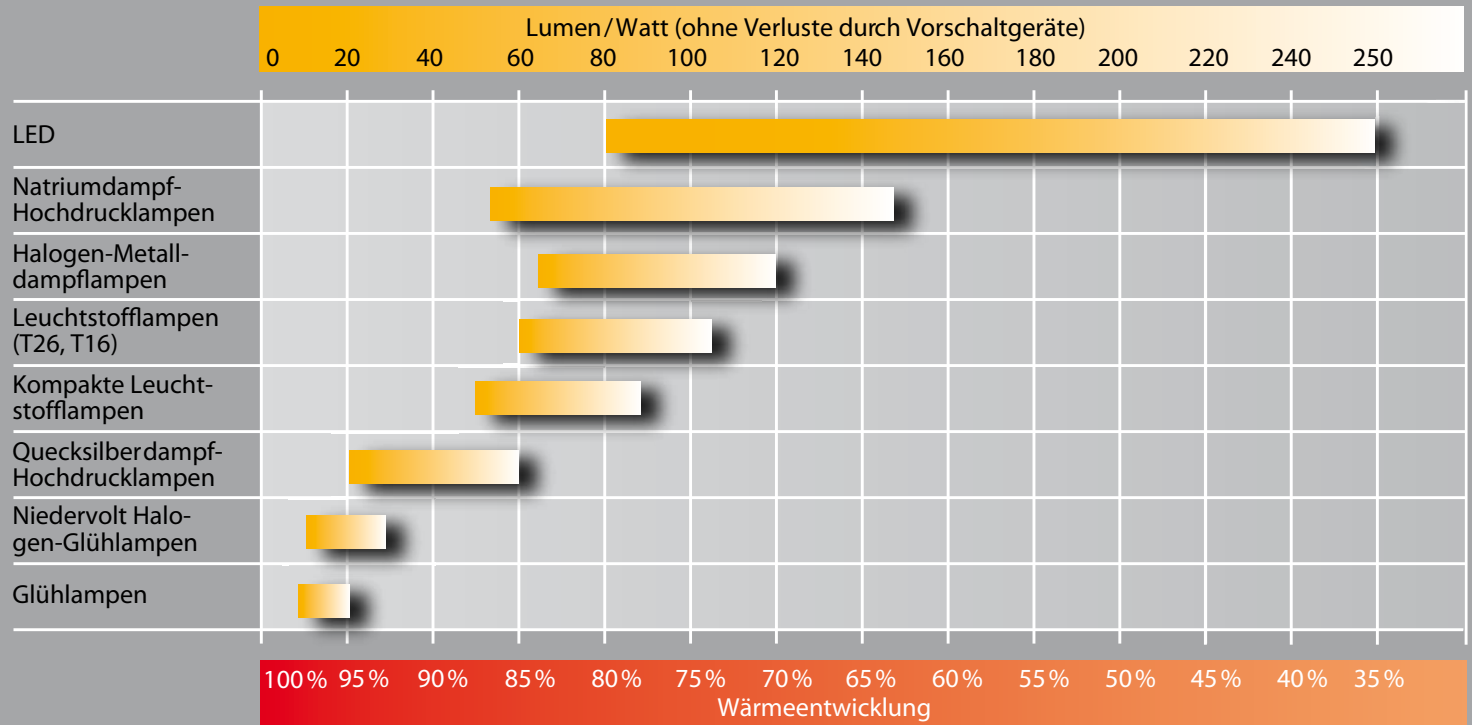
Die grüne Kurve zeigt einen besonders geringen Ausschlag von nur 10% Modulation bei einer hohen Frequenz von 500 Hz. Hier kann man von einer sehr guten, nahezu flimmerfreien Lösung sprechen

Noch steht die Erforschung zur Wirkung des Flimmerns von LED-Lichtquellen auf den menschlichen Organismus ganz am Anfang. Empfehlung: Um Sicherheit in der Anwendung zu bekommen, empfiehlt es sich, flimmerfreie Leuchtensysteme auszuwählen (siehe grüner Bereich in der Grafik). Gegebenenfalls sind diese Informationen direkt beim Hersteller anzufragen.

Flimmern von Lichtquellen



Effizienz und Wärmeentwicklung der Lichtquellen



35

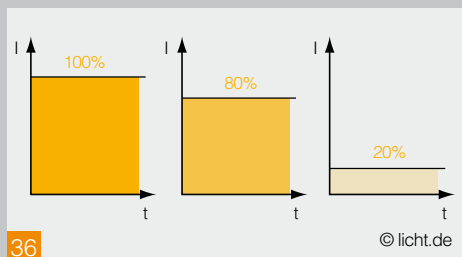
© licht.de

Das Dimmen von LEDs

Das Dimmen von LEDs ist heute technisch komfortabel möglich. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Lichtfarbe sich beim Dimmen nicht verändert. Insbesondere im privaten Bereich erwartet der Nutzer aber dass die Lichtfarbe beim Dimmen wärmer wird, wie es bei Glühlampen früher der Fall war. Um dies zu ermöglichen, werden kaltweiße und warmweiße LEDs in die Leuchte eingebaut, die ein „dim to warm“ auch mit LEDs ermöglichen.

Stromdimmung:

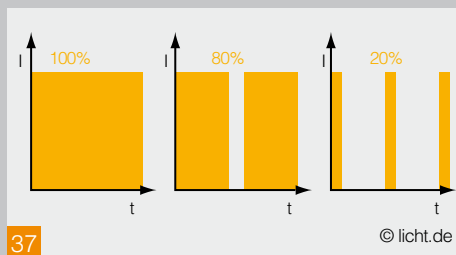
Das Absenken der Amplitude des Vorwärtsstromes führt zu einer Reduktion des Lichtstroms (Stromdimmung, Abbildung 36). Sobald ein gewünschtes Licht- oder Stromniveau eingestellt ist, bleibt dieses zeitlich konstant. Diese Art der Dimmung ist flimmerfrei, dafür liegt das minimal einstellbare Dimmniveau höher als bei der PWM-Dimmung.



36

PWM-Dimmung

Auch die Reduktion des Mittelwerts des Vorwärtsstromes – die sogenannte Puls-Weiten-Modulation (PWM, Abbildung 37) – führt zur LED-Lichtdimmung. Der Stromfluss durch die LED wird periodisch nach einer bestimmten PWM-Frequenz unterbrochen. Je länger die Pausen zwischen den Stromphasen, desto niedriger wird der effektive bzw. der mittlere Strom durch die LED und damit deren wahrgenommene Helligkeit.



37

© licht.de

Im Vergleich zur Stromdimmung kann es bei der PWM-Dimmung zu einem unbewusst wahrgenommenen, oder direkt sichtbaren Flimmern des LED-Lichts kommen. Bei der Anwendung ist deshalb das System aus Leuchte und Steuerung im gedimmten Zustand zu betrachten und eine Bewertung nach der Grafik 34 (S.23) vorzunehmen.

Lebensdauer und Degradation

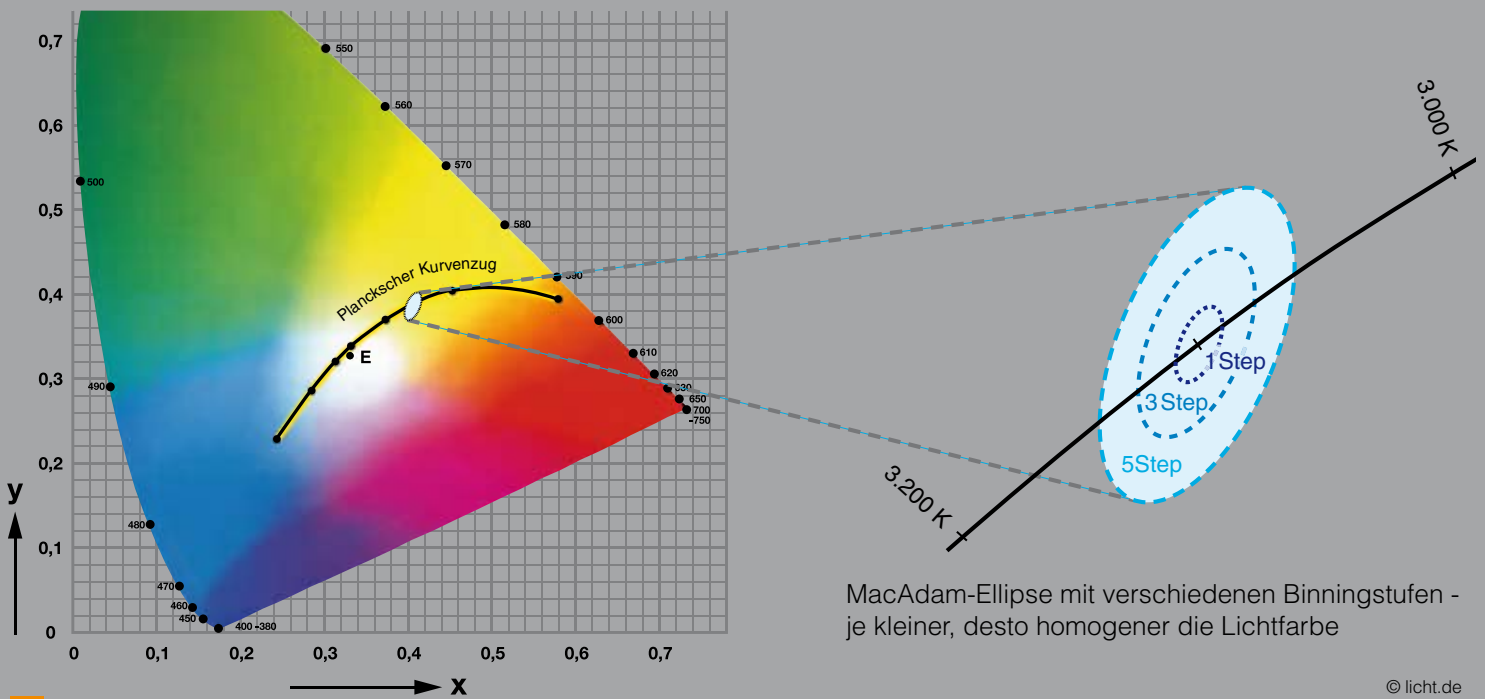
LEDs haben eine extrem lange Lebensdauer. Während die Glühlampe nach

etwa 1.000 Stunden und eine Leuchtstofflampe nach rund 18.000 Stunden (EVG) ausfällt, haben Hochleistungs-LEDs eine Lebensdauer von 50.000 Stunden und mehr. Bei der Anwendung im Büro beispielsweise spricht man von einer Nutzungsdauer der Leuchte nach EnEV von ca. 2.000 Stunden im Jahr, entsprechend einer 25-jährigen Nutzung. Andere Anwendungen, wie z.B. Straßenbeleuchtung und Leuchten im 24-Stunden-Betrieb, erfordern ein spezielles Wartungskonzept, beispielsweise mit austauschbaren Teilen, wie Modul und Treiber. Hier bietet die Industrie auf die Anwendung abgestimmte Produkte an.

Die Lebensdauer und die Effizienz der LEDs hängen stark von der Betriebs- und Umgebungstemperatur ab. Dabei gilt: Je kälter die Umgebung, umso effizienter arbeiten LEDs. Bei hohen Umgebungstemperaturen können sich Lichtstrom und Lebensdauer signifikant verringern. Bei der Entwicklung leistungsfähiger LED-Systeme ist eine effiziente Wärmeableitung deshalb besonders wichtig.

Anders als konventionelle Lampen fallen LEDs praktisch nie spontan aus. Allerdings nimmt ihr Lichtstrom mit der Zeit ab. Diese Eigenschaft wird als **Degradation** bezeichnet und führt dazu, dass die

Normfarbtafel mit Planck'schem Kurvenzug und MacAdam Ellipse



38

© licht.de


LED-Anlage zu einem planerisch ermittelten Zeitpunkt gewartet werden muss. Dieser Zeitpunkt wird in der Regel so gewählt, dass die Wartung dann erfolgt, wenn der abgegebene Lichtstrom der LED auf 70 Prozent (bzw. 80 Prozent) des ursprünglichen Lichtstroms abgesunken ist. In jedem Fall darf der Wartungswert der Anlage gemäß Norm nicht unterschritten werden.

Binning

Alle LEDs unterliegen Streuungen in den Parametern Lichtfarbe, Lichtstrom und Flussspannung. Gerade die Unterschiede in den Lichtfarben erkennt der Nutzer schnell. Es liegt in der Verantwortung der Leuchtenhersteller, dass in den Leuchten nur LEDs verbaut werden, welche einen möglichst homogenen Farbeindruck erzeugen. Um eine konstante Lichtqualität mit gleichem Helligkeitsniveau und einheitlicher Lichtfarbe zu gewährleisten, müssen die LEDs einer Charge sortiert werden. Sie werden dafür in sogenannte „Bins“ (übersetzt: „Behälter“) eingeteilt.

Dieser Binning-Prozess ist speziell bei weißen LEDs von großer Bedeutung. Die Grenze des kleinsten für den Menschen noch wahrnehmbaren Farbunterschieds wird durch eine One-Step-MacAdam-Ellipse definiert. Produkte innerhalb dieser

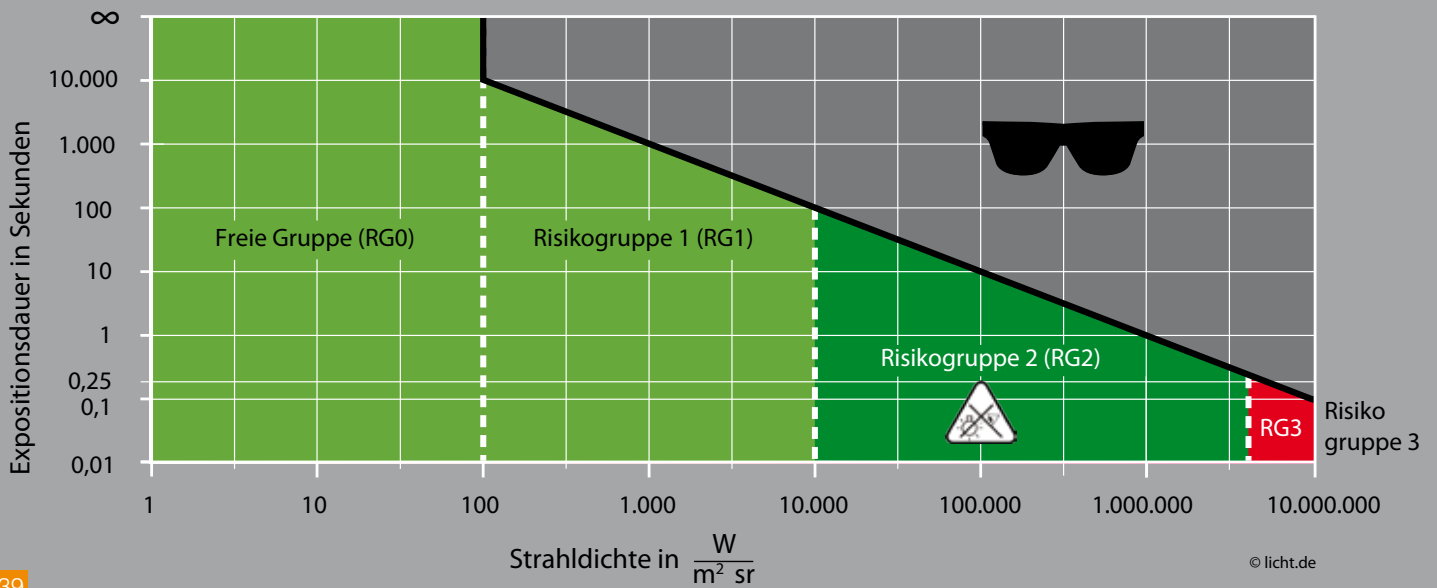
Ellipse können in ihren Farbnuancen nicht mehr unterschieden werden. Die erforderlichen Toleranzbereiche für das Binning werden durch die Anwendung der Leuchte bestimmt. Dabei gilt, je enger das Binning der LED, desto höher die Kosten.

 Weitere Informationen sind im Leitfaden zur DIN EN 12464-1 zu finden.

[35] Unterschiedliche Lichtquellen im Vergleich bezüglich ihrer Effizienz und Wärmeentwicklung.



[38] Produkte innerhalb einer One-Step-MacAdam-Ellipse können in ihren Farbnuancen vom menschlichen Auge nicht mehr unterschieden werden.

Risikoklassifikationen von Lichtquellen



39

Kennzeichnung von Lichtquellen zur Blaulichtgefährdung:

Lichtquelle	Maßnahme, Kennzeichnung
LED-Module	Die Lichtquelle ist zu klassifizieren und, wenn nötig, zu messen. Eine Kennzeichnung ist nicht erforderlich, wenn RG 0 oder RG 1 erreicht wird. Über RG 1 wird die Entfernung angegeben, in der die Grenzbeleuchtungsstärke Ethr das Produkt auf RG 1 zurückführt.
LED-Lampen, retrofit	Diese Lampen dürfen nur in RG 0 oder RG 1 ausgeführt werden, da sie, wie die zu ersetzenden Lampen, keine Gefährdung darstellen dürfen. Eine Kennzeichnung ist nicht erforderlich.
LED-Lampen, non-retrofit	Die Lichtquelle ist zu klassifizieren und, wenn nötig, zu messen. Eine Kennzeichnung ist nicht erforderlich, wenn RG 0 oder RG 1 erreicht wird. Über RG 1 wird die Entfernung angegeben, in der die Grenzbeleuchtungsstärke Ethr das Produkt auf RG 1 zurückführt.
Glühlampen, Halogenglühlampen, alle Leuchtstofflampen (kompakte mit und ohne eingebautem Vorschaltgerät, lineare), Induktionslampen	Bei diesen Lichtquellen ist eine Kennzeichnung nicht erforderlich, da keine Gefährdung auftreten kann.
Spezielle Halogenglühlampen (für die Projektion, Fotografie, Bühnenbeleuchtung und für Spezialanwendungen)	Diese Lichtquellen werden grundsätzlich mit dem Bildzeichen 1 gekennzeichnet. 
Natriumdampf-Niederdruck- und Natriumdampf-Hochdruck-Entladungslampen	Bei diesen Lichtquellen ist eine Kennzeichnung nicht erforderlich, da keine Gefährdung auftreten kann.
Quecksilberdampf-Hochdrucklampen (einschließlich Mischlicht) und Halogen-Metaldampf-Entladungslampen (alle mit beschichteten oder matten Hüllkolben)	Bei diesen Lichtquellen ist eine Kennzeichnung nicht erforderlich, da keine Gefährdung auftreten kann.
Quecksilberdampf-Hochdrucklampen und Halogen-Metaldampflampen mit klaren Hüllkolben	Diese Lichtquellen werden grundsätzlich mit dem Bildzeichen 1 gekennzeichnet. 

40

Photobiologische Sicherheit

Verbraucher müssen sich keine Sorgen machen: LED-Leuchten sind, wenn sie ordnungsgemäß eingesetzt werden, grundsätzlich nicht kritischer einzustufen als andere Lichtquellen. Europäische und nationale Normen verpflichten die Hersteller, für Sicherheit zu sorgen und, sofern notwendig, auf mögliche Gefahren hinzuweisen.

Jeder kennt das: Ein direkter Blick in die Sonne lässt uns unwillkürlich die Augen schließen, oder wir wenden uns ab. Wir haben schon als Kind gelernt, dass dies ungesund ist und die Augen schädigen kann. Ein Blick in künstliche Lichtquellen ist ebenso unangenehm. Hier ist die Gefährdung sehr unterschiedlich zu bewerten und der Schutz der Nutzer über Normen geregelt.

Wie in der allgemeinen Produktsicherheitsrichtlinie 2001/95/EG und in der Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU (NSR/LVD) gefordert, darf der Mensch durch Strahlung nicht geschädigt werden. Das gilt natürlich auch für das Licht von LED-Lampen und -Leuchten. Ergänzend definiert die EU-Richtlinie 2006/25/EG (Schutz vor künstlicher optischer Strahlung) „Mindestanforderungen zum Schutz von Arbeitnehmern vor Risiken für die Gesundheit und die Sicherheit bei der Exposition mit künstlicher optischer Strahlung“. In der Norm EN 62471 werden die Risikoklassen von Lichtquellen beschrieben.

Es besteht die Gefahr, dass bei einem direkten Blick in die Lichtquelle die vorhandene Blaulichtstrahlung und die teils auf kleinster Fläche hochkonzentrierte Leuchtdichte zu Schädigungen der Augen führt. Um dies auszuschließen, ist die photobiologische Sicherheit von Lichtquellen zu prüfen.

Gegebenenfalls sind Maßnahmen wie die Kennzeichnung von Produkten der Risikogruppe 2 sowie entsprechende Hinweise in der Montageanleitung zu ergreifen. Dem Betreiber bzw. Anwender obliegt es, darauf zu achten, dass die Sicherheitshinweise beachtet und eingehalten werden.

Blaulichtgefährdung

Unter Blaulichtgefährdung versteht man das potenzielle Risiko einer photochemischen Schädigung der Netzhaut, ausgelöst durch Strahlung, bevorzugt im Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 500 nm. Als Faustregel gilt: Je kälter das Licht, umso höher der Blauan-

teil in der Strahlung, der bei längerer Einwirkzeit der Netzhaut schaden kann. Bei der Beurteilung der photobiologischen Gefährdung durch optische Strahlung unterscheidet man verschiedene Wellenlängenbereiche (UV-, sichtbare und IR-Strahlung). Das Hauptaugenmerk ist hierbei auf die Eindringtiefe in das menschliche Gewebe gerichtet. Es sind besonders Haut und Auge betroffen, da optische Strahlung nicht tief ins Gewebe eindringt.

UV- und IR-Strahlung werden bereits von äußeren Gewebeschichten absorbiert. Die Gefährdung und die angegebenen Grenzwerte sind abhängig von der erzeugten Beleuchtungsstärke einer Lichtquelle bzw. der Leuchte und nicht von deren Abmessungen.

Ein zufälliger, kurzer Blick in eine Lichtquelle stellt noch keine Gefahr dar. Es greift ein natürlicher Schutzreflex: Man schließt unwillkürlich die Augen (Lidschlussreflex) und wendet den Blick ab. Dieser Reflex verhindert, dass die „Blaulicht-Dosis“ erreicht wird, die eine mögliche Schädigung nach sich ziehen könnte.

Gefährdungsarten der Risikogruppen (RG)

Für alle Gefährdungsarten existieren Messverfahren und Grenzwerte zur Strahldichte oder Bestrahlungsstärke, über die Leuchtmittel in Risikogruppen (RG) der Stufen 0 bis 3 eingeteilt werden können.

RG0 – Es besteht kein Risiko, keine Gefahr der Schädigung des Auges, auch nicht bei dauerhaftem Blick in Richtung der Lichtquelle (unbegrenzte Expositionsdauer).

RG1 – Es besteht ein geringes Risiko. Eine Schädigung des Auges tritt nicht ein, auch nicht bei starrem Blick in Richtung der Lichtquelle mit begrenzter Dauer (begrenzte Expositionsdauer).


RG2 – Es besteht ein mittleres Risiko. Eine Schädigung des Auges wird durch eine natürliche Abwendreaktion vermieden. Dies setzt voraus, dass der Blick in die

Lichtquelle als genügend unangenehm empfunden wird. Der Grenzwert der Strahldichte bzw. Bestrahlungsstärke wird so festgelegt, dass für die Dauer des Blicks bis zum Abwenden von der Lichtquelle (kurze Expositionsdauer) das Auge durch die Strahlung nicht geschädigt wird. Lichtquellen, die in Risikogruppe 2 fallen, müssen gekennzeichnet (Bildzeichen 1) und mit einem Warnhinweis versehen werden:



Der Mindestabstand zwischen Leuchte und Betrachter zur sicheren Benutzung muss in der Montageanleitung angegeben werden.

RG3 – Es besteht ein hohes Risiko. Schon ein kurzer Blick in die Lichtquelle kann eine Schädigung des Auges bewirken und ist daher nicht zulässig. Es sind keine Leuchtmittel der Risikogruppe 3 in der Allgemeinbeleuchtung bekannt. Zudem wären RG3-Produkte nach der Sicherheitsnorm für Leuchten nicht zulässig.

 Weitere Informationen sind in der ZVEI Broschüre: Blaulichtgefährdung, zu finden.

[39] Risikoklassifizierung von Lichtquellen RG0 - RG3.

[40] Die Tabelle zeigt, welche Lichtquellen bezüglich der Blaulichtgefährdung gekennzeichnet werden müssen.



1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



11



12



13



14

LED-Lichtquellen

LED-Lichtquellen gibt es in den verschiedensten Ausführungen. Von der fertigen Retrofit-Lösung über flexible LED-Stripes bis hin zu LED-Modulen, die selbst den höchsten Anforderungen genügen. Auch für anspruchsvolle Sonderanfertigungen hält das LED-Portfolio die perfekte Lösung bereit.

[41] Übersicht gängiger LED-Retrofitlampen, LED-Stripes, LED-Module und LED-Packages. Inzwischen gibt es für jede Anwendung die passende LED-Lösung.

Konversion

Wird eine Leuchte umgebaut um beispielsweise eine stabförmige LED-Lampe verwenden zu können, wird das als Konversion (Umbau, Umnutzung) bezeichnet. Hierfür ist ein technischer Eingriff in den Leuchtenaufbau notwendig. In der Regel müssen der Starter und das Betriebsgerät ausgetauscht und die Innenverdrahtung ersetzt oder verändert werden. Es ändern sich immer auch die lichttechnischen Eigenschaften der Leuchte, da der LED-Ersatz eine andere Abstrahlcharakteristik aufweist als beispielsweise eine Leuchtstofflampe. Folgende Punkte sind zu beachten:

- Die Umrüstung der Leuchte darf nur durch einen autorisierten Fachbetrieb erfolgen.
- Durch die Umrüstung verliert die Leuchte Zulassung und gegebenenfalls Garantie des Herstellers.
- Durch den Umbau einer Leuchte entsteht ein neues Produkt, für das eine neue Konformitätsbewertung erstellt werden muss. Dafür ist derjenige verantwortlich, der die Leuchte umbaut oder in Verkehr bringt und dadurch zum Leuchtenhersteller wird.
- Für die Produkthaftung bzw. Gewährleistung ist die umrüstende Firma verantwortlich.
- Die umgerüstete Leuchte muss mit einem neuen Typenschild gekennzeichnet werden.
- Die lichttechnischen Eigenschaften sollten überprüft und gegebenenfalls an die gesetzlich vorgeschriebenen Werte angepasst werden.

LED-Retrofitlampen

Der schnellste und einfachste Einstieg in die LED-Technologie stellt eine Leuchtenumrüstung mit einer LED-Retrofitlampe dar. Die ursprüngliche Leuchte inklusive Fassung kann bestehen bleiben, wird aber mit effizienter Technologie auf den neuesten Stand gebracht. Durch die gleiche Bauform der Retrofitlampe wird keine bauliche Änderung an der Leuchte vorgenommen. LED-Retrofit-Lampen sind in vielen Varianten verfügbar, zeichnen sich durch hohe Energieeffizienz und eine gute Farbwiedergabe aus. Je nach System können sie zudem gedimmt, farbgesteuert, oder mit smarter Technologie in ein Netzwerk eingebunden werden. Wichtig: Beim Einsatz von LED-Retrofitlampen in Leuchten muss auf elektrotechnische und lichttechnische Kompatibilität geachtet werden. Auf dem Markt sind im Wesentlichen drei Typen verfügbar:

[1] Ersatz für stabförmige Leuchtstofflampen (T8, T5)

Stabförmige LED-Lampen benötigen bedeutend weniger Energie als herkömmliche Leuchtstofflampen, flackern nicht beim Einschalten und leuchten sofort nach dem Einschalten in voller Leuchtkraft. Achtung: Konversion beachten, siehe grauer Kasten links.

[2-3] Ersatz für ungebündelt abstrahlende Lichtquellen, ein- oder zweiseitig gesockelt

In klassischer „Birnenform“ und mit Schraubsockel E14 oder E27, ersetzen LED-Lampen herkömmliche Glüh- und Halogenlampen. Ebenso werden Lampen mit unterschiedlichen Stecksockeln, ein- oder zweiseitig gesockelt, effizient ersetzt.

[4-5] Ersatz für Reflektorlampen

Herkömmliche Reflektorlampen lassen sich hervorragend durch LED-Retrofitlampen ersetzen. Hier bietet der Markt eine große Auswahl in unterschiedlichen Lichtfarben und Abstrahlwinkeln an.

[6-7] Flexible LED-Stripes

Flexible LED-Stripes eignen sich besonders für die dekorative Beleuchtung. Immer höhere Lichtströme lassen sie aber auch für die Raumbelichtung, beispielsweise in Vouten, interessant werden. In diesem Fall muss zwingend auf eine gute Wärmeableitung geachtet werden.

[8-11] LED-Module

LED-Module sind Lichtquellen, die anhand von mit Einzel-LEDs-bestückten Platinen Licht erzeugen. Je nach Ausbaustufe können die Module bereits mit einer Optik zur Lichtlenkung und einem Kühlkörper ausgestattet sein. Anforderungen an technische Sicherheit, Zuverlässigkeit und Performanz sind in der Verordnung 1194/2012/EU sowie den Sicherheits- und Performanznormen DIN EN 62031 und DIN EN 62717 beschrieben. Zum Betrieb eines LED-Moduls ist in der Regel ein Vorschaltgerät notwendig.

Ausgangsbasis: Die LED

Die vorgenannten LED-Lichtquellen bedienen sich der folgenden LED-Bauteile:

[12] **Low- und Midpower-LEDs** werden mit elektrischen Leistungen von 0,1 bis 0,5 W eingesetzt. Sie sind aus einem einfachen Kunststoffgehäuse mit Leadframe zur Wärmeableitung und Stromzufuhr sowie einem Chip aufgebaut.

[13] **High-Power-LEDs** mit einer elektrischen Leistung von 1–5W werden häufig in Strahlern sowie in der Straßenbeleuchtung eingesetzt. Eine präzise Lichtlenkung wird durch spezielle Kunststoffoptiken erreicht.

[14] **Multi-Chip-LEDs** sind mit hochintegrierten Chips hinter einer größeren Konversionsstofffläche, z.B. CoB (Chip-on-Board), aufgebaut. Einsatzgebiet: z.B. Downlights, Hallen- und Tischleuchten.

Die LED-Leuchte, ein technologisches Lichtsystem

LED-Leuchten sind komplexe Systeme aus Lichttechnik und Elektronik. Eine LED-Leuchte besteht in der Regel aus einem Gehäuse, einem integrierten Vorschaltgerät, dem optischen System zur Lichtverteilung und einem oder mehreren LED-Modulen zur Erzeugung von Licht.

Für eine gute LED-Leuchte sind qualitativ hochwertige Komponenten entscheidend. Dazu zählen LEDs als Lichtquellen, die in der Regel in Form von LED-Modulen ihren Einsatz finden. Effiziente LED-Lösungen setzen voraus, dass die LED-Module und die Leuchtenkomponenten optimal aufeinander abgestimmt sind; sie bilden immer ein komplettes System.

Das System besteht aus folgenden Komponenten:

a) Betriebsgerät

Das Betriebsgerät ist von großer Bedeutung für die Zuverlässigkeit einer Leuchte. Bei Leuchtenausfällen ist in den seltensten Fällen die LED der Grund; sehr häufig ist ein defektes Betriebsgerät die Ursache. Hier ist es wichtig, dass hochwertige, geprüfte und zertifizierte Markengeräte eingesetzt werden. Aber auch die Konstruktion der Leuchte muss so gewählt sein, dass das Betriebsgerät Platz hat und nicht überhitzt.

b) Gehäuse mit Kühlkörper

Qualitätsleuchten zeichnen sich dadurch aus, dass die mechanische, optische und thermische Auslegung gut aufeinander abgestimmt sind. Nach wie vor stellen ein kleiner Bauraum und hohe Raumtemperaturen für LED-Leuchten die größte Herausforderung dar. Ein gutes Thermomanagement ist hier unbedingt erforderlich. Dabei sollte man mit erfahrenen und kompetenten Partnern zusammenarbeiten, um zuverlässige Produkte ins Projekt zu bekommen.

c) LED-Module

LED-Module bestehen im Prinzip aus mehreren Einzel-LEDs, die auf einer Leiterplatte durch Auflöten kontaktiert sind. Dies sorgt dafür, dass die LEDs elektrisch verbunden und angesteuert werden können und die Wärme abgeleitet wird. Die flachen Module ermöglichen einen

flexiblen und effizienten Einsatz der LED-Technologie, eine Standardisierung dieser Bauteile gibt es jedoch nicht.

d) Optisches System / Abdeckung

Zusätzlich werden Sekundäroptiken eingesetzt, um eine gezielte Lichtverteilung zu erzeugen. Gute optische Systeme, Abdeckungen oder Streuscheiben lassen möglichst viel Licht hindurch und ermöglichen es, das Licht diffus zu streuen oder fokussiert nach Wunsch zu lenken.

Produktqualität

Für ein langlebiges System ist die Qualität der LEDs und der Vorschaltgeräte von zentraler Bedeutung. Die Qualität der LEDs und ihre Effizienz werden immer besser. Werte von über 150 Lumen pro Watt für die Leuchte sind heute in einigen Anwendungen schon realistisch; dieser Wert wird in den nächsten Jahren noch weiter steigen.

Ferner sollte der Hersteller eine hohe LED- und lichttechnische Kompetenz haben, die bei der Lichtplanung und der optimalen Umsetzung der Bedürfnisse des Kunden eine große Rolle spielen. Bereits während des Entscheidungsprozesses, welche Leuchten zum Einsatz kommen sollen, muss bei der Auswahl auf eine hohe Produktqualität geachtet werden. Dies hat einen wichtigen Hintergrund: Sofern die Leuchten nicht mehr einwandfrei funktionieren, müssen sie ersetzt oder repariert werden. Eine Reparatur der Leuchte sollte fachmännisch unter Einsatz originaler Ersatzteile erfolgen.

Langlebigkeit und Austausch von LEDs


Aufgrund der kompakten LED-Technik können Lampe und Leuchte zu einer untrennbaren Einheit verschmelzen. Will man gute Effizienzwerte erzielen, geschieht genau das. Bei der sehr langen Lebensdauer der LED von 50.000 Stunden und mehr ist dies bedeutend weniger kritisch,

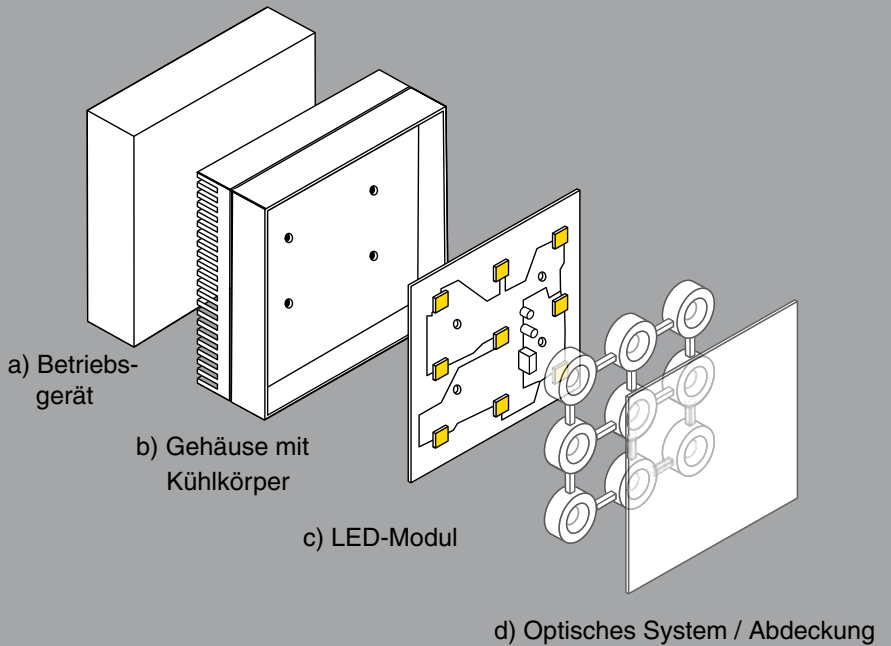
Beispielhafter Aufbau einer LED-Leuchte

als viele Anwender befürchten. Fällt doch einmal etwas aus, wird – ähnlich wie beim Akkuwechsel eines Mobiltelefons – das LED-Modul nicht vom Endkunden, sondern durch den Hersteller oder eine Fachkraft ausgetauscht. Nur so kann gewährleistet werden, dass der thermische Pfad auch nach der Reparatur wiederhergestellt ist und die LEDs beim Einbau keinen Schaden nehmen.

Beispiele für die Langlebigkeit: Im Office-Bereich mit Nutzungsdauern von ca. 2.000 Stunden im Jahr und einer Lebensdauer der LED von 50.000 Stunden hält eine Leuchte 25 Jahre. Ein LED-Modulwechsel ist daher eher unwahrscheinlich. In vielen Fällen wird das Büro bis dahin schon mit neueren Leuchten modernisiert sein. Ausnahmen können die auf sehr lange Lebenszeiten, aber auch extrem hohe Belastung ausgelegten Straßenleuchten sowie Leuchten, die im 24-Stunden-Betrieb eingesetzt werden, bilden. Hier sollte schon bei der Produktauswahl die Möglichkeit für einen wartungsfreundlichen Modulaustausch mit eingeplant werden.

Für jede Komponente als Teil einer ganzen Beleuchtungseinheit bestehen hohe Anforderungen. Die Entwicklung von Leuchten erfordert ein hohes Maß an technischem Know-how in Konstruktion und Produktion sowie den Einsatz hochwertiger Materialien und Bauteile.

 Weitere Informationen im ZVEI-Leitfaden „Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung“, 2. Ausgabe.



42

© licht.de



[42] Beispielhafter Aufbau einer LED-Leuchte: Die an der LED-Platine entstehende Wärme muss über das Gehäuse mit spezifischem Kühlkörper abgeführt werden, damit Lichtqualität und Langlebigkeit erhalten bleiben. Die Optik sorgt für Lichtlenkung und passenden Abstrahlwinkel.

[43] Linsen und Streuscheiben helfen, das Licht so zu lenken, wie es für die jeweilige Anwendung benötigt wird.

43



44

Qualitätsmerkmale Produkt

LEDs haben sich in den letzten Jahren in allen Bereichen der Beleuchtung durchgesetzt. Qualität und Lebensdauer einer LED sind von einem optimalen Zusammenspiel verschiedenster Faktoren abhängig, die im Idealfall einen Betrieb von weit mehr als 50.000 Stunden ermöglichen.

Im Gegensatz zu konventionellen Lampen ist ein Totalausfall bei LED-Lichtquellen äußerst selten. Sie sind nach dem Einbau in eine Beleuchtungsanlage praktisch wartungsfrei. Einzig die Helligkeit, also der Lichtstrom, nimmt über die Betriebsdauer leicht ab. Die in dem Diagramm rechts [45] dargestellten inneren und äußeren Einflussfaktoren entscheiden wesentlich über die Lebensdauer der LED.

Temperatur, Thermomanagement

Wichtigster Faktor für die richtige Betriebstemperatur einer LED ist ein gutes Thermomanagement. Zu hohe Temperaturen haben nachweislich einen direkten Einfluss auf Lebensdauer und Lichtstrom, sowohl bei dem einzelnen LED-Bauteil als auch dem komplexen

LED-Modul. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die Wärme durch konstruktive Maßnahmen, z.B. Kühlkörper, vom Halbleiterchip abzuleiten.

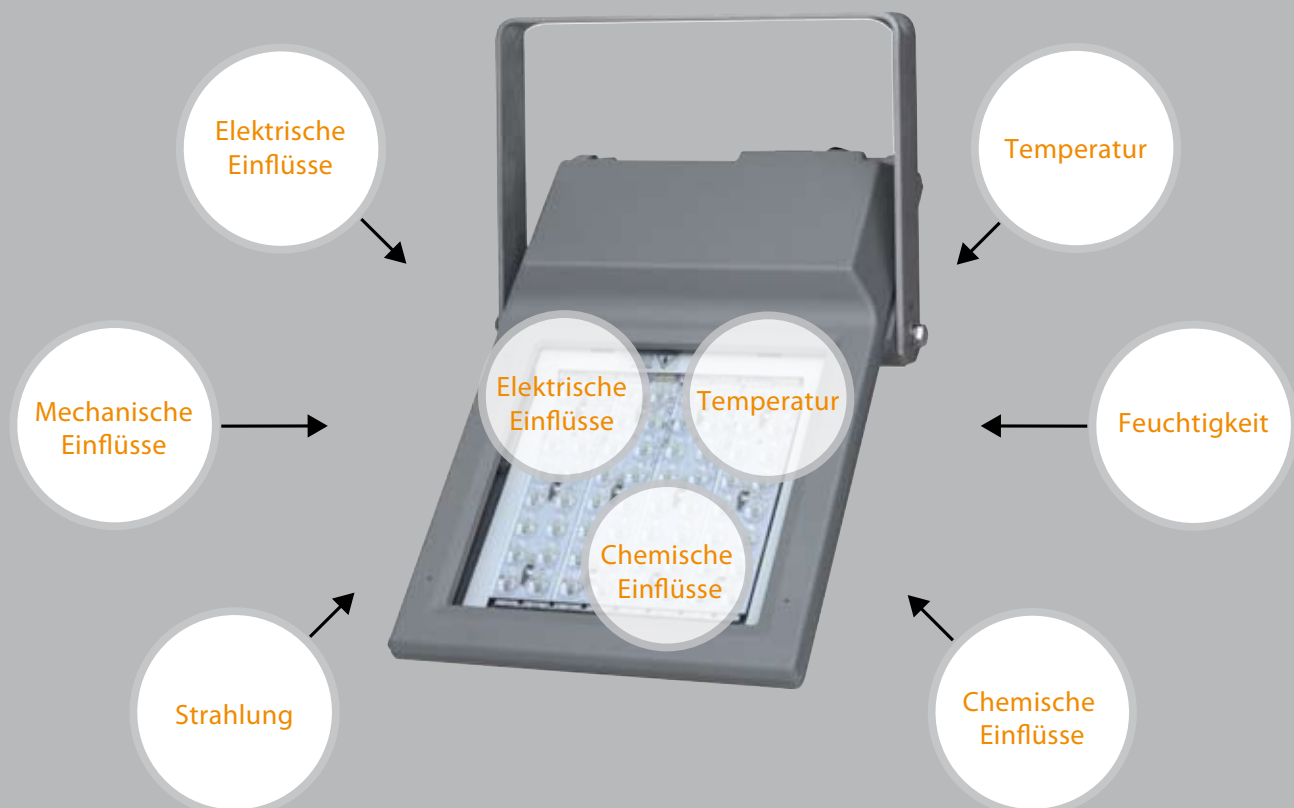
Grundsätzlich kann man sagen: Je kühler die LED betrieben wird, desto länger ist ihre Lebensdauer und umso höher ist ihre Effizienz. Entscheidend ist zudem die Umgebungstemperatur: Je wärmer es ist umso wichtiger ist eine effiziente Wärmeableitung in der Leuchte. Seriöse Hersteller vermerken die zulässige Umgebungstemperatur auf ihren Produkten; Lichtströme und Lebensdauer ihrer LEDs können so optimal ausgeschöpft werden.

[44] Werden LED-Produkte im Außenbereich eingesetzt, ist ein hoher IP-Schutz die Grundvoraussetzung.

[45] Vielfältige Faktoren nehmen Einfluss auf die Lebensdauer einer LED Leuchte.



Innere und äußere Faktoren mit Einfluss auf die LED-Lebensdauer





[46 - 48] LED-Leuchten bestehen aus verschiedenen technischen Bauteilen, von der Platine über den Kühlkörper bis hin zur Optik und dem Leuchtengehäuse. Alle Komponenten müssen optimal aufeinander abgestimmt sein, um eine hohe Lebensdauer und Zuverlässigkeit zu erzielen.

46



47



Aber auch Außenleuchten im öffentlichen Raum sollten möglichst gut gegen Vandalismus, Stöße und Witterungseinflüsse, wie beispielsweise Hagelschlag, geschützt sein, und entsprechend robuste und langlebige Gehäuse aufweisen.

Strahlung und chemische Einflüsse

LED-Leuchten müssen aus hochwertigen Materialien bestehen. Trotz Sonneneinstrahlung und chemischen Einflüssen, wie beispielsweise Salzwasser am Meer oder Chlor in Schwimmbädern, müssen sie dauerhaft beständig sein. Werden Materialien leicht spröde und brüchig, kann Feuchtigkeit in die Leuchte eindringen, empfindliche elektronische Bauteile schädigen und zum Ausfall der Technik führen.

Mechanische Einflüsse

Die zu erwartenden mechanischen Einflüsse auf die Leuchten müssen im Vorfeld einer Planung ermittelt werden, damit das passende Produkt ausgewählt werden kann. Für Lichtlösungen in Sporthallen beispielsweise ist eine hohe Schlag- und Stoßfestigkeit der Leuchten vorgeschrieben; sie müssen ballwurfsticher und bruchfest sein.

Feuchtigkeit

Feuchtigkeit kann elektronische Bauteile innerhalb kürzester Zeit zum Ausfall bringen und dauerhaft beschädigen. Deshalb ist es wichtig, überall dort, wo Umwelteinflüsse es erfordern, hochwertige sowie wasser- und staubdichte Leuchten einzusetzen. Über eine Codierung der betreffenden Schutzart wird die Eignung von Leuchten für bestimmte Umgebungsbedingungen festgelegt. Sie wird mit zwei Kennziffern im IP-Code (Ingress Protection) angegeben. Die erste Kennziffer bezieht sich auf den Schutz gegenüber dem Eindringen von Festkörpern und Staub, die zweite beschreibt die Dichtigkeit gegenüber Wasser und Feuchtigkeit. „IP 44“ zum Beispiel steht für die Resistenz gegenüber Fremdkörpern > 1 mm und den Schutz gegen Spritzwasser (siehe Tabelle Seite 41).

Strom

LEDs und LED-Module müssen elektronisch einwandfrei betrieben werden. Voraus-

setzung dafür ist ein Vorschaltgerät, das den Betriebseigenschaften des Moduls bzw. der LED entspricht. Mögliche äußere Einflüsse, wie Überspannungen, müssen entsprechend berücksichtigt und auch sonst alle technischen Vorkehrungen für einen störungsfreien Betrieb der Leuchte getroffen werden.

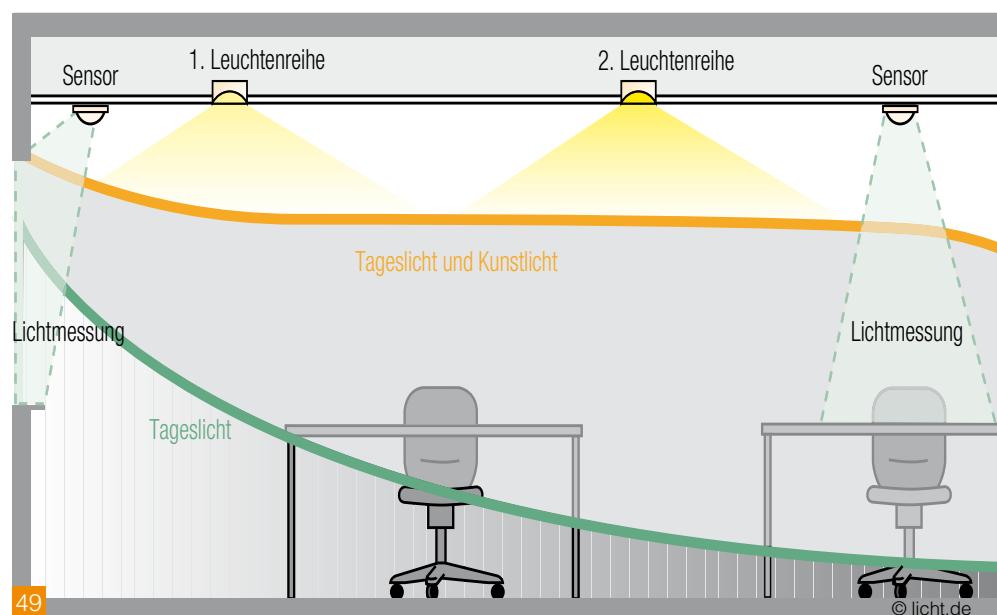
Wartung, Haltbarkeit, Effizienz

Aufgrund der sehr langen Haltbarkeit von LED-Leuchten sind diese nahezu wartungsfrei. Ein Lampentausch, wie man ihn früher kannte, ist in der Regel nicht mehr notwendig. Generell äußert sich die Qualität von LED-Leuchten in einheitlichen Lichtfarben und homogener Helligkeit sowie in der Langlebigkeit des gesamten Systems. Wichtig für die lange Lebensdauer ist, wie oben beschrieben, vor allem ein gutes Thermomanagement.

Die LED ist ein Halbraumstrahler, der die höchste Effizienz immer direkt in der Anwendungsrichtung aufweist. Die optischen Systeme einer LED-Leuchte erzeugen in Bezug auf die Sehaufgabe eine sehr präzise Lichtlenkung. Mit einer LED-Beleuchtungsanlage lässt sich also nachhaltig ein in jeder Hinsicht deutlicher Effizienzgewinn erzielen.



Tageslichtgeregelte Beleuchtung



Lichtsteuerung mit LEDs

Vom simplen Ein- und Ausschalten und Dimmen über ein raumbezogenes, präsenz- und tageslichtabhängiges Steuern bis hin zur vollvernetzten Gebäudesteuerung, bei der alle Geräte Informationen untereinander austauschen: Licht- und Gebäudesteuersysteme bieten heute für jeden Wunsch die passende Technologie.

LEDs sind als flexible elektronische Bauteile prädestiniert für die Nutzung intelligenter Lichtsteuerungen und erweitern das Spektrum individueller Lichtgestaltung immens. Die LED-Technologie ermöglicht den Einsatz von Millionen von Farben und einer Bandbreite dynamischer Effekte, die z. B. Szenen- und Ambiente-Beleuchtungen erzeugen können, die mit herkömmlichen Lichtquellen gar nicht zu realisieren wären. Der gezielte Einsatz einer farbdynamischen Beleuchtung kann sich auch positiv auf das Wohlbefinden auswirken und die Leistungsfähigkeit steigern.

das passende Lichtprofil erstellen, sei es für einzeln optimierte Arbeitsplätze, ein ansprechendes Restaurant-Ambiente oder den gehobenen Wohnkomfort.

Für Lichtsteuerungen haben sich im Bereich der variablen Funktionalität klassische drahtgebundene Technologien mit Programmen wie Digital Addressable Lighting Interface (DALI) und Digital Multiplex (DMX) bewährt, für kombinierte Licht- und Gebäudesteuerungen vor allem KNX. In letzter Zeit werden Systeme beliebter, die auf eine Funkbasis wie ZigBee, Bluetooth, W-LAN oder aber LAN/Ethernet aufsetzen. Schon bald werden alle elektrotechnisch oder autark funktionierenden Technologie-Komponenten von Gebäuden oder öffentlichen Räumen vermutlich mit eigenen IP-Adressen ausgestattet sein.

Intuitive Steuerung

Lichtsteuerungssysteme brauchen leicht bedienbare User Interfaces. Schon in der Konzeption größerer Lichtsteuerungsprojekte sollte dies sichergestellt werden. Über eine „einfache“ logische Schnittstelle, zum Beispiel eine App für

[49] Beispiel für eine tageslichtgeregelte Beleuchtung: Sensoren messen die benötigte Lichtmenge und die Leuchten werden entsprechend dem Bedarf gesteuert.

[50] Digitale Lichtsteuerungen lassen sich heute komfortabel bedienen und vor Ort oder von einer zentralen Position aus steuern.

[51] Jede Gebäudestruktur ist individuell und stellt damit auch andere Anforderungen an die Beleuchtung. Sinnvoll ausgewählt und eingesetzt erlauben Lichtmanagementsysteme eine optimale Beleuchtung der verschiedensten Bereiche und Zonen.

Moderne Steuerungstechnik bietet viele „smarte“ Verknüpfungen von Leuchten mit veränderbaren Lichtfarben und Dimmfunktionen - mithilfe hochentwickelter Bedienelemente, Tageslicht-/Bewegungssensoren sowie elektronischer Vorschalt- und Steuergeräte. Diese Technik steuert nicht nur Lichtintensität und -qualität, sie spart auch nachhaltig Energie und bindet alle Komponenten absolut nutzungsspezifisch ein. Für Menschen mit unterschiedlichsten Aufgaben und Sehnotwendigkeiten lässt sich so bedarfsorientiert und individuell genau



Steuerungssysteme heute

Komplexität, Investition

Mehrere Gebäude und Infrastruktur

Kabelgebundene Netzwerke
Gebäudesteuerung (z.B. KNX) mehrerer Gebäude, Licht, Sonnenschutz, Heizung, Lüftung, Steuerung der Fassadenbeleuchtung, Außenbeleuchtung, etc.

Gesamtes Gebäude

Kabelgebundene Netzwerke
Gebäudesteuerung (z.B. KNX): für Licht, Sonnenschutz, Heizung, Lüftung

Gesamte Etage

Kabelgebundene oder Wireless Netzwerke, Power over Ethernet
Lichtsteuerung (z.B. DALI, ZigBee, ...)

Einzelner Raum

Wireless Netzwerke (Bluetooth, W-LAN)
Lichtsteuerung (z.B. ZigBee, Actilume...)

Einzelner Tätigkeitsbereich

Wireless Netzwerke (Bluetooth, W-LAN)
Lichtsteuerung (z.B. ZigBee, Actilume...)



© licht.de

51

Lichtsznarien, lässt sich die Steuerung gut benutzerfreundlich gestalten. Im Kern sind Lichtmanagementsysteme technisch höchst komplex. Mit einer über die Bedienoberfläche intuitiv ausgerichteten Steuerung steht einer Nutzerfreundlichkeit aber nichts im Wege.

Individuelle Einstellbarkeit

Lichtsteuerungen können vollautomatisch funktionieren. Für mehr Zufriedenheit am Arbeitsplatz sollten sie aber weiterhin individuelle Möglichkeiten bieten, um beispielsweise das Licht selbst justieren zu können. Ältere Menschen brauchen meist mehr Licht als jüngere; Personen, die überwiegend am Bildschirm arbeiten, eine andere Form der Beleuchtung als Mitarbeiter in der Produktion.

Lichtsteuerung – ja oder nein?

Im öffentlichen Neubau wird heute eine qualifizierte Licht- und Gebäudesteuerung vorausgesetzt. Neue Gebäude verfügen fast immer über ein Gebäudeleitsystem. Die EnEV und ISO 18599 machen dazu klare Vorgaben. Auch die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB e. V.) sieht Lichtsteuerungen vor, allerdings nur mit einer integrierten individuellen Nutzersteuerung. Im Sanierungsbau werden viele Anlagen noch ohne Lichtsteuerung installiert. Ob eine solche Vorgehensweise sinnvoll ist, muss im Einzelfall entschieden werden. Ob Neubau oder Sanierung, es empfiehlt sich von der ersten Konzeptionsphase an, die Lichtsteuerung mit zu

berücksichtigen. Hier einige beispielhafte Basisüberlegungen dazu:


- Wie groß ist das Bauvorhaben? Bietet sich – bei kleineren Projekten/wenigen Räumen – eine raumbezogene Steuerung an? Ist die Immobilie so groß, dass eine gebäudebezogene Steuerung sinnvoll ist?
- Gibt es integrationsfähige Vorgängersysteme?
- Ist die Steuerung kombinierbar mit der geplanten Notlichtsystemsteuerung?
- Bestehen hohe Anforderungen an die Zukunftssicherheit des Gebäudes, wie z. B. bei Mietimmobilien?
- Soll der technische Standard des Systems upgradebar sein?
- Welche Nutzung des Gebäudes ist geplant?
- Sollen in einer Mietimmobilie im Rahmen eines Flächennutzungskonzeptes wenig genutzte Bereiche abgeteilt und Mieter bezogen gesteuert werden?
- Wie flexibel müssen einzelne Arbeitsplätze sein? Ist mit häufigen Umnutzungen zu rechnen?
- Sollen bei Betriebs-/Flächenoptimierung wenig genutzte Bereiche abgetrennt und mit einer separaten Steuerung ausgestattet werden?
- Soll die Leuchte gleichzeitig Daten über An-/Abwesenheit, Dauer/Intensität der Raumnutzung, zu Sauerstoff-/CO²-Gehalt der Raumluft, Temperatur, etc. sammeln, also eine Gebäudeautomation, mit eingeplant werden?

- Welche persönlichen technischen Gestaltungsspielräume sollen die Nutzer erhalten?

Optimale Lösungen

Für die beste Lichtmanagementlösung stellen sich zwei Fragen: 1) Welche Aufgaben soll das System erfüllen? – und 2) Wo? Auf Gebäudeebene sind die Einsatzbereiche Arbeitsplatz, Raum und Gebäude relevant. Doch nicht nur die spätere Nutzung, auch architektonische Gegebenheiten des Gebäudes beeinflussen das Beleuchtungs- und Steuerungskonzept mit. Sinnvoll und ästhetisch ausgewählt, ist das Ziel eines Lichtmanagementsystems die optimal akzentuierte Ausleuchtung aller Raumbereiche und -zonen. So können sich Büroflächen lichtatmosphärisch in unterschiedlich konfigurierte Arbeits- und Kommunikationsbereiche gliedern.

Das Lichtmanagementsystem hat die primäre Aufgabe, Energie zu sparen. So wird die Anwesenheit von Personen permanent erfasst. In Industriehallen gibt es beispielsweise Montagezonen oder Flächen für Maschinen, die nicht permanent beleuchtet werden müssen, genauso wie in Erschließungsbereichen von Gebäuden, in Fluren, Treppenhäusern, Toiletten, Abstell- und Lagerräumen.

 Weiterführende Informationen zum Thema sind in licht.wissen 12 „Lichtmanagement“ zu finden.

Human Centric Lighting

Licht ist die Ur-Form von Energie, ohne die sich das Leben auf der Erde nicht entwickelt hätte. Pflanzen, Tiere und auch Menschen sind ohne Licht nicht lebensfähig. Viele Prozesse in der Natur, im menschlichen Körper und in der menschlichen Psyche lassen sich – durch naturnahes – Licht wirkungsvoll positiv beeinflussen.

Licht erfüllt verschiedenste Funktionen für den Menschen. Die scheinbar einfachste ist zugleich auch eine der elementarsten: Licht ermöglicht die visuelle Funktion des Auges. Es hilft uns dabei, zu sehen. Doch Licht kann noch mehr. Es setzt biologische Impulse. Es signalisiert uns, wann wir wach sein und wann wir schlafen sollten, und trägt damit zur Stärkung unserer Gesundheit bei. Denn Licht gibt uns ein gutes Lebensgefühl. Nach einem langen Winter sehnen wir uns nach dem Frühling. Unser Wohlbefinden steigt mit den längeren Tagen. Wir sind optimistischer, fröhlicher, aktiver, beweglicher und konzentrierter. Wir brauchen Licht also nicht nur, um gut sehen zu können. Es hat eine sehr viel weitreichendere Bedeutung für uns.

Der Takt unserer „inneren Uhr“

Der Mensch wird in seinem biologischen Leben von einem komplexen Stoffwechselsystem gesteuert, das im 24-Stunden-Rhythmus sämtliche Körperfunktionen koordiniert und aufeinander abstimmt – die „innere Uhr“. Sie ist auf eine Orientierung am Tageslicht angewiesen. Geht das Zeitgefühl der inneren Uhr verloren, weil Licht als Taktgeber fehlt, entwickeln Menschen Befindlichkeitsstörungen, wie Antriebslosigkeit, Müdigkeit, Stimmungs- und Gewichtsschwankungen, oder sogar echte Erkrankungen durch ein geschwächtes Immunsystem.

Tag und Nacht

Unser Tag-Nacht-Rhythmus, auch „circadianer Rhythmus“ genannt, steuert über das Hormon Melatonin in unserem Blutserum viele organische Vorgänge im Körper. Melatonin bildet sich in der Zirbeldrüse des Zentralhirns. Dabei gilt: Je mehr Melatonin, desto niedriger der Aktivitätspegel. Umgekehrt sorgt ein hoher Cortisolspiegel für regelrechte Aktivitätsschübe. Die Melatonin- und Cortisolproduktion werden direkt durch die auf die Netzhaut auftreffende Lichtenergie gesteuert - ein Stoffwechsel-

prozess, der unabhängig vom eigentlichen Sehen stattfindet. Viel Licht, besonders der kurzwellige Anteil des sichtbaren Spektrums, lässt den Cortisolspiegel ansteigen. Wir werden wach! Die Melatoninproduktion wird reduziert. Wenn es wieder dunkel wird, verläuft dieser Prozess in umgekehrter Richtung.

Human Centric Lighting (HCL)

Human Centric Lighting unterstützt zielgerichtet und langfristig die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen durch ganzheitliche Planung und Umsetzung der visuellen, emotionalen und insbesondere der biologischen Wirkungen des Lichts. In speziellen Beleuchtungskonzepten ermöglichen moderne LED-Leuchtmittel und -Lichtsteuerungen heute, Licht so gezielt einzusetzen, dass es einen förderlichen Einfluss auf die „innere Uhr“ des Menschen hat, z. B. als besonders helles Licht, das unsere Wachphase verstärkt, oder als dynamisches Licht, das uns trotz fehlenden Tageslichts ein Gefühl für den Tag-Nacht-Wechsel vermittelt. Die Beleuchtung eines Raumes wird dabei individuell an die Lichtbedürfnisse seines Nutzers angepasst, sodass eine maximal förderliche Licht- bzw. Beleuchtungsqualität erreicht wird.


Einsatzmöglichkeiten im beruflichen Kontext

Im beruflichen Umfeld kann man - je nach Beleuchtungsbedarf und Lichtwirkung - verschiedene Einsatzmöglichkeiten für das Human Centric Lighting unterscheiden.

Im Office-Bereich unterstützt es den natürlichen Tagesrhythmus des Menschen und erzeugt eine leistungsfreundliche, angenehme Arbeitsatmosphäre, in der zum Abend hin biologisch bereits die Weichen für eine erholsame Nacht gestellt werden. Auch auf die Präsenzerfassung und das Effizienzoptimierende Dimmen muss man dabei nicht verzichten.

Im **medizinischen Bereich** und in der Pflege kann der Einsatz circadian orientierten LED-Lichts therapeutisch förderlich wirken und einen gesunden Biorhythmus kurativ unterstützen. Heilungsprozesse können damit beschleunigt werden.

Im **industriellen Alltag** und in der Produktion sind Fehlervermeidung und Arbeitssicherheit besonders wichtig. Schichtarbeit kann den Schlaf-Wach-Rhythmus stark beeinträchtigen; die notwendige Regeneration wird behindert. Auch eine suboptimale Beleuchtung kann ein Arbeitssicherheitsrisiko darstellen, das mit Human Centric Lighting behoben werden kann.

 Weiterführende Informationen zum Thema sind in licht.wissen 19 „Wirkung des Lichts auf den Menschen“ und in licht.wissen 21 „Leitfaden Human Centric Lighting“ zu finden.

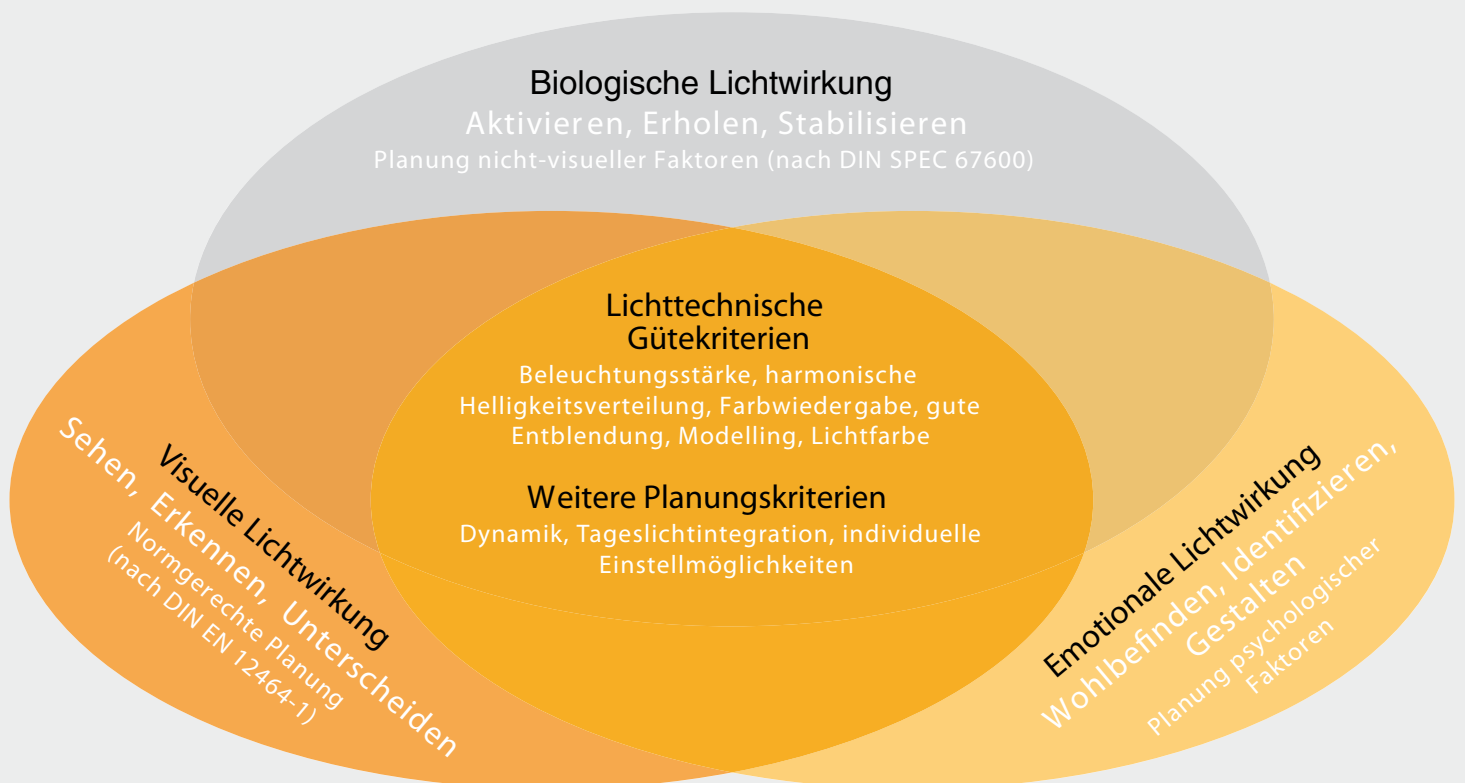
[52] Durch den frühen Schulbeginn wird Heranwachsenden häufig ein Schlaf-Wach-Rhythmus vorgegeben, der die Konzentration empfindlich stören kann. Durch die lichttechnische Unterstützung der „inneren Uhr“ steigt die Aufmerksamkeit und konzentriertes Arbeiten wird ermöglicht.

[53] Die biologischen, visuellen und emotionalen Lichtwirkungen stehen in engem Zusammenhang mit den lichttechnischen Gütekriterien. Für ein ganzheitliches HCL-Beleuchtungskonzept müssen alle diese Faktoren mit in die Beleuchtungsplanung einbezogen werden.



52

Human Centric Lighting (HCL)



© licht.de

53

Sicherheit, Prüfzeichen und Normen

Bei elektrisch betriebenen Produkten wie Vorschaltgeräten und Leuchten sind Betriebssicherheit und einwandfreie Qualität oberstes Gebot. Normen regeln die sicherheitstechnischen Anforderungen, damit ein ausreichender Schutz vor Gesundheitsschäden, Brand- und Betriebsschäden gewährleistet ist.

CE-Kennzeichnung

Die CE-Kennzeichnung ist Voraussetzung für den Vertrieb von Produkten innerhalb der Europäischen Union. Damit bestätigen Hersteller und Importeure in der Regel eigenverantwortlich, dass ihre Produkte die „grundlegenden Anforderungen“ der europäischen Richtlinien und Schutzziele erfüllen. Die Abkürzung „CE“ steht für „Communauté Européenne“ (Europäische Gemeinschaft). Die CE-Kennzeichnung basiert jedoch nicht, wie häufig angenommen, auf einer Prüfung durch eine neutrale Prüfstelle. Sie wird nur in Eigenverantwortung vom Hersteller vorgenommen.

ENEC/VDE-Prüfzeichen

Das ENEC-Prüfzeichen (ENEC = European Norm Electrical Certification) ist das europäische Prüfzeichen für Leuchten, Vorschalt- und Startgeräte, Kondensatoren, Konverter sowie Transformatoren und steht für einheitliche Prüfbedingungen. Die zugeordnete Zahl zeigt die jeweilige Prüfstelle an. ENEC- und VDE-Zeichen werden in der Bundesrepublik in der Regel kombiniert vergeben. Der Verbraucher kann sich darauf verlassen, dass derart gekennzeichnete Produkte dem aktuellen Stand der Technik entsprechen.

GS-Zeichen

Mit dem GS-Zeichen (Geprüfte Sicherheit) bestätigen autorisierte Prüfstellen die Konformität eines Produktes mit dem Geräte- und Produktsicherheitsgesetz GPSG bzw. mit der betreffenden EU-Richtlinie. Dazu gehört eine Funktionsprüfung bezüglich der Sicherheit des Produktes. Zusätzlich wird beurteilt, ob die Bedienungsanleitung verständlich und vollständig ist. Das GS-Zeichen darf nur in Verbindung mit dem Zeichen der prüfenden Stelle verwendet werden (zum Beispiel VDE, TÜV). Zur Aufrechterhaltung des Zertifikates werden Kontrollmaßnahmen durchgeführt,

wie die Überwachung der Fertigungsstätten oder die Überprüfung von Produktänderungen im Vergleich zu dem geprüften Baumuster.

EMV-Prüfzeichen

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

Schutzklassen

Entsprechend ihrem Schutz gegen zu hohe berührbare Spannungen werden Leuchten, ebenso wie elektrische Betriebsmittel, nach DIN VDE 0711 in drei Schutzklassen eingeteilt:

▪ Schutzklasse I

Bei der Schutzklasse I wird der Benutzer durch eine Isolierung spannungsführender Teile (Basisisolierung) und durch den Anschluss leitfähiger berührbarer Metallteile an den Schutzleiter (Erdung) geschützt. Die Schutzleiter-Anschlussklemme ist mit dem Erdungszeichen (siehe oben) gekennzeichnet. Selbst wenn die Basisisolierung versagt, können berührbare leitfähige Teile keine gefährlichen Spannungen annehmen.

▪ Schutzklasse II

Bei Leuchten der Schutzklasse II sind spannungsführende Teile zusätzlich zur Basisisolierung mit einer weiteren Schutzisolierung versehen. Ein Schutzleiteranschluss ist nicht erlaubt. Selbst wenn die Leuchten elektrisch leitende Oberflächen haben, sind sie durch eine verstärkte Isolierung vor Kontakt mit spannungsführenden Teilen geschützt.

▪ Schutzklasse III

Bei Leuchten der Schutzklasse III beruht der Schutz auf der Anwendung von Schutzkleinspannung SELV (Safety Extra-Low Voltage). Typisches Anwendungsbeispiel ist die Teich- oder Schwimmbadbeleuchtung. Die Versorgungsspannung wird in Verbindung mit einem Sicherheitstrafo (oder gleichwertigem Gerät) hergestellt.

Schutzarten IP:

Die Schutzart IP, siehe Tabelle rechts [56], regelt die Einstufung der Betriebssicherheit von Leuchten. Sie wird mit zwei Kennziffern im IP-Code (Ingress Protection) angegeben. Die erste Kennziffer bezieht sich auf die Widerstandsfähigkeit gegen Festkörper und Staub. Die zweite Kennziffer beschreibt die Dichtigkeit gegenüber Wasser und Feuchtigkeit. Hierzu ein Beispiel: IP 44 steht für Fremdkörper größer 1 mm und Schutz gegen Spritzwasser. Ein X steht für eine nicht näher angegebene Kennziffer.

Grundlegende Normen zur Beleuchtung

Normung hat zum Ziel, national wie international den Austausch von Waren und Dienstleistungen zu fördern und technische Handelshemmnisse zu verhindern, indem sie die Anforderungen an materielle und immaterielle Güter vereinheitlicht. Eine Norm ist eine durch ein Normungsgremium bzw. durch eine Normungsorganisation beschlossene und veröffentlichte Regel. Sie dient der Standardisierung und damit auch der Sicherheit der Bürger.

[54-56] Leuchten sind vor allem im Außenbereich Fremdeinflüssen wie z.B. extreme Hitze, Frost oder Regen ausgesetzt. Über die jeweilige Schutzart informiert die IP-Kennziffer.





54



55

Schutzarten

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

56

Hinweise zur Lichtplanung von LED-Anlagen

Die Erfüllung definierter Produkteigenschaften und die Beschreibung der geforderten Lichtqualität spielen bei der Ausschreibung neben dem Preis eine maßgebliche Rolle. Bei der Vergabe des Auftrags sollte überprüft werden, ob die geforderte Qualität bei der Umsetzung der Beleuchtungsanlage auch eingehalten wird.

Lichtqualität, Komfort in Steuerung, Wartung und Lebensdauer sowie Überlegungen zur Nachhaltigkeit sollten als Vergleichswerte bei allen Angeboten auf den Prüfstand gestellt werden. Bedauerlicherweise gibt es immer noch Anbieter, deren Produkte ihren technischen Aussagen nicht verlässlich entsprechen. So kann eine in der Planung zunächst als günstig erscheinende Lichtanlage in der Praxis durch Nachbesserungen und Revisionen doch noch zu einer besonders teuren werden.

Zur Vergleichbarkeit der LED-Technologie sind daher einheitliche Definitionen und Kategorisierungen unerlässlich. Die entscheidungsrelevanten Parameter müssen einen objektivierenden Charakter haben. Nur so lassen sich anwendungsorientiert Kriterien schaffen, die eine nachhaltige Beurteilung und Standardisierung der verschiedenen Angebote und Qualitäten ermöglichen.

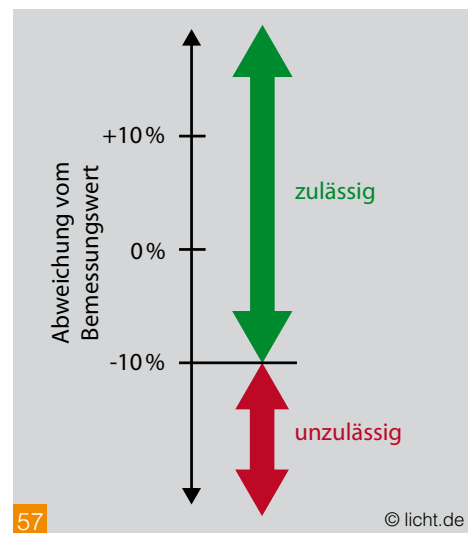
Vergleichskriterien bei LED-Lichtanlagen
Folgende nach den IEC-Normen zu ihrer Arbeitsweise ermittelten Kennwerte bieten sich für einen formalen Vergleich von Leuchten und technischen Leistungen an:

1. Bemessungseingangsleistung P

Die Eingangsleistung einer Leuchte ist die (in Watt) aufgenommene Leistung einschließlich aller internen Verbräuche. Die Bemessungseingangsleistung definiert einen Mengenwert, der für die gesamte Fertigungsbreite dieses Leuchtentyps im Neuzustand zutrifft, einschließlich der Toleranzabweichungen aller eingebauten Komponenten. Die Bemessungseingangsleistung einer LED-Leuchte wird – in der Regel in Watt (W) – auf dem Typenschild, im LED-Datenblatt und in den elektronischen Daten dokumentiert. Dieser Wert kann sehr gut für weitere Betrachtungen und Berechnungen verwendet werden.

2. Bemessungslichtstrom von Leuchten Φ_v

Der Bemessungslichtstrom einer Leuchte definiert einen Mengenwert für den Neuwert des gesamten Lichtstroms (in Lumen, lm), der im sichtbaren Bereich unter bestimmten Betriebsbedingungen (bei 25°C) in alle Richtungen abgestrahlt wird. Der Bemessungslichtstrom der Bezugsleuchte darf den gemessenen Anfangswert der Leuchte um nicht mehr als zehn Prozent unterschreiten. Der Bemessungslichtstrom wird im entsprechenden Datenblatt sowie in den elektronischen Daten dokumentiert.



3. Lichtausbeute von LED-Leuchten η_v

Die Lichtausbeute (in lm/W) bezeichnet das Verhältnis von Bemessungslichtstrom zu Bemessungseingangsleistung. Nur bei vergleichbaren Leuchten mit ähnlichen Lichtstärkeverteilungen ist es möglich, ihre Lichtausbeute als Kriterium für die Vergleichbarkeit bzw. zur Bewertung der Energieeffizienz zu verstehen. In allen anderen Fällen ist eine gesonderte Berechnung der Beleuchtungsanlage zwingend erforderlich.

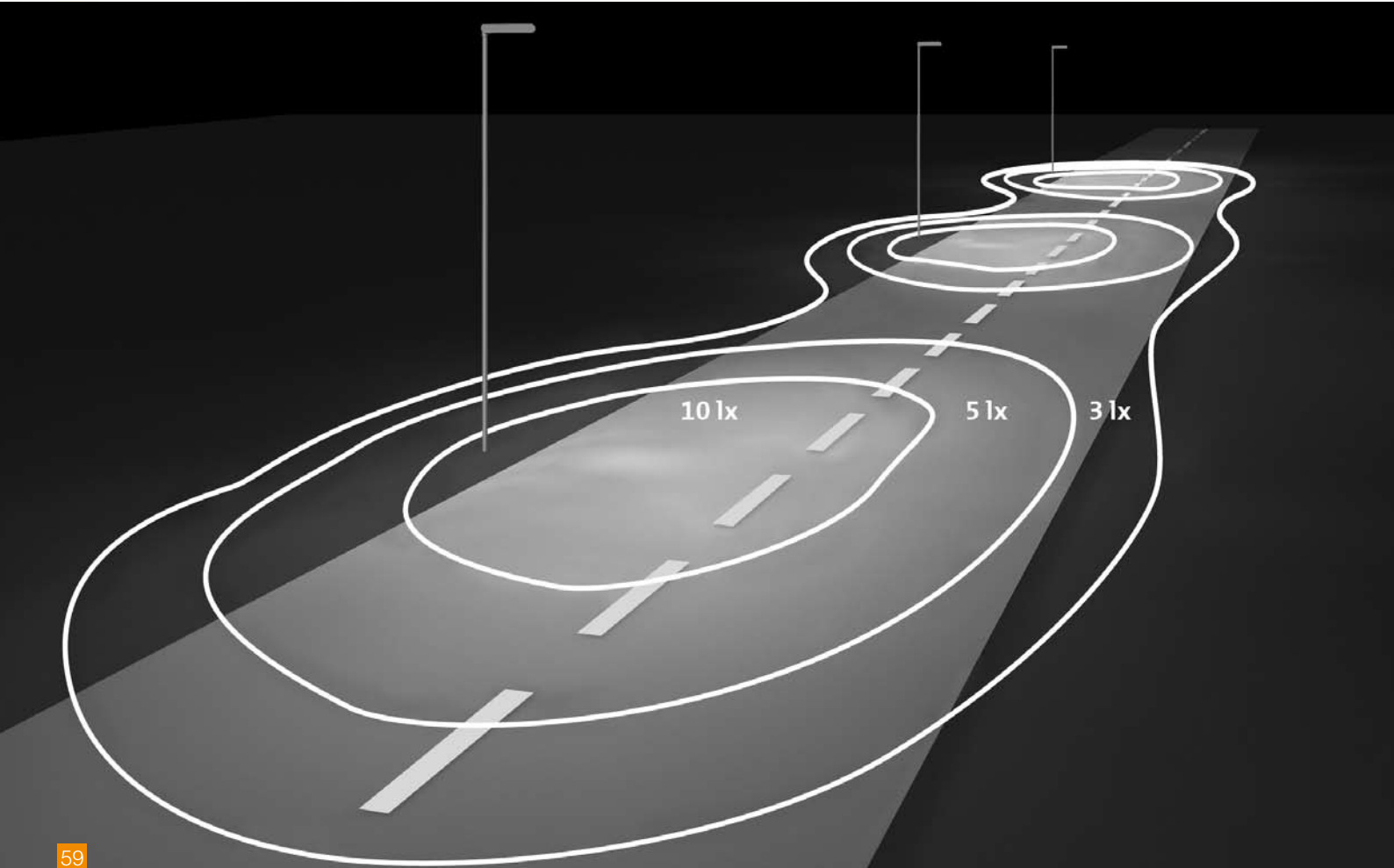
$$\eta_v = \frac{\Phi_v \text{ der Leuchten in Lumen}}{P \text{ der Leuchten in Watt}}$$

[58] Lichtplanungen werden vergleichbar, wenn identische Auswahlgrößen zugrunde gelegt werden. Beim Auswahlprozess der Leuchten empfiehlt es sich zudem, einen optischen Wirkungsvergleich anhand von Musterleuchten vorzunehmen.

[59] Wichtiges Kriterium bei der Straßenbeleuchtung ist eine gleichmäßige Ausleuchtung der Straße und die Vermeidung von Dunkelzonen.

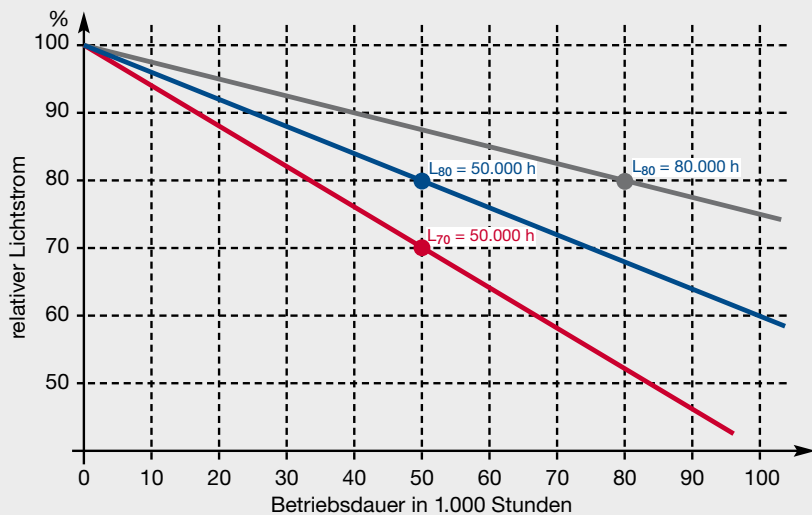


58



59

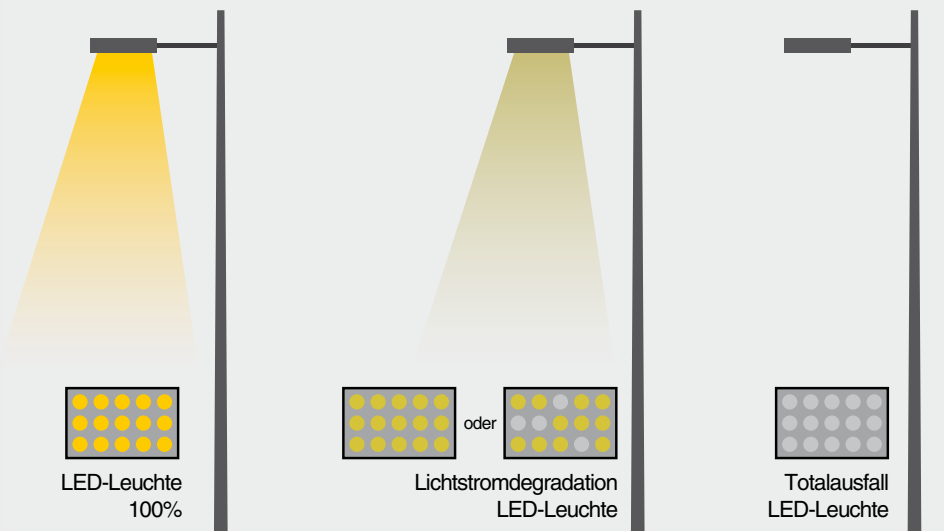
Darstellung des Lichtverlaufs über die Betriebszeit



60 Vereinfachte Darstellung

© licht.de

Lichtstromrückgang bis zum Totalausfall



61

© licht.de

CLO – Constant Light Output

Durch Alterungsprozesse einer LED-Leuchte, reduziert sich der von ihr abgestrahlte Lichtstrom über die Zeit. Deswegen müssen in der Lichtplanung die Beleuchtungsanlagen immer überdimensioniert werden. So wird ermöglicht, dass gegen Ende der Lebensdauer der Wert der Beleuchtungsstärken nicht unterschritten wird. Diese Art der Dimensionierung hat den Nachteil, dass zu Beginn der Lebensdauer unerwünscht hohe Lichtströme erzeugt werden und somit Energie verschwendet wird. Um diese Energie einsparen zu können, wird das CLO – Constant Light Output-Prinzip verwendet. Dabei wird die Energiezufuhr über die Lebensdauer stetig erhöht und zu jedem Zeitpunkt 100% der erforderlichen Beleuchtungsstärke erzeugt. Dadurch wird dem Lichtstromrückgang der Leuchte entgegengewirkt. Damit ist zu Beginn der Betriebsphase keine Überdimensionierung mehr nötig und es kann Energie eingespart werden.

4. Lichtstärkeverteilung von LED-Leuchten
Die räumliche Verteilung der Lichtstärke von Lichtquelle und Leuchten wird durch Lichtstärkeverteilungskurven beschrieben, wie beispielsweise in Abbildung 63, die sie am Beispiel einer Innenraumleuchte zeigt. Die genauen Werte der Lichtstärkeverteilung einer LED-Leuchte im Raum ist in den lichttechnischen Planungsunterlagen dokumentiert.

5. Farbqualität von LED-Leuchten
Die Farbqualität weißen Lichts wird durch folgende Eigenschaften definiert: die Lichtfarbe, beschrieben durch die ähnlichste Farbtemperatur; die Farbwiedergabe, beschrieben durch den Farbwiedergabeindex; die Farbortoleranz, beschrieben durch die MacAdam-Ellipsen. Weitere Informationen hierzu finden sich im Kapitel „Qualitätsmerkmale des LED-Lichts“ (Seiten 22-25) dieses Heftes.

6. Bemessungsumgebungstemperatur und Thermomanagement
Das Betriebsverhalten von LEDs wird stark von Umgebungs- und Eigentemperatur bestimmt. Hohe Temperaturen lassen Lichtausbeute und Lebensdauer einer LED sinken. Daher ist das „Thermomanagement“ der Leuchten in der Planung besonders zu berücksichtigen. Die Bemessungsumgebungstempe-



62

ratur t_a (ambient) legt den Temperaturwert fest, mit dem die Leuchte unter Einhaltung der sicherheitsrelevanten Parameter betrieben werden darf.

7. Lebensdauerkriterien von LED-Leuchten

Die Lebensdauer von LED-Leuchten kann sehr unterschiedlich begrenzt werden. Der spontane Funktionsausfall ist dabei nur eine Möglichkeit. Im Laufe der Zeit lässt die Helligkeit der Leuchten mehr und mehr nach. Das Unterschreiten des zuvor festgelegten Mindestlichtstroms wird auch Degradation genannt. Grund für den Lichtstromrückgang kann auch der Ausfall einzelner LEDs oder LED-Module sein, die je nach Konstruktion der Leuchte in einer Vielzahl darin verbaut sein können (Ausfälle von Vorschaltgeräten werden bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt).

Wartung und Lebensdauer von LED-Leuchten

Für eine solide Planung sind neben den genannten Vergleichskriterien zwei weitere Faktoren besonders relevant: die zu erwartende Lebensdauer und der damit verbundene Wartungsfaktor der LED-Leuchten. Um für diese Werte eine Kennzahl zu ermitteln, werden LED-Leuchten exemplarisch bezüglich ihres Lichtstromverhaltens eingestuft.

Zusätzlich werden die Faktoren Lebensdauer, Degradation und Totalausfall analysiert. Diese Eigenschaften werden mit der Buchstabenfolge $L_x B_y C_z$ chiffriert. L_x benennt die Lebensspanne (z. B. 50.000h), in der ein prozentualer Wert x des ursprünglichen Lichtstroms im Neuzustand erreicht wird. B_y benennt den Prozentsatz an LED-Leuchten, die zum definierten Lebensdauerende den angestrebten Lichtstrom im Neuzustand (L_x) unterschreiten. C_z bezieht sich auf den Prozentsatz der vollständig ausgefallenen Leuchten.

Beispiel: Eine LED-Leuchte ist mit den Angaben $L_{80} B_{50} C_0 = 75.000h$ gekennzeichnet. Das bedeutet, dass nach 75.000 Stunden nur 50 Prozent der bis dahin noch intakten Leuchten einen Lichtstrom von weniger als 80 Prozent im Vergleich zum Anfangswert bereitstellen. Ist kein B-Wert angegeben, gilt „B₅₀“. Das bedeutet, dass die Hälfte der Leuchten nach x Stunden noch mindestens 80 Prozent des anfänglichen Lichtstroms aufweisen.

Nachhaltige Produkteigenschaften – hohe Qualitätsstandards – geringe Wartungsaufwendungen

Um das „richtige“ Angebot für die Beleuchtungsplanung auszuwählen, ist die Standardisierung der Qualitätswerte im Sinne einer Normierung in den oben be-

schriebenen Bereichen sehr sinnvoll. Nur wenn die vorliegenden Angebote und Planungsskizzen neben dem Preis auch nach den oben beschriebenen Kriterien geprüft werden, ist eine umfassende Beurteilung ihrer Qualität und Nachhaltigkeit sinnvoll und möglich.

[60] Die Lichtleistung von LED-Systemen nimmt mit der Zeit ab. Die Lebensdauer wird mit L_x angegeben. Typische Beispiele für den Anteil x (in %) des Bemessungslichtstroms sind z. B. 70 oder 80 Prozent (= L_{70} oder L_{80}) bei einer Bemessungslebensdauer von 50.000 Stunden und einer Umgebungstemperatur von 25° C.

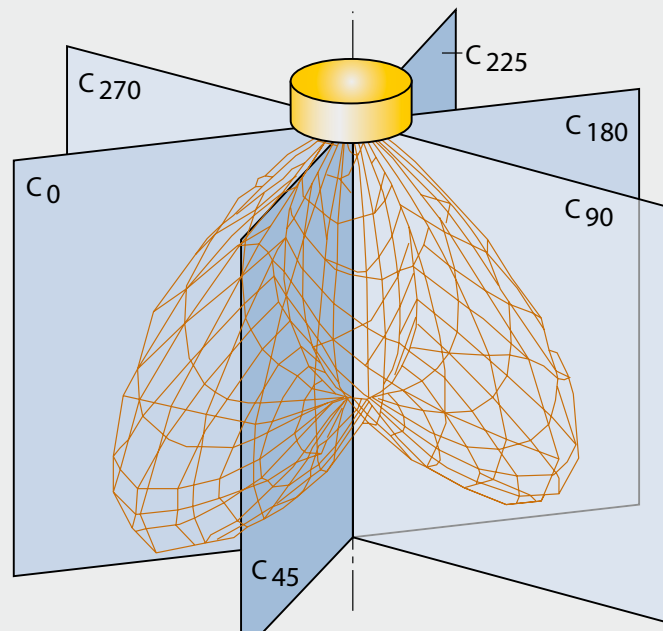
[61] Über einen Zeitraum von einigen Jahren verlieren LED-Leuchten nach und nach an Helligkeit, der Lichtstrom lässt dabei unmerklich nach. Bis zu einem Totalausfall der Leuchte kann es Jahrzehnte dauern. Entscheidend ist hier ein Wartungsplan und ein rechtzeitiger Austausch der Komponenten.

[62] Smarte Lichttechnologie hilft dabei, Leuchten zu dimmen, zu schalten und darüber hinaus lichttechnische Werte der Leuchte zu ermitteln.

[63] In Lichtstärkeverteilungskurven werden die gemessenen Werte der Lichtverteilung grafisch dargestellt.



Lichtstärkeverteilungskurven am Beispiel einer Innenraumleuchte



Einsparpotenziale erkennen

Design und Ausstattung lassen eine veraltete Leuchte zwar leicht erkennen – nicht aber den mit der veralteten Technik verbundenen Stromverbrauch und die Wartungskosten. Bei hohem Energieverbrauch und hohen Wartungskosten der Altanlage ist das Einsparpotential bei einer Sanierung entsprechend signifikant.

Sanieren oder erneuern?

Grundlage für die Entscheidung, ob eine Beleuchtungsanlage saniert oder erneuert werden muss, ist eine durchzuführende wiederkehrende Wartung sowie die systematische Erfassung, Dokumentation und Analyse aller Komponenten.

Dabei stehen zwei Faktoren im Vordergrund:

1. Ist die Anlage mit ihren Lampen- und Leuchtentypen qualitativ noch leistungsstark genug? Wird sie ihrem Einsatzzweck noch optimal gerecht, bzw. erfüllt sie noch alle Sehaufgaben?
2. Ist die Anlage energie- und wartungstechnisch auf einem akzeptablen Stand? Sind die durch Betrieb und Instandhaltung verursachten Kosten zeitgemäß?

Auf Basis der gewonnenen Detaildaten wird eine qualitative und technische Bewertung der (Alt-) Anlage möglich – und damit in der professionellen Beratung die Darstellung der Sanierungsoptionen und der damit verbundenen wirtschaftlichen Auswirkungen. Natürlich konkurrieren in Unternehmen immer viele notwendige Investitionen miteinander. Ist die Lichanlage aber in einem schlechten Zustand, sollte die Sanierung unbedingt hohe Priorität genießen. Eine schlechte Ausleuchtung am Arbeitsplatz kann negative Folgen für die Mitarbeiter und Arbeitsqualität nach sich ziehen und sollte daher nicht zurückgestellt werden.

Systematiken

Aus der systematischen qualitativen Bewertung einer Anlage ergibt sich eine erste Indikation zur Priorisierung notwendiger Maßnahmen und Arbeitsschritte.

Checklisten: Für Planer wie Installateure stellen standardisierte Checklisten effektive Arbeitsinstrumente dar, die Analyseprozesse zeitsparend strukturieren. Sie helfen im Beratungsverlauf übersichtlich dabei, Einsparpotenziale zu identifizieren und Maß-

nahmen – leistungsbezogen wie wirtschaftlich – nicht nur objektiv zu vergleichen, sondern für Auftragnehmer und Auftraggeber auch lückenlos und rechtsverbindlich zu dokumentieren. Checklisten sind „lebendige“ Gebilde. Sie lassen sich kundenbezogen modifizieren, denn inhaltlich wie detailspezifisch sind in verschiedenen Kundensegmenten in Büro, Shop, Industrie, Handwerk usw. ganz unterschiedliche Parameter von Bedeutung.

Digitale Erfassung: Alle ermittelten Daten sollten elektronisch verarbeitet werden (z. B. in Tabellenform). So können sie stets ohne größeren Aufwand aktualisiert werden und ergeben immer ein aktuelles Bild. Das ist besonders für größere Sanierungsvorhaben hilfreich, bei denen eine Umstellung in mehreren Schritten und über mehrere Jahre hinweg vollzogen wird.

Parameter: Mit den Analyselisten werden alle relevanten Gegebenheiten der Bestandsanlage erfasst: Raumgröße, Betriebsstunden und Raumbedingungen, wie Tageslichteinfall und Reflexionsgrade, die technischen Daten zu Lampen, Leuchten und Geometrie der Beleuchtung, aber auch Parameter zu Mitarbeiteranwesenheit und Flexibilität bei zu erwartenden Umbauten. Auch wirtschaftliche Faktoren, wie Strompreis und Steigerungsraten, werden hier einbezogen.

Messungen: In der Erfassung sollten ausschließlich hochwertige professionelle Messgeräte (z.B. Luxmeter) zum Einsatz kommen. Einfache Smartphone-Apps sind nicht zu empfehlen (sie können signifikante Wertabweichungen und Fehler produzieren). Ziel der Messungen ist es, festzustellen, ob die Anlage noch der Norm entspricht. Dabei muss berücksichtigt werden, ob die Bestandsanlage verlässlich gewartet wurde. Falls nicht, kann die Reinigung und ein Austausch der Leuchtmittel allein schon zu einer Verdoppelung des ersten Messwerts führen. Erst dann kann verlässlich beurteilt werden, ob die Notwendigkeit einer Sanierung besteht.

[64] Diese Muster-Checkliste dient zur Übersicht – ausschließlich beschränkt auf visuelle Parameter – und ist sehr allgemein gefasst. Sinnvolle Aussagen zu Sanierung und Einsparpotential sind nur mit erweiterten Checklisten möglich, in die auch Technologie-, Energie- und Ausleuchtungswerte der Anlage miteinbezogen werden.

Checkliste: Einsparpotenziale identifizieren

Name des Kunden:

Adresse / Objektname:

Erfasser:

Wie effizient arbeitet Ihre Beleuchtungsanlage?

*Auch wenn nur ein Kreuz gesetzt ist, gibt es Einsparpotenziale!
Sind mehrere Punkte erfüllt, steigen die Sparmöglichkeiten.*

Ist die Anlage älter als zehn Jahre?

Ja

Beträgt die jährliche Betriebsdauer mehr als 2.500 Std. /
die tägliche Betriebsdauer \geq 10 Std.?

Ja

Gibt es in der Anlage noch Lampen, die mittlerweile EU-weit verboten sind,
z. B. Glühlampen oder Quecksilberdampf-Hochdrucklampen?

Ja

Sind die Leuchten noch mit konventionellen Betriebsgeräten
(Trafos, Vorschaltgeräte) aus Metall / Kupfer ausgestattet?

Ja

*(Hinweis: Leuchtstofflampen mit konventionellen Vorschaltgeräten erkennen Sie,
indem Sie ein Bild der Leuchte mit Ihrem Handy machen. Erscheinen Streifen im
Kerasucher, handelt es sich um konventionelle Betriebsgeräte.)*

Gibt es

opale Wannenleuchten mit Leuchtstofflampen?

Ja

Leuchten mit weißen Rastern und Leuchtstofflampen?

Ja

indirekt abstrahlende Leuchten mit Leuchtstofflampen
oder Kompaktleuchtstofflampen?

Ja

Downlights mit Kompaktleuchtstofflampen?

Ja

Leuchten mit Halogenlampen?

Ja

Beträgt der Strompreis mehr als 18 Cent/kWh?

Ja

Empfehlung

Sie haben mehr als drei Mal mit Ja geantwortet?

→ Ihre Beleuchtungsanlage verbraucht deutlich zu viel Energie und sollte dringend saniert werden!
Nutzen Sie die Chance hoher Einsparungen und lassen Sie sich beraten.

Sie haben ein bis zwei Mal mit Ja geantwortet?

→ Ihre Beleuchtungsanlage hat Optimierungsbedarf. Lassen Sie sich beraten, mit welchen Maßnahmen die
Energieeffizienz gesteigert werden kann, so dass Sie Monat für Monat Stromkosten sparen können.

LEDs: Kosten, Nutzen, Qualität

Entscheider sind häufig nicht vertraut mit den Chancen und Möglichkeiten moderner Beleuchtungsanlagen. Technisch eher unsicher, haben sie qualitative, nachhaltige Kriterien, wie Lichtqualität, Wartung und Nutzerkomfort, nicht im Blick und entscheiden tendenziell primär über den Preis. Neuere Servicemodelle tragen dem Rechnung: Sie bieten „Licht als Serviceleistung“ an, ohne große Vorinvestition zu einem monatlichen Betrag - so einfach wie Strom aus der Steckdose.

Beleuchtungsanlagen schaffen Nutzen

Beleuchtungsanlagen werden heute leider primär nach Kostengesichtspunkten bewertet. Finanziert wird, was nötig ist, um die Normwerte für die Sehaufgaben zu erfüllen. Doch eine hochwertige Beleuchtungsanlage schafft vielfältigen Nutzen, für Betreiber wie Investoren, z. B. durch Abschreibungen auf die Investition, bei reduzierten Betriebskosten. Von niedrigen CO₂-Emissionen profitiert die Umwelt, aber auch die Umweltbilanz des Unternehmens. Und schließlich sichert gutes Licht – abgestimmt auf Sehaufgabe, individuelle Sehleistung und Raumumfeld – Gesundheit und Effizienz der Mitarbeiter.

Die Rentabilität von Beleuchtungsanlagen

Moderne und effiziente Technologien sind der Schlüssel zu massiven Einsparungen, je nach Technologie bis zu 60 % und mehr. Jedes eingesparte Watt bedeutet bares Geld – bei 4.000 Nutzungsstunden pro Jahr und 0,18 €/kWh bis zu 0,72 € (siehe Grafik Nr. 66 rechte Seite). Würden beispielsweise in einer Produktionshalle veraltete Hallenpendelleuchten mit einer Lampenleistung von 250 Watt und einer Systemleistung von 274 Watt durch eine neue LED-Lösung ersetzt, ergäbe sich – bei einem Verbrauch von ca. 110 Watt – eine jährliche Einsparung von ca. 120 Euro pro Leuchte. Würde man die Lebenszykluskosten einer Beleuchtungsanlage, z.B. über 10 Jahre unter Berücksichtigung der Kosten für Investition, Installation und Wartung betrachten, ergäben sich Kostenreduktionen von bis zu 500 € pro Leuchte! Als Rendite formuliert, läge diese bei ca. 5 - 10 %. Neue Beleuchtungsanlagen sind also eine sehr gute und sichere Form der Mittelverwendung.

Relativierend muss man allerdings sagen, dass dies eine sehr generalisierende Rechnung ist. Die Schwierigkeit

für den Entscheider liegt aber im Detail: Bei Lebenszykluskosten, die über einen längeren Zeitraum auch für die Zukunft projiziert werden, kann nur ein Teil der Kalkulation faktenbasiert sein. Ein Teil der Zahlen beruht auf Annahmen zur zukünftigen Entwicklung. Das bedeutet betriebswirtschaftlich eine gewisse Unsicherheit und Schwankungsbreite.

Noch schwieriger ist es, nicht nur die quantitativen, sondern auch Kosten für – häufig sehr subjektive – Werte wie „Qualität“ mit zu berücksichtigen. Die Kostengruppen müssen unterschieden werden in Faktoren, die den Nutzer direkt beeinflussen, wie der Bedienkomfort einer Lichtsteuerung, im Kontrast zu dessen Nutzen für den Facility Manager, der damit jederzeit die volle Kontrolle über die Lichtnutzung eines Raumes sowie die Bestätigung hat, dass alle Leuchten einwandfrei funktionieren.

Leider müssen viele logistische Entscheidungen unter starkem Zeitdruck getroffen werden. Das erschwert das Nachdenken über eine – im Vergleich zu einer auf den ersten Blick kostengünstigeren Möglichkeit – qualitativ hochwertigere Alternative mit nachhaltigerem Wert für die Umwelt, individuellem Profil und langer Lebensdauer, die unter dem Strich eine höhere Rendite erzielt.

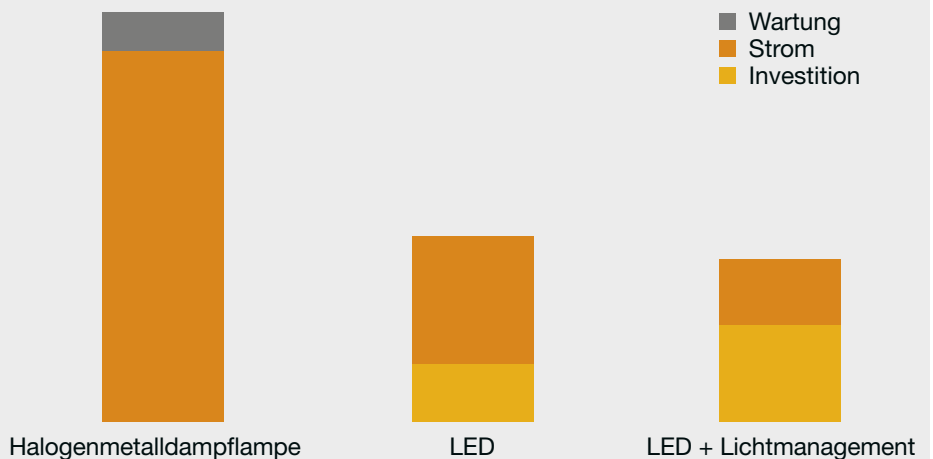
Entscheider sind gut beraten, sich zu den relevanten Kriterien für eine Lichtanlage schon im Vorfeld Gedanken zu machen und sich von Lichtplanern umfassend beraten zu lassen. Neben der Lichtqualität einer Anlage sollten auch Kriterien wie Produktqualität sowie langfristige ökonomische Faktoren, wie die Servicequalität des Anbieters, die Wartungsfähigkeit der Anlage und ihre Lebensdauer berücksichtigt werden.

Licht als Serviceprodukt

Eine Alternative zur Investition in eine Anlage ist der Bezug von „Licht als Serviceleistung“. Ein qualifizierter Servicepartner stellt dabei den Betrieb einer individuell angepassten Beleuchtungslösung sicher, inklusive des Risikos bei Ausfall. Abgestimmt auf die Anforderungen des Kunden, wird eine individuelle Vereinbarung zwischen den Partnern getroffen, z. B. über einen Lebenszyklus hinweg, die für beide Seiten Sicherheit schafft. Für den Entscheider bedeutet dies nicht nur schnelle Hilfe bei auftretenden Problemen: Da sich die LED-Technologie ständig verbessert, hat der Kunde automatisch Anteil daran. Zwischen Kunden und Lieferanten werden Servicepakete vertraglich vereinbart, sogenannte „Lifecycle Contracts“, die regelmäßige Updates und Beratungsleistungen für Technik-, Material- und Software-Neuerungen vorsehen.

Für den Kunden hat diese Lösung Vorteile. Er erwirbt sein Licht pauschal, ohne in bestimmte Produkte zu investieren, die regelmäßig gewartet werden müssten. Sein Aufwand geht damit gegen Null und er kann sich auf seine Kernaufgaben konzentrieren.

Beispielhafte Betrachtung von Beleuchtungskosten einer Industriehalle* über 10 Jahre

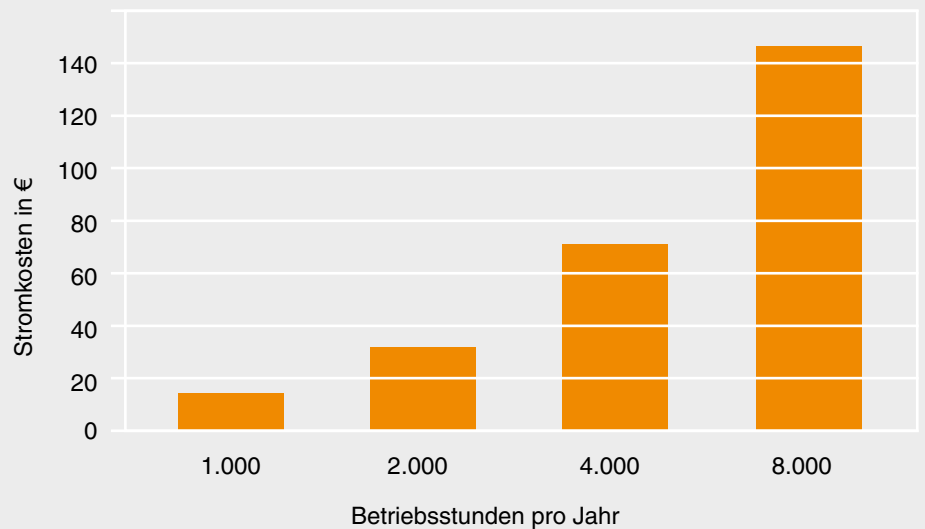


* Industriehalle 30 x 50 m / 300 Lux Beleuchtungsstärke / 3.000 Betriebsstunden jährlich.

65

© licht.de

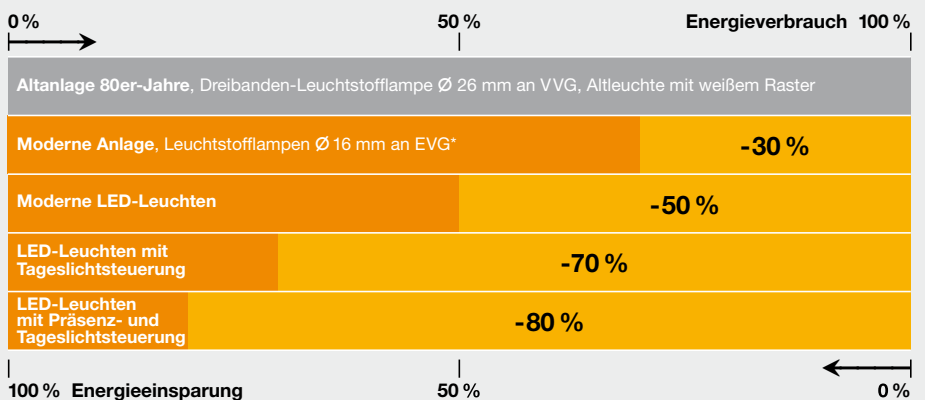
Beleuchtungskosten für 100 Watt bei Stromkosten von 0,18 €



© licht.de

66

Sparpotenziale Innenbeleuchtung



Beispiel für 2-Achs-Büro

** Leuchtstofflampen mit geringer Verlustleistung, Leuchten mit moderner Lichtlenktechnik.

© licht.de

[65] Die Grafik „Beleuchtungskosten einer Industriehalle“ zeigt, wie viel Strom- und Wartungskosten bei der Umrüstung auf LED eingespart werden können.

[66] Energieeinsparungen wirken sich positiv auf die Umweltbilanz des Unternehmens aus und sparen zudem bares Geld.

[67] Übersicht der Einsparpotenziale in der Innenbeleuchtung im Vergleich der unterschiedlichen Technologien.

67

Vorteile der LED-Beleuchtung

Die LED bietet dem Nutzer heute eine Vielzahl an Vorteilen und sehr viel mehr Flexibilität, als das bisher in der Beleuchtung möglich war: Im zeitlichen Kontext durch variable Lichtqualitäten je nach Tageszeit, im räumlichen Kontext durch gezielt steuerbaren Einsatz der Beleuchtung und im nutzerabhängigen Kontext durch Bereitstellung des richtigen Lichts für unterschiedliche Nutzergruppen.

Effizienz

- Hohe Effizienz
- Geringer Stromverbrauch

Lichtqualität

- Gute Farbwiedergabe
- Gerichtetes, leicht zu lenkendes Licht

Lichtgestaltung

- In der Lichtfarbe anpassbares Licht (Warmweiß, Kaltweiß, etc.)
- Farbige Licht
- Steuern ohne Qualitätsverluste
- Gerichtetes, leicht zu lenkendes Licht
- Mehr Flexibilität und planerische Freiheit
- Lichtszenen sind einfach programmier- und abrufbar

Vorteil Design

- Kompakte Bauformen für flexibles Design
- Große Gestaltungsfreiheit und Formenvielfalt



Technologie

- Stufenlos dimmbar
- Smart steuerbar
- Stoß- und vibrationsfest

Kosten

- Geringere Energiekosten
- Geringere Wartungskosten

Umwelt

- Ohne Quecksilber und andere gesundheitsgefährdende Stoffe
- Einfache Entsorgung
- Geringe CO₂-Emissionen
- Keine UV- und Infrarotstrahlung
- Geringer Insektenanflug bei Außenbeleuchtung

Langlebigkeit

- Lebensdauer von 20.000 bis 50.000 Stunden und mehr
- Geringer Wartungsaufwand
- Seltener Totalausfall

Glossar

Grundgrößen der Lichttechnik

Die gesamte im Raum sichtbare **Lichtleistung** eines Leuchtmittels entspricht dem **Lichtstrom Φ** . Gemessen in Lumen (lm), berücksichtigt dieser die Helligkeitsempfindlichkeit des menschlichen Auges.

Die **Lichtausbeute η** ist das Verhältnis von Lichtstrom zur elektrischen Leistungsaufnahme und damit Maß für die Energieeffizienz eines Leuchtmittels. Die Maßeinheit ist lm/W. Bei einem Leuchtenvergleich über lm/W müssen zudem die Verluste durch Vorschaltgeräte berücksichtigt werden.

Die **Lichtstärke I**, gemessen in Candela (cd), bewertet die Lichtmenge, die in eine bestimmte Richtung abgestrahlt wird. Sie ist als Lichtstrom pro Raumwinkel definiert und wird von lichtlenkenden Elementen wie Reflektoren beeinflusst. Die Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) zeigt das Lichtausstrahlungsverhalten der jeweiligen Leuchte.

Die **Leuchtdichte L** ist das Maß für den Helligkeitseindruck, den das Auge von einer leuchtenden oder beleuchteten Fläche hat. Gemessen wird die Leuchtdichte in Candela pro Flächeneinheit (cd/m²), bei Leuchtmitteln meist in cd/cm². Sie beschreibt die physiologische Wirkung

des Lichts auf das Auge und wird in der Außenbeleuchtung als Planungsgröße verwendet.

Die **Beleuchtungsstärke E**, gemessen in Lux (lx), definiert, wie viel Lichtstrom (in Lumen) auf eine bestimmte Fläche fällt: Sie beträgt ein Lux, wenn der Lichtstrom von einem Lumen einen Quadratmeter Fläche gleichmäßig ausleuchtet. Ein Beispiel: Eine normale Kerzenflamme hat im Abstand von einem Meter ungefähr ein Lux Beleuchtungsstärke. Diese Größe ist wichtig für die Dimensionierung der Innenbeleuchtung. In den Normen DIN EN 12464 Teil 1 und 2 „Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien“ werden entsprechende Werte vorgegeben.

Reflexionsgrad ρ

Der Reflexionsgrad besagt, wie viel Prozent des auf eine Fläche fallenden Lichtstroms reflektiert werden. Helle Flächen haben einen hohen, dunkle Flächen einen niedrigen Reflexionsgrad: Bei weißen Wänden und Decken liegt der Reflexionsgrad bei $\rho = 80$ Prozent.

Blendung

Blendung kann das Sehen erheblich erschweren: Sie vermindert die Sehleistung (physiologische Blendung)

und den Sehkomfort (psychologische Blendung). Zu unterscheiden sind direkte und indirekte Blendung: Direktblendung geht von Leuchten oder anderen Flächen mit zu hoher Leuchtdichte aus, wie zum Beispiel Fenstern. Reflexblendung wirkt indirekt, erzeugt von Reflexen durch Spiegelung auf glänzenden Oberflächen.

Zur Blendungsbegrenzung wird die Blendquelle abgeschirmt und weniger reflektierendes Material eingesetzt.

Schatten und Modelling

Lichtstärke, Lichtrichtung und Schattigkeit müssen stimmen, damit Gegenstände, wie zum Beispiel Skulpturen, Reliefe und Texturen, erkannt und plastisch wahrgenommen werden. Im Modelling ist das Verhältnis von diffusem zu gerichtetem Licht ausgewogen.

Wartungswert

Der Wartungswert ist der auf eine bestimmte Fläche bezogene Wert in Lux, unter den die mittlere Beleuchtungsstärke auf einer bestimmten Fläche nicht sinken sollte. Abnutzung, Verschmutzung und Alterung von Lampen, Leuchten und Räumen verringern die Beleuchtungsstärke. Neuanlagen müssen mit höheren Beleuchtungsstärken dimensioniert werden

Gute Farbwiedergabe

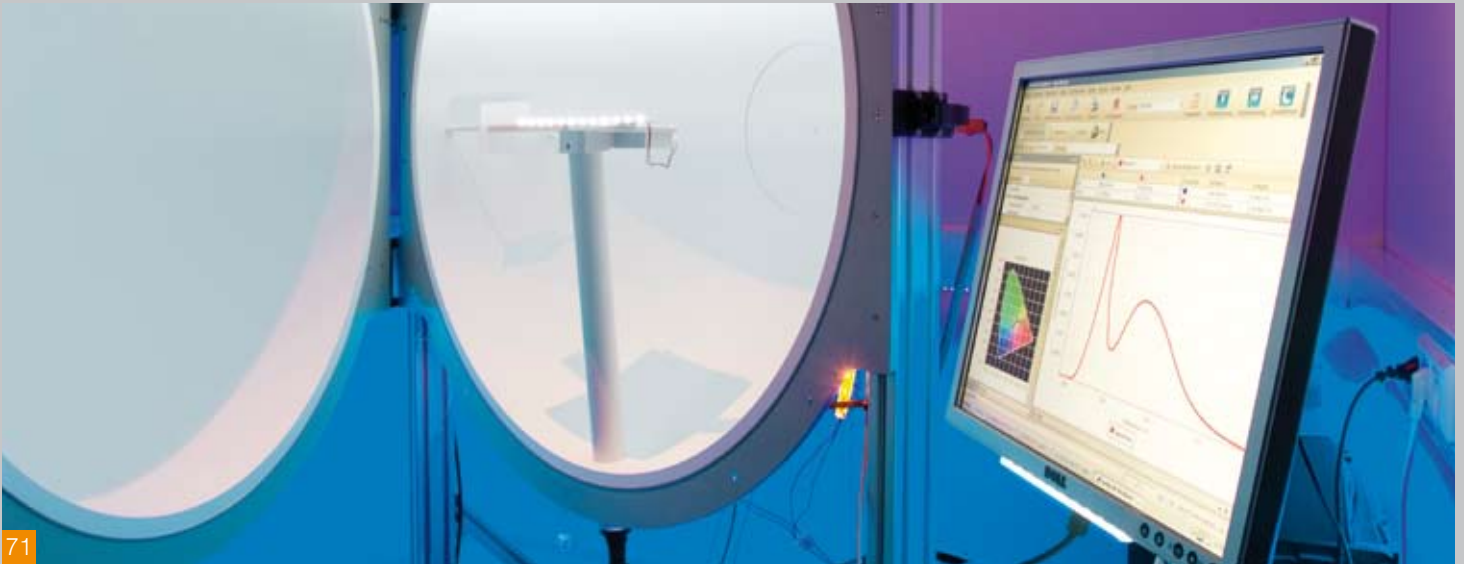


69

Schlechte Farbwiedergabe



70



71

(Neuwert), um diese Verringerung zu kompensieren. Bei der Lichtplanung wird diese Abnahme mit dem Wartungsfaktor erfasst:
Wartungswert = Wartungsfaktor x Neuwert

Wartungsfaktor MF (Maintenance Factor)

Der Wartungsfaktor ist definiert als Verhältnis von Wartungswert zu Anfangswert der Beleuchtungsstärke. Er errechnet sich aus dem Produkt von Lampen-Lichtstromrückgang LLMF, Lampen-Lebensdauer LSF, Leuchtenverschmutzung LMF und Raumverschmutzung RMF.

Lichtfarben

Das von Lichtquellen abgestrahlte Licht besitzt eine Eigenfarbe, die sogenannte Lichtfarbe. Sie wird bestimmt durch die Farbtemperatur in Kelvin (K). Niedrige Werte stehen für warmtonige Beleuchtung, höhere für kühlere. Man kann sie in drei Kategorien einteilen: Warmweiß (Farbtemperatur unter 3.300 K), Neutralweiß (zwischen 3.300 K und 5.300 K) sowie Tageslichtweiß (mehr als 5.300 K).

Farbwiedergabe

Der Farbwiedergabewert R_a hängt vor allem von der spektralen Zusammensetzung des Kunstlichts ab und bewertet die Wiedergabe von Farben bei künstlicher Beleuchtung im Vergleich zu einer Referenzlichtquelle. Werte von $R_a = 100$ bedeuten eine sehr gute Farbwiedergabe. Moderne LED-Lichtquellen erreichen sehr gute Werte.

Kontrast

Kontrast ist der Unterschied zwischen zwei Objekten oder einem Objekt und seiner Umgebung in Leuchtdichte oder Farbe. Mit sinkendem Kontrast steigt die Schwierigkeit einer Sehaufgabe.

Kontrastwiedergabe

Kriterium für die Begrenzung der Reflexblendung. Die Kontrastwiedergabe wird durch den Kontrastwiedergabefaktor (CRF) beschrieben, der für die Sehaufgabe das Verhältnis des Leuchtdichtekontrasts bei gegebener Beleuchtung zum Leuchtdichtekontrast bei Referenzbeleuchtung definiert.

Spektrale Zusammensetzung des Lichts/der optischen Strahlung

Für das Lichtspektrum gilt: UV>Blau>Grün>Gelb>Rot>IR. Bei kürzer werdender Wellenlänge steigt die Energie der Strahlung an. LED-Lichtquellen weisen nahezu kein UV- und IR-Licht auf.

Binning

In der Produktion von LED-Chips kommt es fertigungsbedingt zu leichten Abweichungen: Lichttechnische Eigenschaften können beispielsweise in Farbe, Lichtstrom und Flussspannung variieren. Um eine konstante Lichtqualität mit homogenem Helligkeitsniveau und vereinheitlichter Lichtfarbe zu gewährleisten, müssen LEDs einer Charge sortiert werden. Das passiert in sogenannte „Bins“ (englisch: Behälter/Klasseneinteilung). Dieser „Binning“-Prozess ist besonders bei weißen LEDs von großer Bedeutung.

MacAdam-Ellipse

Heute werden LEDs nach der ANSI-Norm (ANSI C78.377-2011.) sortiert. Sie definiert Farbabweichungen mithilfe der MacAdam-Ellipsen (auch SDCM = Standard Deviation of Color Matching). Diese Ellipsen beschreiben die Farbabstände auf den XY-Koordinaten. Die Angabe von MacAdam-Ellipsen informiert den Nutzer darüber, wie weit zum Beispiel die Licht-

farben einzelner LED-Module voneinander abweichen. LEDs dieser enggefassten Bins garantieren einheitliche Lichtfarben, zum Beispiel 2.700 Kelvin für Warmweiß.

[69, 70] Um Farben unverfälscht erfassen zu können, muss die Lichtquelle eine gute Farbwiedergabe aufweisen. Eine schlechte Farbwiedergabe lässt den Blumenstrauß hier im Bild entsprechend eintönig aussehen.

[71] Mit der „Ulbricht-Kugel“ wird der ungleichförmig verteilte Lichtstrom aus allen Richtungen gesammelt, um den Lichtstrom über ein Photometer zu messen.

Jedes Heft!

€10,-

Die Schriftenreihe von licht.de



licht.wissen 01
Die Beleuchtung mit künstlichem Licht

60 Seiten Grundlagen und Informationen zur Beleuchtung mit künstlichem Licht: Heft 01 beschreibt die physikalischen Komponenten von Licht und vermittelt die wichtigsten Grundkenntnisse der Beleuchtungstechnik.



[licht.wissen 02] 56 Seiten mit allen wichtigen Informationen zur fachgerechten und effizienten Beleuchtung von Bildungsstätten. Zudem wird dargestellt, wie durch gute Beleuchtung Motivation und Leistung von Lernenden gefördert werden kann.



[licht.wissen 10] licht.wissen 10 „Notbeleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung“ erläutert auf 52 Seiten kompetent und praxisnah wichtige Merkmale der Sicherheitsbeleuchtung sowie lichttechnische Anforderungen.



[licht.wissen 19] 56 Seiten über die biologische Wirkung des Lichts auf den Menschen: Heft 19 informiert über den aktuellen Stand der Forschung und erläutert anhand von Praxisbeispielen den Umgang mit dynamischem Licht.



[licht.wissen 20] 40 Seiten über Nachhaltigkeit, Wertschöpfungsketten, Finanzierung und Förderung von umweltschonenden Projekten. Best Practice Beispiele und Checklisten für die Sanierung runden das Heft ab.

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

- | | | |
|--|---|---|
| 01 Die Beleuchtung mit künstlichem Licht (2016) | 08 Sport und Freizeit (2010) | 15 Gute Beleuchtung rund ums Haus (2009) |
| 02 Besser lernen mit gutem Licht (2012) | 09 Sanierung in Gewerbe, Handel und Verwaltung (2014) | 16 Stadtmarketing mit Licht (2010) |
| 03 Straßen, Wege und Plätze (2014) | 10 Notbeleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung (2016) | 17 LED: Grundlagen - Applikation - Wirkung (2018) |
| 04 Licht im Büro, motivierend und effizient (2012) | 11 Gutes Licht für Hotellerie und Gastronomie (2005) | 18 Licht für Museen und Ausstellungen (2016) |
| 05 Industrie und Handwerk (2018) | 12 Lichtmanagement (2016) | 19 Wirkung des Lichts auf den Menschen (2014) |
| 06 Shopbeleuchtung, attraktiv und effizient (2011) | 13 Arbeitsplätze im Freien (2007) | 20 Nachhaltige Beleuchtung (2014) |
| 07 Gesundheitsfaktor Licht (2012) | 14 Ideen für Gutes Licht zum Wohnen (2009) | 21 Leitfaden Human Centric Lighting (HCL) (2018) |

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

Alles über Beleuchtung!

Herstellerneutrale Informationen

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

licht.wissen

Die Hefte 1 bis 21 der Schriftenreihe licht.wissen geben Informationen zur Lichtanwendung. Diese Themenhefte erläutern anhand vieler Beleuchtungsbeispiele lichttechnische Grundlagen und zeigen beispielhafte Lösungen. Sie erleichtern damit auch die Zusammenarbeit mit Fachleuten der Licht- und Elektrotechnik. Alle lichttechnischen Aussagen sind grundsätzlicher Art.

licht.forum

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

www.licht.de

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



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



www.facebook.com/lichtde



Impressum

Herausgeber

licht.de
 - eine Brancheninitiative des ZVEI -
 Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.
 Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt am Main
 Tel. 069 6302-353, Fax 069 6302-400
licht.de@zvei.org, www.licht.de

Redaktion, Text, Gestaltung und Realisation

LightAgentur, Bonn

Lektorat

Christiane Kersting, Lüdenscheid

ISBN-Nr. Druckausgabe 978-3-945220-18-4
 ISBN-Nr. PDF-Ausgabe 978-3-945220-19-1
 03/18/00/17III

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

Der komplette oder auszugsweise Nachdruck von licht.wissen 17 ist mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Bildnachweis

Bildnummern Rückseite:

		72	
73	74	75	
76	77	78	

Bilder

Hintergrund Inhaltsverzeichnis: Roland Halbe, Stuttgart; [02] Guido Erbring, Köln; [03] Markus Bollen, Bergisch Gladbach; [11] Frank Ockert, Stuttgart; [12] Guido Erbring, Köln; [23] Peter Berger, Bielefeld; [29] Linus Lintner, Berlin; [46] Frank Ockert, Stuttgart; [71] Alexander Ring, Lüdenscheid; [72] Frank Ockert, Stuttgart; [73] David Wakely, San Francisco.

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

licht.wissen 17

LED: Grundlagen - Applikation - Wirkung



licht.de

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