

LED Lichttechnik | 73

Praxisbeispiele | Seite 76

LED Lichttechnik | Seite 80

Produkte von der
Light+Building | Seite 114

Die LED erobert immer mehr Terrain in allen Anwendungsbereichen. Sie wird mit anderen Gebäudetechnologien zunehmend vernetzt, das heißt, die Anforderungen werden komplexer und müssen auf sicheren Kenntnissen basieren. In Kooperation mit dem DIAL - Deutsches Institut für angewandte Lichttechnik entstand dieser Sonderteil, der umfassend und aktuell über die LED-Technologie informiert.

LED Lichttechnik

76 Produkte in Anwendung

80 Grundlagen: Funktionsweisen, Entwicklung, OLED

92 Qualitätsmerkmale: Farbwiedergabe, Binning

97 Wirtschaftlichkeit: Effizienz, Lichtausbeuten, Lebensdauer

104 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung: tabellarischer Vergleich

108 Human Centric Lighting: Spektrum, Dynamik, Intensität

111 Behauptungen und Fakten

113 Glossar

114 Produkte von der Light+Building

Titel

iStockphoto/Jaap-Willem Kleijwegt

Detailwissen nutzen

Die Light+Building hat in diesem Jahr wieder erfolgreich Neu- und Weiterentwicklungen in der Gebäudetechnik präsentiert. Auch die LED-Technologie bietet durch die schrittweise Verbesserung ihrer Qualitäten ein erweitertes Spektrum von Anwendungen. Zudem sind neue Player in den Markt eingetreten oder haben ihre Präsenz verstärkt und gibt es weitere Möglichkeiten, das Thema LED digital vernetzt zu spielen. Dass dies mit zunehmender Komplexität einhergeht, ist nachvollziehbar und macht es umso wichtiger, grundsätzlich gut informiert zu sein.

In Zusammenarbeit mit dem DIAL – Deutsches Institut für angewandte Lichttechnik in Lüdenscheid entstand dieser fundierte, anwendungsbezogene und übersichtliche „Leitfaden LED“ für die Arbeit mit der LED-Beleuchtung. Hier erfahren Sie Grundsätzliches zur Funktionsweise der LEDs, mit welchen Vor- oder Nachteilen Sie bei der Planung bzw. dem Einsatz von LEDs umgehen müssen, wie wichtig ein Thermomanagement ist oder warum es sich schwierig gestalten kann, eine LED-Retrofit-Lampe zu dimmen. Dass die Normung und Bewertung dieser relativ neuen Leuchtmittel andere Kriterien für die Vergleichbarkeit erforderlich macht als in der Vergangenheit, wird hier ebenso erklärt, wie die wirtschaftlichen Aspekte einer Umrüstung von konventioneller Lichttechnik auf LED-Beleuchtung.

In den Kapiteln Grundlagen, Qualitätsmerkmale, Wirtschaftlichkeit, Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, Human Centric Lighting, Behauptungen und Fakten sowie schließlich dem Glossar wird alles Wissenswerte über die LED-Technologie erläutert. Wer während der Light+Building des Öfteren über den Begriff „Human Centric Lighting“ (kurz: HCL) gestolpert ist, erfährt hier, was er bedeutet und welche planerischen und technischen Parameter zu berücksichtigen sind.

Ihre DBZ-Redaktion

LED-Lichtbauelement, mit symmetrischer Lichtstärkeverteilung, Schutzart IP 65, Schutzklasse II. Entwickelt für die energieeffiziente Beleuchtung von Außenräumen, überzeugt die Leuchte durch hohe Lichtausbeute, lange Lebensdauer und Wahlmöglichkeit der Farbtemperatur. Besonders geeignet zur Strukturierung und Führung von Personen- und Fahrzeugverkehr.
BEGA · Postfach 3160 · 58689 Menden · www.bega.de

BEGA



Das gute Licht.
Für die leichtere Orientierung.



Die Beleuchtung im Technologie- und Gründerzentrum Würzburg erfüllt nicht nur funktionale Ansprüche, sondern unterstützt auch den Biorhythmus der Menschen, die dort arbeiten

Licht für das Wohlbefinden

Technologie- und Gründerzentrum, Würzburg



Der Neubau des Technologie- und Gründerzentrums Würzburg (TGZ) bietet eine Plattform für außeruniversitäre Einrichtungen und innovative Unternehmen sowie berufsbegleitende akademische Bildungsmaßnahmen. Nicht nur beim Energiekonzept, sondern auch bei der Beleuchtung setzen die Planer von kister scheithauer gross architekten und stadtplaner (ksg, Köln/Leipzig) in Arbeitsgemeinschaft mit TEN aus Aachen und IDK Kleinjohann aus Köln auf Energieeffizienz: Im gesamten Gebäude und in der Montagehalle wurden LED-Leuchten und Lichtmanagementsysteme von Regiolux bzw. dem Tochterunternehmen Lichtwerk installiert, um bedarfsgerechtes und funktionales Licht zu generieren. Die Steuerung erfolgt tageslicht- und präsenzabhängig. Die Leuchtengruppen werden dabei in Abhängigkeit der Raumtiefe und des Tageslichteinfalls so angesteuert, dass ein vorgegebenes Beleuchtungsniveau eingehalten wird. Für das Wohlempfinden der Mitarbeiter erhielten die Büroräume alvia LED-Pendelleuchten in der Ausführung Human Centric Lighting (HCL). Im Gegensatz zu statischem Licht bietet diese Beleuchtung dynamische Lichtwechsel, indem sich die Lichtfarbe und -stärke dem Tageslichtverlauf anpasst. Dadurch entsteht eine einzigartige Lichtqualität im Gebäudeinneren, die die Dynamik des menschlichen Biorhythmus unterstützt und so die Motivation und das Wohlbefinden der Mitarbeiter fördert.

Regiolux GmbH
97486 Königsberg
Tel.: 09525 89 0
info@regiolux.de
www.regiolux.de

Fotos: Frank Freilhofer für Regiolux



10 000 Produkte mussten ins rechte Licht gesetzt werden, dazu 16 Restaurants und Stände, neun Schauwerkstätten und ein Eventbereich. Die Lichtplaner haben die dreidimensionale Vorlage des Architekten Carlo Piglione um eine neue Dimension erweitert, getreu dem „Manifest der Harmonie“ von Eataly

Wenn nicht nur die Augen leuchten

Eataly in der Schrammehalle, München



Im November 2015 eröffnete die umgebaute Schrammehalle neben dem Viktualienmarkt in München wieder ihre Pforten. Der Hauptmieter Eataly bietet hier zwischen Marktständen, Einkaufsregalen und Restaurants alles, was italienische Esskultur attraktiv macht. Auf insgesamt 5630 m² Gastro- und Verkaufsfläche inszeniert das Unternehmen mit Unterstützung von Artemide eine Atmosphäre, die an Italien und die Stimmung auf Märkten und Restaurants dort erinnert. Die bayerische Dependence bietet noch eine Besonderheit: Anders als im Eataly in New York bleiben hier die Restaurants nach 20 Uhr geöffnet, der Markt jedoch ist dann geschlossen. Dann fährt die Beleuchtung an den Seiten herunter und der Gastrobereich in der Mittelzone wird mit Pendelleuchten warmweiß beleuchtet, so dass sich kein Besucher in den Markt verirrt.

Für die Beleuchtung am Tag entwickelten die Beleuchtungsplaner verschiedene Szenarien, die mit dem natürlichen Tageslicht, das in die großzügig verglaste Halle einfällt, harmonisiert. Sie begleiten den Besucher zu unterschiedlichen Zeiten und gliedern die einzelnen Raumzonen gezielt mit Kunstlicht. Der Einsatz von Picto-Spots im Marktbereich sorgt für eine gute Farbwiedergabe der Produkte. Dazu schweben Nur-Pendelleuchten über den Köpfen der Besucher und erhellen den großen Raum; im Zusammenspiel mit Nur 1618 ergibt sich hier eine großflächige und gleichmäßige Ausleuchtung.

Artemide GmbH
58730 Fröndenberg
Tel.: 02373 975-0
info@artemide.de
www.artemide.de

Fotos: Eataly



Bio, regional, frisch: Mit seinem Angebot ist der Frischmarkt Schuster am Puls der Zeit und erfüllt die Ansprüche von Anwohnern wie von Touristen. Abgestimmte Beleuchtung leistet dabei einen wichtigen Beitrag



Foto: BÄRO

„Tante-Emma-Laden“ neu interpretiert

Frischmarkt Schuster, Mals-Tarsch/IT

Der Inhaber des Frischmarkts Schuster in Mals-Tarsch in Südtirol wünschte sich, analog zum Wandel seines Warensortiments, auch eine Veränderung in seinem Ladenlokal, wo sich Einheimische und Touristen zunehmend mit regionalen Spezialitäten versorgen. Um den Umbau kümmerte sich der Architekt Dr. Christian Kapeller aus dem benachbarten Ort Schlanders zusammen mit örtlichen Handwerkern. Er verwandelte den ehemals eher dunklen und verwinkelten 90m² großen Laden mit Hilfe von individuell gefertigten Einbauregalen in einen Raum mit fließenden Übergängen. Übersichtlich sortiert und entsprechend beleuchtet werden verschiedene Warengruppen präsentiert.

An Stromschienen montiert ergibt der Einsatz verschiedener Abstrahlcharakteristiken, Leistungen und LED-Spektren der

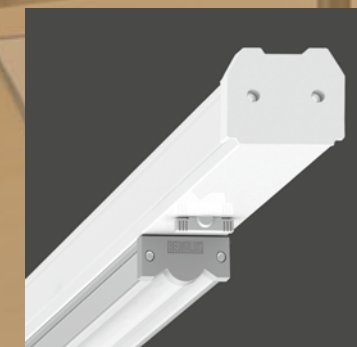
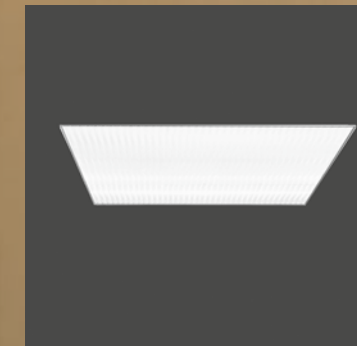
Ontero EC- Strahler ein differenziertes Lichtkonzept, das gerade für die gute Präsentation von Lebensmitteln ein wichtiger Baustein für den Erfolg ist.



So kommen diverse Lichtfarben zum Einsatz, um die Eigenfarben der Waren jeweils besonders gut wiederzugeben: LEDs in der warmtonigen Standard-Lichtfarbe 2700K für Obst, Brot und Feinkost, die Spezial-Lichtfarbe Special Meat für Wurstwaren sowie die Standard-Lichtfarbe 3000K zur Allgemeinbeleuchtung. Als integraler Bestandteil der Innenarchitektur vereint die Beleuchtung somit ganz unterschiedliche Ansprüche: Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz mit hoher Ästhetik, verkaufsfördernde Warenpräsentation und vor allem das Wohlbefinden der Kunden.

BÄRO GmbH & Co. KG
42799 Leichlingen
Tel +49 2174 799 0
info@baero.com
www.baero.com

LED-Leuchten „tunable white“ von Regiolux: Biologisch wirksames Licht



Regiolux hat sein Leuchtenprogramm um die ersten „tunable white“ LED-Leuchten erweitert. Mit ihnen ist es möglich, dynamische Lichtlösungen für Human Centric Lighting zu realisieren: also Licht für das Wohlbefinden des Menschen. Für die Bereiche Office, Care, für Bildungseinrichtungen oder in der Industrie, als Pendel-, Deckeneinbauleuchte oder als Lichtband – in jedem Fall garantieren die tunable white Leuchten biologisch wirksame Lichtlösungen und sorgen so für optimale Lichtverhältnisse.

Durch smarte Steuerung (DALI device type 8) lässt sich bei den neuen Leuchten stufenlos sowohl die Farbtemperatur als auch die Lichtintensität ändern – und ihr Licht gemäß dem natürlichen Tageslichtverlauf anpassen. Dadurch kann Tageslicht in Innenräumen simuliert und das Wohlbefinden gesteigert werden. Dynamisches Licht unterstützt den menschlichen Biorhythmus, fördert so die Motivation und kann sogar bei Schlafstörungen oder Kopfschmerzen helfen.

Die neuen LED-Leuchten für Human Centric Lighting von Regiolux eignen sich für verschiedenste Anwendungen: Die Pendelleuchten alvia und visula und die Deckeneinbauleuchte planara für Office, Care und Bildungseinrichtungen, außerdem das SDT-Schnellmontagesystem für den Einsatz im Industriebereich.

Kontakt:
Regiolux GmbH
Hellinger Straße 3
97486 Königsberg
Tel. 09525/89-222
Fax. 09525/89-223
E-Mail: energieoptimierung@regiolux.de
www.regiolux.de

1. Grundlagen

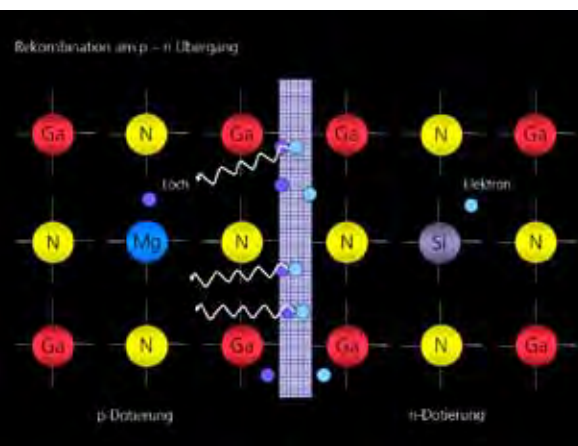
1.1 Historie



Außenbeleuchtung mit LEDs: Durch präzise Anstrahlung werden die wesentlichen Elemente betont

(Foto: DIAL)

1.2 Funktionsweise



Photonenabstrahlung am p-n-Übergang (Quelle: DIAL)

Bereits im Jahre 1907 entdeckte der Engländer Henry Joseph Round, dass anorganische Stoffe unter Anlegen einer elektrischen Spannung leuchten können. Bis zum ersten industriellen Einsatz einer roten Leuchtdiode dauerte es jedoch noch bis zum Jahre 1962. In den 1970er-Jahren gibt es bereits zahlreiche Einsatzbereiche für LEDs, z. B. für Ziffernanzeigen in Taschenrechnern und Uhren. Allerdings beschränkten sich die Portfolios der LED-Hersteller auf die Farben Rot, Grün, Orange und Gelb.

Blaue LED gesucht

Erstaunlicherweise erschien es 30 Jahre lang unmöglich, eine blau leuchtende LED herzustellen. Ohne Blau ist jedoch kein weißes Licht möglich. Dieser Mangel wurde umso schwerwiegender, nachdem die LEDs in den 1980er und insbesondere in den frühen 1990er-Jahren immer leistungsfähiger, das heißt heller und effizienter wurden. Die LEDs zeigten, dass sie für mehr taugen, als ihr Dasein als Kontroll-Lämpchen zu fristen. 1993 gelang es dann dem japanischen Physiker Shuji Nakamura die erste sehr hellstrahlende blaue LED zu realisieren, einige Jahre später erschien die erste weiße LED auf dem Markt. Im Jahre 2014 erhielt Nakamura neben Isamu Akasaki und Hiroshi Amano den Nobelpreis dafür.

Was soll man damit machen?

Die ersten 10 Jahre nach Markteinführung der weißen LEDs waren geprägt von großer Skepsis gegenüber den schwachen, bläulichigen und teuren Lichtquellen. So kamen weiße LEDs nur in Spezialanwendungen wie Rettungszeichenleuchten, Möbeleinbauleuchten oder Orientierungsleuchten zum Einsatz. Doch aufgrund der kleinen Baugröße, den variablen Bauformen und den gesättigten Farben fand die LED in sehr vielen speziellen Bereichen der Architektur sinnvolle Anwendungen.

Viele kleine Sprünge

Der Ehrgeiz der Entwickler war geweckt und so brachte die Industrie in sehr kurzen Abständen immer bessere LEDs auf den Markt. Von 2008 bis 2015 stieg die Lichtausbeute von auf dem Markt befindlichen LEDs von 1-20 lm/W auf 80-160 lm/W. Zu den sehr bläulich leuchtenden effizienten LEDs kamen immer bessere warmweiße LEDs hinzu. Diese Entwicklung spiegelt sich auch im steigenden Anteil der LEDs in der privaten und kommerziellen Architekturbeleuchtung wieder. Heute findet man die LED in jeder Art von Leuchte: Downlights, Strahler, Stehleuchten, Langfeldleuchten oder Lichtbandsysteme...etc. Nun haben die LED-Leuchten jeden Bereich in Innen- oder Außenräumen erobert.

1.2.1 Aufbau einer LED

Bei einer Leuchtdiode, Abkürzung LED für „Light Emitting Diode“, kommen im Gegensatz zu Temperaturstrahlern (Glühlampe) und Gasentladungslampen (z. B. Leuchtstofflampe), Halbleiterkristalle zur Lichterzeugung zum Einsatz. Man spricht in dem Zusammenhang auch von einer Elektrolumineszenz, da ein Feststoff durch das Anlegen einer elektrischen Spannung zum Leuchten angeregt wird.

Um dies zu ermöglichen, werden Halbleiterkristalle wie Galliumnitrid (GaN) oder Indiumphosphid (InP) leitfähiger gemacht, indem sie mit verschiedenen Stoffen „verunreinigt“ oder „dotiert“ werden. So wird eine Schicht des Kristallgitters durch Einlagerung eines Fremdstoffs mit einem Elektronenüberschuss versehen (n-Dotierung) und die andere mit einem Elektronendefizit ausgestattet (p-Dotierung). Die Elektronendefizite bezeichnet man auch als „Löcher“. Eine LED besitzt immer eine Kathode und eine Anode. Legt man nun eine Spannung korrekt gepolt an, bewegen sich Löcher und Elektronen aufeinander zu und es kommt zu einer Rekombination im Übergang der beiden Halbleiterschichten. Diese Übergangsschicht wird auch Sperrschicht (im Englischen: junction) oder p-n-Übergang genannt.

Bei der Rekombination wird unmittelbar elektromagnetische Strahlung in Form von sichtbarem Licht frei. Da aber nicht alle Elektron-Lochpaare am p-n-Übergang rekombinieren, entsteht auch Wärme. Diese wiederum erhöht die Eigenleitung der p- und n-Schicht und verstärkt den Effekt der ungewollten Rekombination jenseits der p-n-Schicht. Diese Wärme muss durch Wärmeleitung abgeführt werden (Thermomanagement). Im Spektrum ist jedoch keine Wärmestrahlung (= Infrarot) enthalten. Je nach Halbleitermaterial erzeugt eine LED immer monochromatisches (einfarbiges) Licht. Typische Lichtfarben sind (je nach verwendetem Halbleitermaterial): Rot, Orange, Gelb, Grün oder Blau. Kein Halbleiter kann auf direktem Weg weißes Licht erzeugen.

RGB ergibt Weiß

Nun liegt die Annahme nahe, dass man weißes Licht erzeugen kann, indem man drei LEDs verwendet, von denen eine rotes, eine weitere grünes und eine dritte blaues Licht emittiert. Grundsätzlich ist dies richtig und auch technisch möglich, allerdings ist das Spektrum einer LED immer schmalbandig, so dass bei der additiven Mischung der drei Grundfarben viele Wellenlängen im Spektrum unterrepräsentiert wären. Die Folge ist ein weißes Licht, welches einen Farbstich und eine unzureichende Farbwiedergabequalität besitzt. Darüber hinaus muss hier oft mit einem Diffusor oder anderen optischen Hilfsmitteln gearbeitet werden, um ungewünschte farbige Schatten zu vermeiden. Ferner stellt auch die Farbstabilität über die Lebensdauer und die Farbstabilität unter dem Einfluss von deutlichen Schwankungen der Umgebungstemperatur ein Problem dar.

Blau alleine ergibt auch Weiß

Aus diesen Gründen verwendet man zur Erzeugung weißen Lichts ganz überwiegend ein alt bewährtes Prinzip, welches auch bei der Leuchtstofflampe zur Anwendung kommt – das Prinzip der Lumineszenzkonversion: Energiereiches, kurzwelliges Licht einer blauen LED (in der Regel mit einer Peakwellenlänge von 450-460nm) wird durch Verwendung eines Leuchtstoffes in andere Wellenlängen „konvertiert“. Je nach Zusammensetzung und Schichtstärke des Leuchtstoffes lässt sich weißes Licht mit unterschiedlichen Farbtemperaturen erzeugen. Als Leuchtstoff werden im Halbleiterbereich Phosphorverbindungen verwendet. Die Leuchtstoffe werden in dünnen Schichten auf die blauen LEDs aufgebracht. Diese zeigen im nicht leuchtenden Zustand meist eine gelbe Farbigekeit. Die Bezeichnung „Kompaktleuchtstofflampe“ würde daher ganz hervorragend zu einer Konversions-LED passen.

Kombinieren erlaubt

Um mit einer Leuchte, die der farbigen Effektbeleuchtung dient, auch qualitativ hochwertiges, weißes Licht erzeugen zu können, verwenden viele Hersteller daher zusätzlich weiße LEDs. Dabei handelt es sich dann um so genannte „RGBW-Leuchten“. Es gibt allerdings auch Produkte, die über zusätzliche weiße und amberfarbene LEDs verfügen. Dies ermöglicht, auch warmweiße Lichtfarben zu mischen (RGBWA-Leuchten).

+ Klein

Die sehr geringen Baugrößen von LEDs ermöglichen Einsatzorte im Bereich der Beleuchtung, die vorher undenkbar waren. Dies ist gerade bei dekorativen Anwendungen ein Vorteil. LEDs lassen sich sehr einfach in Möbeln, Nischen, Armaturen, Handläufen usw. einbauen. Sie können sich – auf flexiblen Bändern angeordnet – der Architektur nach Belieben anpassen.

+ Keine UV-Strahlung

Im Licht einer weißen LED sind keine ultravioletten Anteile enthalten. Gerade bei der Beleuchtung von sensiblen Exponaten im Museum kann die LED daher gut eingesetzt werden. UV-Sperrfilter, wie sie etwa bei Halogenmetallampfen eingesetzt werden müssen, sind hier nicht notwendig. Darüber hinaus enthält das Licht einer LED keine Infrarot-Anteile. So kommt sie beispielsweise auch zum Einsatz bei der Beleuchtung von Lebensmitteln, wo die Wärmestrahlung einer Glühlampe zum Verderben der Ware führen könnte.

+ Schaltfest

Ein weiterer Vorteil von LEDs ist die hohe Schaltfestigkeit. Häufiges Ein- und Ausschalten verkürzt nicht die Lebensdauer. Dieser Vorteil kommt nicht zuletzt auch der Display- und der Signaltechnik (Verkehrssignalanlagen) zu Gute. Aber auch im Architekturbereich kann man ohne Probleme LED-Leuchten überall dort einsetzen, wo Bewegungs- bzw. Präsenzmelder zur Anwendung kommen oder man eine Beleuchtung mit hoher Schaltfrequenz einsetzen muss (z. B. Treppenhausbeleuchtung mit Zeitschaltung, Toilettenräume, etc.).

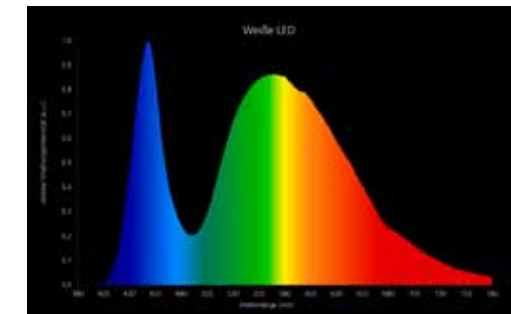
+ Sofort 100% Licht

LEDs liefern direkt nach dem Einschalten den vollen Lichtstrom und haben keine „Anlaufphasen“, wie man dies beispielsweise von Hochdruckentladungslampen oder auch Leuchtstofflampen kennt. Sie sind heißwiederzündfähig. Dies bedeutet, dass sie nach dem Abschalten und Wiedereinschalten nicht erst mehrere Minuten abkühlen müssen, um erneut betrieben werden zu können.

1.2.2 Weiße LEDs



Um weißes Licht zu erzeugen, werden drei LEDs verwendet, ohne Diffusor ergeben sich farbige Schatten (Foto: DIAL)



Spektrum: Weiße LED mit blauem Chip (Quelle: DIAL)

1.2.3 Vorteile einer LED

+ Für Kälte geeignet

Die Tatsache, dass der Lichtentstehungsprozess durch Wärme negativ beeinflusst wird, beschert der LED andererseits die Eigenschaft „kälteliebend“ zu sein. Das macht sie zum prädestinierten Leuchtmittel für alle kühlen Umgebungen, wo sie dann einen besonders hohen Lichtstrom liefert. Besonders naheliegend sind daher alle Anwendungen in Straßen- und Außenleuchten, der Einsatz in Kühlhäusern, Kühlregalen, aber auch in Aufenthaltsräumen, die durchgehend klimatisiert werden.

+ Vibrationsfest

Im Automotive-Bereich sowie an Bord von Zügen, Flugzeugen und Schiffen kommt neben dem geringen Bauraum und dem geringen Gewicht, ein weiterer Vorteil der LED zum Tragen: die Vibrationsfestigkeit. Im Gegensatz zur Glühlampe, bei der die Wolframwendel bei mechanischer Beanspruchung reißen kann, wird die Lebensdauer einer LED durch Erschütterungen nicht beeinflusst. In Ausnahmefällen können hier höchstens – wie bei jedem elektrischen Bauteil – die Kontakte und Lötstellen auf der Platine in Mitleidenschaft gezogen werden.

+ Lichtlenkung

Außerdem ermöglicht die LED eine sehr präzise Lichtverteilung, da der Leuchtenhersteller die einzelnen Module gezielt in seiner Leuchte ausrichten und mit unterschiedlichen Linsen zur Lichtlenkung versehen kann. Dieser Vorteil sticht besonders in der Straßenbeleuchtung heraus.

+ Licht immer einfarbig

Das emittierte Licht eines LED-Kristalls ist grundsätzlich immer monochromatisch. LEDs sind daher prädestiniert zur Erzeugung von gesättigtem, farbigem Licht. Um weißes Licht zu erzeugen, bedient man sich überwiegend des Prinzips der Lumineszenzkonversion. Da bei dieser Form der Strahlungsumwandlung Verluste entstehen, hat sie einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der LED. Weiß konvertierte LEDs mit einer hohen Farbtemperatur (also kühlem Licht) sind deshalb auch effizienter als LEDs mit einer niedrigen Farbtemperatur (also warmem Licht), da das weiße Licht letztendlich von einer blauen LED stammt und kaltweißes Licht mehr Blauanteile besitzt als warmweißes.

So lieferten die ersten weißen LEDs auch bläulich-weißes Licht, welches beim Anwender im Bereich der Allgemeinbeleuchtung eher auf Ablehnung stieß. Für alle Bereiche (nicht zuletzt auch für den Wohnbereich) sind heute aber auch Produkte mit warmweißen LEDs (2 700 K - 3 000 K) erhältlich – wenngleich diese auch nicht ganz so effizient sind wie ihre neutral- oder kaltweißen Pendants.

+ Nur eine Lichtrichtung

Ein Halbleiterchip kann sein Licht konstruktionsbedingt nur halbräumlich und auch nur sehr breit („Lambertverteilung“) abstrahlen. Werden andere Abstrahlcharakteristiken benötigt, etwa für einen eng bündelnden Strahler oder eine direkt-indirekt-strahlende Pendelleuchte, müssen entweder entsprechende optische Elemente wie Linsen oder Reflektoren oder aber mehrere LEDs für verschiedene Abstrahlrichtungen eingesetzt werden. Der Einsatz von lichtlenkenden Bauteilen, wie Linsen oder Reflektoren, bringt natürlich auch geringfügige Verluste mit sich.

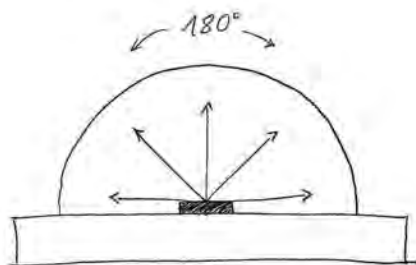
Wenn auch im Emissionsspektrum einer LED so gut wie keine Infrarot-Anteile enthalten sind, so können LEDs im Betrieb dennoch sehr heiß werden, insbesondere LEDs mit einer hohen Leistungsdichte. Das Sicherstellen der optimalen Betriebstemperatur, das sogenannte Thermomanagement, stellt deshalb eine der größten Herausforderungen an die Hersteller von LED-Leuchten dar. Oft wird im Zusammenhang mit dem Thermomanagement auch von der so genannten Junction-Temperatur gesprochen, die einen bestimmten Wert nicht überschreiten sollte. Damit ist die Temperatur gemeint, die an der Stelle im Innern des LED-Chips herrscht, wo positive mit negativen Ladungsträgern rekombinieren, also am p-n-Übergang. In der Praxis ist es jedoch nicht möglich, an dieser Stelle eine Temperatur zu messen. Daher werden entsprechend Referenzpunkte, meist auf dem Kühlkörper oder Gehäuse der LED, angegeben. Je wärmer eine LED wird, desto stärker sinkt der Lichtstrom. Wird eine bestimmte Temperatur überschritten, so hat dies zur Folge, dass der Halbleiter durch thermische Prozesse irreversibel geschädigt oder gar zerstört wird. Das Absinken des Lichtstroms über die Zeit, z. B. aufgrund

einer zu hohen Junction-Temperatur, bezeichnet man auch als Degradation. Seitens der Hersteller gibt es verschiedene Strategien, die Junction-Temperatur in den Griff zu bekommen. Grundsätzlich gibt es hier zwei verschiedene Möglichkeiten: die aktive und die passive Kühlung.

Um die Wärme möglichst gut von der LED ableiten zu können, sind Kühlkörper mit einer großen Oberfläche erforderlich. Bei einigen Leuchten reicht der Konvektionsstrom aus, um die LEDs so weit zu kühlen, dass keine Überhitzung des Halbleiterkristalls stattfindet. Die Notwendigkeit eines großen Kühlkörpers kann aber dazu führen, dass gerade bei hohen elektrischen Leistungen aus dem eigentlich sehr kompakten Halbleiter eine Leuchte sehr großer Bauform wird. Ist der Kühlkörper baulich von dem Halbleiter getrennt, so ist oft auch von einer so genannten „Heatpipe“ die Rede. Dabei wird die entstehende Wärme von einem Arbeitsmedium aufgenommen, welches sie zum Kühlkörper (Radiator) transportiert. Das Arbeitsmedium kann entweder Wasser sein, welches in einem Kupferrohr geführt wird; oder es werden Flüssigmetall-Legierungen verwendet, welche im Wärmerohr verdampfen, zum Kühlkörper strömen, wo sie abkühlen, kondensieren und wieder zurück zur Wärmequelle fließen. Dieser Kreislauf ist geräuschlos und in der Regel wartungsfrei. Zusätzliche Pumpen, welche das Medium transportieren, sind hier nicht erforderlich. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass der Kühlkörper von der Leuchte – bis zu einem gewissen Maß – räumlich getrennt werden kann. Dies ermöglicht eine schlankere Bauform der Leuchte selbst. Vorteilhaft für ein gutes Thermomanagement ist auch die Anordnung vieler LEDs auf einer möglichst großen Fläche, um die Wärme effizient abführen zu können. Insbesondere bei Straßen- und Außenleuchten wird oft das komplette Gehäuse als Kühlkörper genutzt.

Von einer aktiven Kühlung spricht man, wenn eine aktive Komponente wie ein Lüfter oder eine Pumpe eingesetzt wird, um den LED-Chip zu kühlen. Die dafür nötige Technik kann auch unsichtbar in die Lampe bzw. Leuchte integriert sein. Die aktive Kühlung benötigt ihrerseits Energie, wenngleich meist nur eine sehr geringe Menge. Bei vielen aktiv gekühlten LED-Leuchten wird die Kühlung mittels einer mechanisch erzeugten Luftzirkulation durchgeführt. Häufig wird dies durch einen Ventilator oder Lüfter realisiert, wie man ihn auch vom Einsatz in Rechnern kennt. Ein anderes Verfahren arbeitet mit einem Membranlüfter. Dabei wird eine Luftzirkulation durch die schnelle Vibration einer Membran erzeugt. Einige Hersteller werben damit, dass dieses Verfahren besonders langlebig und besonders leise sei. Bei der aktiven Kühlung mittels Umgebungsluft ist allerdings zu bedenken, dass sich natürlich auch der Staub aus der Raum- oder Außenluft auf den Kühlrippen absetzen kann, was somit über die Zeit zu einer schlechteren Abgabe der Wärme an die Umgebung führt. Weniger weit verbreitet sind Leuchten mit aktiver Kühlung, bei denen mit Hilfe eines Kühlmittels die Temperatur geregelt wird. Teilweise werden diese Produkte in der Beleuchtung von Aquarien eingesetzt, um mit der abgeführten Wärme gleichzeitig das Wasser zu beheizen. In der Gewächshausbeleuchtung gibt es auch Produkte, die über einen Wärmetauscher die Energie aus dem Kühlmedium zur Beheizung des Gebäudes einsetzen. Bei der aktiven Kühlung sollte jedoch immer berücksichtigt werden, dass es zu einer Geräuschkulisse kommen kann. Dabei können Lüfter oder Pumpen des Kühlmittels durchaus akustisch wahrnehmbar sein – je nach Umgebungslautstärke, in der die LED-Leuchte zur Anwendung kommt. Hier sollte nicht nur die Geräuschkulisse im Neuzustand beurteilt werden, sondern auch die verschleißbedingte Schallerzeugung nach einigen tausend Betriebsstunden. Einige Ventilatoren sind daher magnetisch gelagert, um ein vorzeitiges Versagen des Lagers aus dem Weg zu gehen und die damit verbundenen Geräusche zu minimieren. Dennoch sollte die Lebensdauer des Produktes bei einer Aktivkühlung immer kritisch hinterfragt werden. Möglicherweise hat die LED eine Lebensdauer von 50 000 h und mehr. Wenn allerdings vorher ein anderes elektronisches Bauteil ausfällt, welches für die Kühlung verantwortlich ist, kann dies schnell zum – möglicherweise irreversiblen – Totalausfall führen. In den letzten Jahren hat der Anteil der aktiv gekühlten LED-Leuchten am Markt jedoch abgenommen. Dadurch, dass LEDs effizienter geworden sind, kann man mittlerweile den gleichen Lichtstrom mit einer geringeren Leistung erzeugen. Demzufolge kommen immer mehr Leuchten mit einer passiven Kühlung aus. Außerdem haben viele Hersteller erkannt, dass die Verwendung von Komponenten zur aktiven Kühlung ein Risiko des Ausfalls darstellt. Bei LEDs mit geringen Leistungsdichten (d. h. wenigen W/cm²) ist weder eine passive noch aktive Kühlung erforderlich. Dies betrifft insbesondere dekorative Anwendungen, wie auch LED-Stripes, die häufig zur Hinterleuchtung eingesetzt werden.

1.2.4 Nachteile einer LED

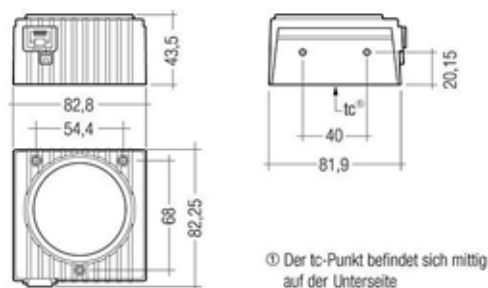


Skizze einer LED mit halbräumlicher Abstrahlung (Skizze: DIAL)



Verwendung von Linsen, um eine räumliche Lichtverteilung zu erreichen (Quelle: Philips)

1.2.5 Thermomanagement



Angabe TC-Punkt am TALEXX-Modul (Quelle: Tridonic)

1.2.6 Passive Kühlung



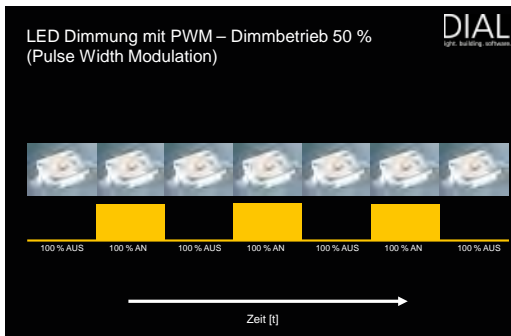
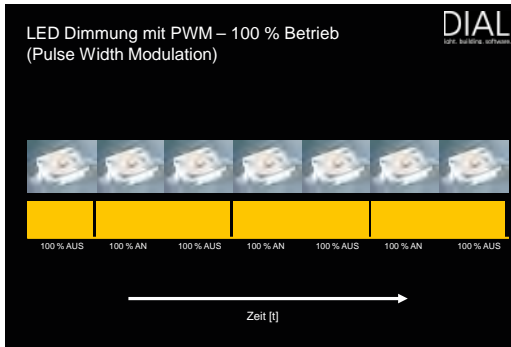
Hallentiefstrahler mit Kühlkörper (Quelle: Trilux)

1.2.7 Aktive Kühlung

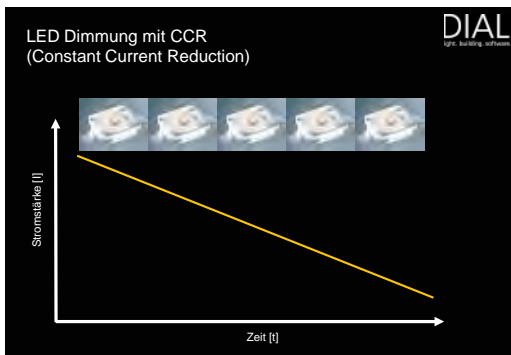


Leuchte von Spittler mit aktiver Kühlung (Foto: DIAL)

1.2.8 Dimmung



LED-Dimmung mit PWM – bei 100 % Betrieb und bei 50 % Reduktion: Auch bei 100 % Betrieb wird die LED ganz kurz ausgeschaltet (Quelle: DIAL)



LED-Dimmung mit CRR (Quelle: DIAL)

Gründe zur Regelung der Helligkeit von Licht gibt es viele. Beim Einsatz von Licht in Arbeitsstätten geht es dabei fast immer darum, Energie zu sparen. Im Wohnbereich hingegen möchte man durch die Reduzierung der Beleuchtungsstärke eine gemütliche Atmosphäre erzeugen. Die LED als elektronisches Bauteil lässt sich grundsätzlich nicht nur hervorragend schalten, sondern auch perfekt dimmen. Jedoch gibt es etliche Besonderheiten zu beachten, um eine Helligkeitsveränderung von LEDs störungsfrei durchzuführen.

Dimm-Performance statt Dimmbarkeit

Der Begriff „Dimmbarkeit“ sagt über ein Produkt leider recht wenig aus. Er beschreibt nur die Möglichkeit an sich. Entscheidend ist aber die Qualität der Dimmung. Denn im Vergleich zwischen Temperaturstrahlern und der LED zeigen sich gewaltige Unterschiede. LEDs und gerade LED-Retrofits verhalten sich anders und benötigen andere Techniken zur Dimmung. Für die Auswahl von Produkten muss sich der Planer/Anwender neue Fragen stellen: Wie weit lässt sich die Lichtquelle dimmen? Vollzieht sich der Dimmvorgang visuell gleichmäßig und sanft? Gibt es bei manchen Dimmstufen Flacker-, Flimmer- oder sogar Taktungserscheinungen?

LEDs nicht primärseitig dimmen

LEDs werden meist an speziell dafür entwickelten Betriebsgeräten betrieben, oft mit „Treiber“ oder „Trafo“ bezeichnet. Die elektrische Eingangsseite, die mit dem Stromnetz verbunden ist, wird dabei Primär-, die Ausgangsseite, die mit dem LED-Modul verbunden ist, Sekundärseite genannt. Das Dimmen der LEDs muss auf der Sekundärseite oder innerhalb des Betriebsgerätes erfolgen. Dimmer, die auf der Primärseite zum Einsatz kommen, also alle klassischen Phasenan- oder -abschnittsdimmer, sind einem grundsätzlichen Problem unterworfen: Sie reduzieren den Strom/die Spannung für das Betriebsgerät und führen zu einem anomalen Betrieb des Treibers, was sich im Flimmern oder Takten des Lichtes zeigen kann. Bei einer gewünschten starken Dimmung, also unterhalb 10 % der Leistung, führt dies in aller Regel zum abrupten Ausschalten der Lichtquelle. Vergleichbar ist das primärseitige Dimmen mit einem Verbrennungsmotor, bei dem man nicht mittels Motorsteuergerät die Drehzahl bzw. die Leistung beeinflusst, sondern mittels eines Regulierventils in der Kraftstoffleitung. Um LEDs primärseitig so zu dimmen, dass es zu einer akzeptablen Dimmperformance führt, muss der Phasenan- oder -abschnitt vom Dimmer im Betriebsgerät in eine PWM oder CCR „übersetzt“ werden. Dies ist sehr aufwändig und teuer.

PWM oder CCR

Diese beiden Abkürzungen stehen für Verfahren, mit denen das Dimmen von LEDs möglich ist. Bei einer Pulsweitenmodulation (PWM) wechselt die LED ständig zwischen den beiden Zuständen „ein“ und „aus“, weshalb sie auch als „digitales Dimmen“ bezeichnet wird. Die Frequenz, mit der dieser Wechsel vorgenommen wird, muss oberhalb der Flimmerverschmelzungsfrequenz des menschlichen Auges liegen, damit wir diesen Wechsel nicht bemerken. Andernfalls wird das als Stroboskopeffekt oder Flimmern wahrgenommen, insbesondere im peripheren Bereich der Netzhaut. Um dies zu vermeiden, liegt die Betriebsfrequenz einer PWM typischerweise oberhalb von 100 Hz. Die meisten LED-Leuchten werden mit einer Frequenz von 200-400 Hz betrieben. Mit einem korrekt ausgelegten PWM-Dimmer ist das flimmerfreie Dimmen von 100%-0% möglich. Die PWM erlaubt den Betrieb der LEDs mit einem konstanten Strom, bzw. konstanter Spannung, weshalb die Pulsweitenmodulation grundsätzlich eine große Rolle beim Betrieb von LEDs spielt. Sie wird nicht nur zum Dimmen, sondern auch zum regulären Betrieb nicht dimmbarer Applikationen genutzt. In diesem Fall kommt sie – ohne Wissen des Anwenders – über eine eingebaute Regelung zum Einsatz, um zu vermeiden, dass das LED-Modul im Betrieb zu heiß wird. Die Constant Current Reduction (CCR), also die Reduzierung des Stromes ist ebenfalls ein gängiges Verfahren zur Dimmung von LEDs. Hierbei wird der Betriebsstrom der LEDs vom Nominalstrom auf den gewünschten Wert abgesenkt, die Spannung stellt sich von selbst ein und dient nicht als Führungsgröße. Da der LED-Lichtstrom kontinuierlich der Stromvorgabe folgt, wird das Verfahren auch als „analoges Dimmen“ bezeichnet. Im Gegensatz zur PWM besteht keinerlei Gefahr, dass irgendwelche unerwünschten Flimmereffekte auftreten. Auch ist der gesamte Aufbau einer CCR einfacher, störunanfälliger und sicherer hinsichtlich elektromagnetischer Verträglichkeit. Heute arbeiten auch einige Leuchten mit einer Kombination aus PWM und CCR. Im oberen Dimmbereich (häufig bis zu einem Dimmwert von ca. 10 %) wird mittels CCR gedimmt, darunter per PWM.

Dimmung von Retrofit-LEDs

Lange Zeit waren LED-Retrofits nicht dimmbar – heute ist ein Großteil auf die Dimmung per Phasenan- oder -abschnitt ausgelegt und daher an den meisten konventionellen Dimmern betreibbar. Diese Lampen sind explizit mit dem Aufdruck „dimmable“ oder „dimmbar“ gekennzeichnet. Dabei versucht die im Retrofit eingebaute Elektronik letztlich das Phasenan- oder -abschnitt Signal sekundärseitig in ein PWM und/ oder CCR zu übersetzen.

Grundlagen Dimmung über Phasenan- und -abschnitt

Bei der Dimmung wird mit Hilfe einer Triac- oder Thyristor-Schaltung ein variabler Teil der steigenden oder fallenden Sinuskurve der Netzspannung abgeschnitten und somit die an das Leuchtmittel abgegebene Wirkleistung reduziert. Der Lichtstrom verringert sich, je mehr von der Sinuswelle abgeschnitten wird. Wird die Sinuswelle am Anfang angeschnitten, wird das Ganze als Phasenanschnitt bezeichnet. Wird hingegen das Ende abgeschnitten wird es als Phasenabschnitt bezeichnet.

Das Dimmverfahren funktioniert bei konventionellen Leuchtmitteln hervorragend – je nach angeschlossener Leuchtmitteltyp muss der Dimmer auf Phasenan- oder -abschnitt eingestellt werden. Leuchtstofflampen und Energiesparlampen können funktionsbedingt z. B. nur per Phasenabschnitt gedimmt werden.

Vor- und Nachteile beim Dimmen von LED-Retrofits

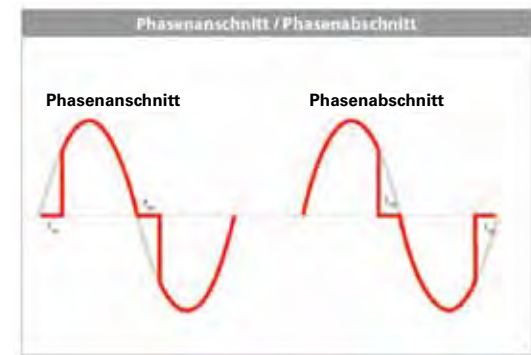
Im Gegensatz zu konventionellen Leuchtmitteln können bei vielen LED-Retrofits sowohl Phasenan- und -abschnittsdimmung verwendet werden. Dem Anwender soll die Möglichkeit geboten werden, LED-Lampen weiterhin mit bereits vorhandenen Dimmern betreiben zu können.

Beide Verfahren bringen jedoch einige Vor- und Nachteile mit sich: Bei der Phasenabschnittsdimmung kann ein effizienteres Dimmen mit weniger oder sogar keiner Geräuschentwicklung erreicht werden. Dies geht allerdings zu Lasten der „Dimmrange“. Beim Dimmen einer normalen 60W Glühlampe ist eine gleichmäßige Reduzierung des Lichtstroms zwischen 100 % und 0 % möglich. LED-Lampen hingegen zeigen oft eine un stetige Lichtveränderung. Viele LED-Retrofits lassen sich nur bis ca. 10 % des maximalen Lichtstroms dimmen. Hier muss man die Frage nach der Sinnhaftigkeit stellen: Die Empfindlichkeit unseres Auges in Bezug auf Helligkeitsunterschiede ist nicht linear, sondern folgt – stark vereinfacht – einem dekadischen Logarithmus. Das heißt eine Verringerung des Lichtstroms um den Faktor 10 (also dimmen von 100 % auf 10 %) entspricht in etwa gerade einmal einer empfundenen Helligkeitsreduktion auf die Hälfte. Dies ist für die Anwendung im Wohnbereich unzureichend.

Zusätzlich ist beim Phasenabschnitt eine höhere Grundlast am Dimmer-Ausgang nötig, damit dieser ordnungsgemäß funktionieren kann. Doch dieses Problem kann generell bei der Verwendung von konventionellen Dimmern in Verbindung mit LED-Retrofits auftreten. Pro Dimmerkanal wird oft eine Mindestlast von mehreren Watt (zum Beispiel 30-50 W) benötigt. Ist nicht genügend Grundlast vorhanden, lassen sich viele LED-Lampen nicht einschalten oder zeigen ein undefiniertes Verhalten mit Flackern und Ein- oder Ausschaltverzögerung. Bei der Phasenanschnittsdimmung erhält der Nutzer eine größere „Dimmrange“ und somit auch meist ein besseres Dimmverhalten. Außerdem können an einem Dimmerkanal höhere Gesamtlasten angeschlossen werden. Allerdings entstehen bei dieser Betriebsart, durch das Anschneiden der Sinuswelle, hohe Stromspitzen. Diese können zu einer stärkeren Erwärmung des Dimmers in der Wand beitragen, welche dazu führt, dass oftmals wesentlich geringere Maximallasten, als vom Hersteller für konventionelle Leuchtmittel angegeben, angeschlossen werden sollten. DIAL Messungen haben gezeigt, dass als Faustformel hier der Faktor 1/5 herangezogen werden kann: Kann der Dimmer laut Hersteller mit einer konventionellen Last von 500 W betrieben werden, so sollte hier sinnvollerweise eine Maximallast von 100W an LED-Retrofit-Lampen verwendet werden, um das Risiko einer zu starken Überhitzung zu vermeiden. Außerdem verursachen die Stromspitzen häufig störende, hochfrequente Surrgeräusche in den Leuchtmitteln. Die Geräusche fallen je nach Wahl der Dimmer-Leuchtmittel-Kombination verschieden stark aus, sind aber häufig für den Anwender deutlich wahrnehmbar bis nicht zu tolerieren. Neben der Mindestlast muss also ebenso die Maximallast beachtet werden. Doch selbst wenn diese beiden Werte passend gewählt werden, lassen sich bei verschiedenen Kombinationen aus LED-Retrofit und Dimmer unerwünschte Effekte feststellen. Viele Retrofits schalten stark verzögert ein oder glimmen sehr lange nach – bis hin zu dem Effekt, dass sie gar nicht mehr ausschalten und dauerhaft nachleuchten.



Kennzeichnung einer dimmbaren Retrofit – LED (Quelle: DIAL)



Phasenan- und abschnitt (Grafik: DIAL)

Messungen im DIAL Labor haben gezeigt, dass die Triac-Dimmung an LED-Retrofit zu einer Verringerung der Lichtausbeute im gedimmten Zustand führt. Die gemessene Lichtausbeute kann am unteren Dimm-Ende um mehr als 60 % gegenüber dem ungedimmten Zustand zurückgehen. Um als Planer oder Anwender einen ersten Eindruck zu bekommen, welche Dimmer-Retrofit-Kombination miteinander funktioniert, hilft häufig ein Blick auf die Homepage der Retrofit-Hersteller. Viele Hersteller haben bereits Tests in Bezug auf die Dimmerkompatibilität ihrer Retrofit-Produkte durchgeführt.

Allerdings sollte man hier ganz genau beachten, was getestet wurde. Eine „Kompatibilität“ muss nicht bedeuten, dass das Leuchtmittel während des Dimmvorgangs nicht flackert oder frei von Geräuschen ist. Darüber hinaus ist in der Regel davon abzuraten, Retrofits als Ersatz für den Niedervolt-Halogen Bereich zu verwenden. Hier hat man mit einer weiteren elektronischen Unbekannten zu kämpfen, die Probleme verursachen kann: der bereits vorhandene Trafo.

Viele Hersteller haben die Probleme des LED-Dimmens bereits erkannt und versuchen speziell auf den Retrofit-Betrieb angepasste „LED-Dimmer“ auf den Markt zu bringen. Sie können mit Hilfe von angepassten Schaltungen Effekte wie Einschalt- und Ausschaltverzögerung reduzieren, als auch mit einer kleineren Mindestlast betrieben werden. Zusätzlich lassen sich viele aktuelle Retrofits nahezu flackerfrei und stufenlos dimmen, starke Surrgeräusche bestehen meist aber weiterhin. Viele Produkte bieten zusätzlich eine automatische Lasterkennung, wodurch der Dimmer nach einer Last-Messung die vermeintlich bessere Dimm-Methode einstellt oder eine Mischform aus Phasenan- und -abschnitt verwendet. Leider bringen diese Funktionen meist keinerlei nennenswerte Verbesserungen, sondern können nur positiv Einfluss nehmen, wenn die angeschlossenen Lasten dies zulassen. Letztlich bleibt in Bezug auf die Verwendung von LED-Retrofit nur der Rat, die gewünschte Kombination von Dimmer und Leuchtmittel vorher zu testen. Die Verwendung von herkömmlichen Triac-Dimmern, die nicht für den LED-Betrieb optimiert wurden, kann in den meisten Fällen nicht empfohlen werden. Für einen angemessenen Betrieb muss oftmals auch ein neuer Dimmer eingesetzt werden.

Lichtfarbe bleibt beim Dimmen konstant

Die gerade im Wohnbereich bis vor wenigen Jahren überwiegend eingesetzten Glühlampen (Hochvolt-/Niedervolt-Halogen-, Standardglühlampen) verändern beim Dimmen die Atmosphäre im Raum entscheidend. Denn neben der Veränderung der Helligkeit führt das Dimmen bei allen Temperaturstrahlern zu einer Änderung der Lichtfarbe. Und zwar in Richtung „warm“. Man kann – einen hochwertigen Dimmer vorausgesetzt – den kompletten Planckschen Kurvenzug abfahren, beginnend bei 3000K und endend bei 295K (bei Raumtemperatur). Eine unglaubliche Flexibilität, die mit minimalem Aufwand den Essbereich „mal eben“ in Kerzenlicht-Atmosphäre taucht, wenn man auf ca. 2000K dimmt.

Unabhängig von der technischen Machbarkeit des Dimmens, haben LEDs, genauso wie alle Entladungslampen, das Problem, dass sich die Lichtfarbe beim Dimmen nicht oder kaum ändert. Die Farbortveränderung entlang des Planckschen Kurvenzuges kann mittels spezieller LEDs natürlich auch nachgeahmt werden, allerdings sind dazu ein recht hoher Steuerungsaufwand und die Kombination unterschiedlicher LED-Lichtfarben vonnöten.

Solche Produkte findet man mit unterschiedlichen Bezeichnungen, wie z. B. „Dimtone“ (Philips), „Dim to Warm“ (Megaman), „Tunabel white“ (diverse Hersteller), usw.

Sind nur LEDs einer Lichtfarbe verbaut, dann bleibt diese Lichtfarbe bei allen Dimmzuständen mehr oder weniger konstant. Logisch, weil die Konversationschicht und das Emissionsspektrum der blauen LED ebenfalls konstant bleibt, lediglich die Strahlungsleistung ändert sich.

DALI, DMX & Co können nicht dimmen

Übertragungsprotokolle wie KNX, LON, DALI, DMX, etc. können nicht dimmen. Diese werden lediglich genutzt, um die Information von einem Sender oder Steuergerät („Zentrale“) an einen Empfänger („Aktor“) zu übertragen. Ein DMX-Dimmer wird in seinem Innern also ebenso mit einer PWM oder CCR arbeiten, wie alle anderen Dimmer auch.

Je nach Bauform des LED-Moduls unterscheidet man zwischen der sog. COB- (Chip-on-Board) und der SMD- (Surface Mounted Device) Technologie. Bei der Chip-on-Board Technologie werden die Halbleiterchips direkt (ohne Gehäuse) auf die Leiterplatte aufgebracht. Eine aufgeklebte Linse aus Epoxidharz dient der Lichtverteilung.



LEDs mit verschiedenen Farbtemperaturen sorgen für eine wärmere Lichtfarbe beim Dimmen (Quelle: DIAL)

Surface Mounted Device LEDs hingegen sind bereits verkapselt und mit einem „Gehäuse“ versehen. Sie können als industrielles Fertigprodukt direkt auf die Platine geklebt und kontaktiert werden. Dabei kann das Gehäuse neben der vorhandenen Linse die Lichtverteilung beeinflussen. Die SMD-Technologie wird mittlerweile am häufigsten zum Bau von LED-Leuchten verwendet.

Viele Leuchten arbeiten mit einer einzelnen LED als Lichtquelle. Alternativ kann die gewünschte Lichtverteilung auch durch den Einsatz vieler Einzel-LEDs erreicht werden. Im zuletzt genannten Fall ist es möglich, viele LEDs mit der gleichen Abstrahlcharakteristik nebeneinander anzuordnen oder aber LEDs mit unterschiedlicher Abstrahlcharakteristik und Ausrichtung zu kombinieren, um sich ganz gezielt die gewünschte Lichtverteilung „aufzubauen.“ Ein typischer Anwendungsfall hierfür ist die Straßenbeleuchtung.

Da alle Halbleiter auf eine Platine aufgebracht sind, kann die Abstrahlcharakteristik der einzelnen LED maximal halbräumlich (180°) erfolgen. Diese Abstrahlcharakteristik ist jedoch nicht immer für alle Anwendungen ideal. Oft soll das Licht enger gebündelt werden. Daher arbeiten Leuchtenhersteller mit verschiedenen Methoden, um die gewünschte Lichtverteilung zu erreichen. Viele LEDs verfügen bauseits schon über eine Linse (meist aus Epoxidharz), welche zum einen dem Schutz des Halbleiters dient, zum anderen aber auch lichtlenkende Funktionen haben kann. Bei solchen Linsen spricht man auch von einer „Primäroptik.“ Darüber hinaus ist es möglich, schon direkt einzelne LED-Module mit einer Lichtlenkung zu versehen. So produzieren LED-Hersteller die Module mit unterschiedlichen Linsen und Gehäuseformen. Die Kombination aus Linse und der Reflektorwirkung des Gehäuses sorgt dann für die gewünschte Lichtlenkung. Alternativ lassen sich LEDs, die bereits über eine Primäroptik verfügen, mit speziellen Linsen versehen. Diese nennt man auch Kollimatorlinsen oder Kollimatoren. In diesem Zusammenhang wird auch von einer „Sekundäroptik“ gesprochen. Die „Sekundäroptik“ kann aber anstatt einer Kollimatorlinse auch ein Reflektor sein.

Verwendet der Leuchtenhersteller noch eine dritte optische Ebene (wie eine Linse, Streuscheibe oder ein Reflektor), so wird diese als „Tertiäroptik“ bezeichnet.

Natürlich besteht bei LED-Leuchten auch die Möglichkeit, ausschließlich mit einem Reflektor zu arbeiten. Allerdings haben Leuchten, die ausschließlich mit einem Reflektor arbeiten, immer den Nachteil, dass auch große Anteile des erzeugten Lichtes nicht über den Reflektor gelenkt werden, weil sie axial nach vorne abgegeben werden. Fallen einzelne Bereiche der LED aus, so macht sich dies sofort in Form von dunkleren Bereichen auf der beleuchteten Fläche bemerkbar.

Je nach Güte und geometrischer Ausprägung des Reflektors kann es auch zu „Flecken“ in der Abbildung oder „Farbschlieren“ kommen. Farbschlieren können aber auch im Zusammenhang mit Optiken auftreten. Eine Linse wirkt wie ein Vergrößerungsglas und kann unter Umständen eine Abbildung des LED-Chips auf die Fläche projizieren. Je nach verwendetem Material und Winkel der Linse kann es auch zu Farbdrifts kommen. Häufig treten dabei Violett- und/oder Gelbfärbungen im Randbereich der Lichtabbildung auf.

Kann der Hersteller dies vermeiden, so spricht man auch von einem Produkt mit einer guten „Farbdurchmischung“ oder von einer guten „Farbhomogenität.“ Die Farbschlieren lassen sich derzeit allerdings nicht anhand des Datenblattes eines Herstellers ausfindig machen.



1.2.9 Lichtlenkung



links: COB LED (Foto: Bridgelux)

rechts: SMD LED (Foto: Osram)



Einzelne LED-Module können schon vom Hersteller mit Primäroptik versehen werden (Foto: Osram)

LED mit Primäroptik

(Foto: ERCO)



Linkes Bild: Strahler mit Einzel-LED und Reflektor
Rechtes Bild: Strahler mit vielen LEDs und Linsen (Fotos: Zumtobel)

Im Jahr 2015 ist eine neue Norm veröffentlicht worden, die sich auch mit der winkelabhängigen Farbortmessung von LEDs auseinandersetzt: DIN EN 13032-4: 2015-08, Licht und Beleuchtung – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten – Teil 4: LED-Lampen, -Module und -Leuchten.

In dieser Norm wird unter dem Punkt 7.1.4 „Winkelbezogene Farbgleichmäßigkeit“ ein Verfahren beschrieben, welches die Messung von Farborten unter bestimmten Winkeln einer LED ermöglicht. Der Mittelwert aller gemessenen Werte wird wiederum mit den Einzelwerten verglichen. Daraufhin wird die größte Abweichung in Bezug zum Mittelwert angegeben. Erstmals ist damit normativ ein Verfahren beschrieben, wie sich Farbdrifts von LEDs unter bestimmten Winkeln messtechnisch erfassen lassen. Aber selbst, wenn man ein Datenblatt mit einem Zahlenwert vorliegen hat, welcher die maximale Abweichung anhand von Farbkoordinaten darstellt, haben sicherlich die allermeisten Menschen nur eine vage Vorstellung davon, wie der gemessene Farbdrift visuell in Erscheinung tritt.

Umso wichtiger ist es, eine Leuchte, die man verwenden möchte, zu bemustern und vorher in Augenschein genommen zu haben. Der Planer sollte hier mindestens zwei bis drei gleiche Leuchten nebeneinander visuell beurteilen.

Idealerweise sollte man sich die Muster über verschiedene Wege (Hersteller, Großhändler, usw.) beschaffen, damit eine Vorselektion ausgeschlossen werden kann und so eine reale Lieferung simuliert wird.



Farbdrift einer LED Leuchte
 (Quelle: DIAL)

1.2.10 Austauschbarkeit von LED-Modulen



Module nach Zhaga spezifiziert, PrevaLED von Osram
 (Foto: Osram)

Die Weiterentwicklung der LED für den Einsatz in der Allgemeinbeleuchtung stellt die Leuchtenhersteller noch immer vor eine große Herausforderung. Denn im Gegensatz zu allen anderen bereits bekannten Leuchtmitteln, welche sich über Jahre am Markt etabliert haben, gibt es bei den LEDs unterschiedliche Baugrößen, Bauformen, elektrische Kontaktierungen und Betriebsgeräte. Hier kann jeder LED-Hersteller nach dem eigenen Konzept verfahren.

Hinzu kommt noch, dass sich der Leuchtenhersteller bei Hochleistungs-LEDs (wie sie in der Allgemeinbeleuchtung eingesetzt werden) auch noch Gedanken über das Thermomanagement machen muss. Soll mit aktiver oder passiver Kühlung gearbeitet werden? Wie erfolgt die Wärmeübertragung der LED auf den Kühlkörper? Wie muss das Leuchtengehäuse konstruiert sein, damit es nicht zum Hitzestau kommt?

Hat der Leuchtenhersteller diese Punkte für sich gelöst, bedeutet dies oftmals, dass er sich an genau ein Produkt eines bestimmten Halbleiter-Herstellers bindet, da er seine Leuchte auf genau diesen LED-Typen ausgelegt hat. Ferner macht die Restriktion den späteren Austausch einer LED gegen die LED eines anderen Herstellers so gut wie unmöglich.

Aus diesem Grunde haben sich im Februar 2010 verschiedene Hersteller zu einem Konsortium namens „ZHAGA“ (www.zhagastandard.org) zusammengeschlossen. Derzeit (Stand 2016) zählt ZHAGA insgesamt 117 Mitgliedsunternehmen. ZHAGA-Mitglieder sind Leuchten- und Lampenhersteller, sowie Zulieferer der Leuchtenbranche.

Ziel von Zhaga ist es, eine einheitliche elektrische, mechanische und thermische Kontaktierung für unterschiedliche LED-Module zu definieren. Dabei geht es aber nicht um eine festgelegte Definition zur Lichtqualität, Lichtverteilung oder Lebensdauer einer LED. Die Zhaga-Spezifikationen bestehen derzeit (Stand 2016) aus 18 verschiedenen „Büchern“. Während sich das erste Buch mit einer Übersicht und allgemeinen Bestimmungen beschäftigt, beinhalten die anderen



ZHAGA Bücher: In 18 Büchern beschreibt Zhaga, wie die Module bzw. Betriebsgeräte konstruiert sein müssen (Quelle: Zhaga)

Bücher eine genaue Beschreibung, wie ein ZHAGA LED-Modul konstruiert sein muss. Je nach Buch sind hier Spezifikationen für unterschiedliche Module zu finden, wie sie beispielsweise für Spots, Straßenleuchten, Downlights usw. zur Anwendung kommen. Darunter sind LED-Module mit integriertem aber auch mit externem Betriebsgerät. Einige Module können bei Bedarf – genau wie konventionelle Leuchtmittel – werkzeuglos vom Anwender getauscht werden.

Der Wechsel anderer Module wiederum, kann nur vom Hersteller vorgenommen werden. Im Jahr 2015 wurde das Buch Nr. 13 fertiggestellt, welches einen Standard in Bezug auf die externen Betriebsgeräte zum Betrieb von ZHAGA LED-Modulen definiert. Derzeit (2016) befinden sich einige der 18 Spezifikationen allerdings noch in der Entwicklung.

Die LED Leuchte der Zukunft...

Die grundlegende Idee von ZHAGA ist die Austauschbarkeit von LEDs als „Leuchtmittel“, wie man es von anderen Leuchtmitteln seit Jahrzehnten kennt. Das Leuchtmittel ist defekt und man ersetzt es.

Generell stellt sich allerdings die Frage, wie die LED-Leuchte der Zukunft aussehen wird. Entspricht es in ein paar Jahren noch dem Stand der Technik, ein Leuchtmittel zu „tauschen“? Durch die LED sind Leuchten noch mehr zum „Elektronikartikel“ avanciert. Zu einem Elektronikartikel, wie wir ihn von zu Hause kennen. Egal ob Smartphone, Monitor, Wasserkocher oder elektrische Zahnbürste – wer lässt heute noch diese Gegenstände reparieren, wenn sie defekt sind? Gibt es heute überhaupt noch Ersatzteile für meine Digitalkamera, die ich mir vor drei Jahren gekauft habe? Wozu auch? Ist es nicht viel preiswerter den Gebrauchsgegenstand durch einen neuen zu ersetzen? Oft ist das neue Produkt technisch weiterentwickelt, bietet viel mehr Funktionen und ist besser ausgestattet, als das defekte, welches bereits ein paar Jahre alt ist. Hinzu kommt, dass die Reparatur eines veralteten Gerätes oft fast genauso teuer ist wie die Neuanschaffung eines aktuellen Produktes.

Gerade Produkte aus dem Bereich der Unterhaltungselektronik und der Haushaltsgeräte sind mittlerweile zum beliebten „Wegwerfartikel“ geworden. Aber auch im Automobilbereich geht man immer mehr dazu über, komplette Funktionseinheiten und Baugruppen zu tauschen, anstatt die defekten Bauteile zu zerlegen und zu reparieren.

Es stellt sich die Frage, ob Standardisierungsversuche (wie z. B. ZHAGA), die einen Austausch des LED-Leuchtmittels ermöglichen, eine reale Zukunft haben. Allen (berechtigten) ökologischen Einwänden zum Trotz wird diese Entscheidung wohl allein der Markt treffen. Werden LED-Leuchten eines Tages so preiswert wie Produkte aus dem Bereich der Unterhaltungselektronik, so sind Entscheidungen in Bezug auf den Kompletttausch einer Leuchte schnell gefällt. Eine Leuchte wird möglicherweise schon in ein paar Jahren ein „Wegwerfartikel“ sein.



ZHAGA Module verschiedener Hersteller
 (Quelle: Zhaga)

1.3 OLED



Oviso Pendelleuchte mit OLEDs

(Quelle: Ribag)

Historie

Die Technologie wurde jahrelang ausschließlich zur Beleuchtung kleiner Bildschirme eingesetzt. Im Jahre 2001 entwickelte Toshiba einen Prototyp des ersten Polymer-OLED-Displays. Neben dem Kleindisplaymarkt interessierte sich nun auch die Beleuchtungsindustrie immer mehr für diese selbstleuchtenden, flexiblen Flächen. 2004 brachte GE die ersten weißen Prototypen von Leuchtplatten (ca. 15x15 cm) heraus und ca. 2012 kamen die ersten OLEDs auf den Markt, die auch für allgemeine Beleuchtungszwecke verwendet werden können, wenngleich zu einem Preis, der noch nicht marktfähig war. Auch im Jahr 2016 findet man die OLED nur sehr vereinzelt in der Architekturbeleuchtung. Häufiger ist sie in einigen dekorativen Anwendungen zu finden, wenngleich es schon einige Serienprodukte als Pendel-, Steh- oder Schreibtischleuchte gibt.

Durch zukünftige Verbesserungen bezüglich der Effizienz, der Robustheit und der Lebensdauer ist die Verwendung von OLEDs in sehr vielen anderen Anwendungen wie z. B. als leuchtende Tapeten, Fensterscheiben, großflächige Lichtdecken oder als selbstleuchtende Architekturelemente denkbar.

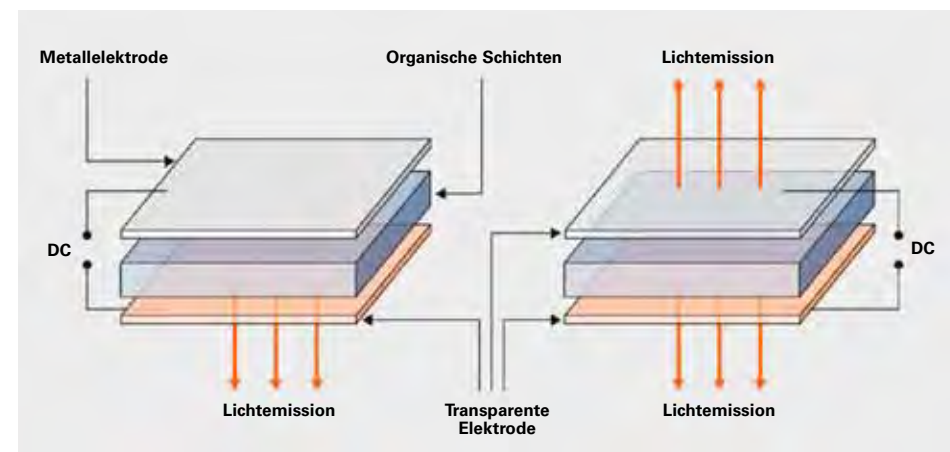
Ähnlich und doch anders

Eine organische Leuchtdiode (OLED) besteht im Gegensatz zur anorganischen LED (die jedoch nur ganz selten als „ALED“ bezeichnet wird) aus organischen Kunststoffen. Damit ist allerdings nicht gemeint, dass die Bestandteile einer OLED pflanzlichen Ursprungs sind oder sich gar biologisch abbauen lassen. Hauptbestandteil einer OLED sind Kunststoffe auf Basis von Kohlenstoffverbindungen. Da Kohlenstoffverbindungen aber auch ein Grundbestandteil aller Lebewesen sind, werden diese Kunststoffe auch als „organische Kunststoffe“ bezeichnet. Die leichte Verfügbarkeit und kostengünstige Herstellung dieser Kunststoffe macht sie für industrielle Anwendung sehr interessant.

Ein weit verbreiteter Irrglaube ist, die OLED sei der Nachfolger oder eine Weiterentwicklung der LED. Die OLED ist ein Produkt, welches parallel zur LED entwickelt wurde. Prinzipiell sind die Funktionsweisen von OLED und LED aber sehr ähnlich. In beiden Fällen handelt es sich um eine Diode, die mit Gleichstrom betrieben wird und somit über eine Kathode und eine Anode verfügen muss. Auch bei der OLED entsteht das Licht durch Elektrolumineszenz in einem Rekombinationsvorgang.

Flächiges Licht

Ein entscheidendes Charakteristikum der OLED ist, dass es sich hierbei immer um eine leuchtende Fläche handelt. Somit ist es mit einer OLED nicht möglich, einen präzisen, deutlichen Akzent in Form eines Spots zu erzeugen. Das Licht wird sehr homogen über eine Fläche emittiert. Je größer diese Fläche ist, desto schlechter kann man das Licht lenken. Ein prädestinierter Anwendungsfall der OLED ist daher die flächige, gleichmäßige Beleuchtung. Hier spielt sie mit einer geringen Bauhöhe von wenigen Millimetern bis teilweise unter 1 mm, gegenüber herkömmlichen Lichtdecken, die in der Regel eine recht hohe Einbautiefe benötigen, ihren eigentlichen Trumpf aus.



Aufbau OLED (Quelle: Osram)

Noch nicht so effizient, wie LEDs

Auch wenn bereits erste Projekte im Bereich der Architekturbeleuchtung realisiert sind und die OLED seriell hergestellt wird, muss man anmerken, dass sie sich noch – wesentlich stärker als die LED – im Entwicklungsprozess befindet.

OLEDs haben derzeit eine Lebensdauer von ca. 10 000 – 40 000 h bei einem Lichtstromrückgang von ca. 30%. Die Lichtausbeute einer derzeit am Markt erhältlichen OLED schwankt (je nach Hersteller, Leistung und Farbtemperatur) zwischen 40 und 60 lm/W.

Nach wie vor sind Parameter wie Lichtausbeute, Lebensdauer sowie Farbwiedergabequalität und Farbstabilität noch sehr optimierungsfähig. Die Relevanz der OLED in der Allgemeinbeleuchtung ist daher derzeit noch sehr gering.

Darüber hinaus sind OLEDs derzeit nicht in beliebigen Größen herstellbar. So beträgt beispielsweise die maximale Größe des OLED Moduls bei vielen Herstellern ca. 12x12 cm („Lumiblade“ OLED-Panel von OLEDWorks). Aber auch rechteckige Formate sind realisierbar. Der Hersteller LG Display hat mittlerweile sogar ein Modul in der Größe 32x32 cm auf den Markt gebracht, allerdings handelt es sich bei dieser Größenordnung noch um eine absolute Ausnahme. Würde die OLED wesentlich größer werden, so würde man einen sichtbaren Leuchtdichteabfall zur Mitte hin bemerken.

Möchte man größere Elemente fertigen, so ist es notwendig, eine entsprechende Kontaktierung auch in der Fläche vorzusehen. Dies lösen einige Hersteller mit einer – im ausgeschalteten Zustand sichtbaren – Wabenstruktur in der OLED. Dennoch werden die Module auch bei diesen Herstellern aktuell in ähnlichen Abmessungen gefertigt, so dass Leuchten immer aus mehreren dieser Einzelelemente aufgebaut werden müssen.

OLEDs haben das Problem des winkelabhängigen Farbdrifts (Farbwinkelshift). So ist die leuchtende Fläche einer weißen OLED mit einem Farblich versehen, wenn man seitlich auf sie schaut. Teilweise wird hier mit diffusen Abdeckungen gearbeitet, um diesen Effekt zu minimieren. Allerdings geht dies natürlich auch zu Lasten der Effizienz.

Am liebsten 50°C

Im Gegensatz zu LEDs sind OLEDs nicht kälteliebend. Eine OLED hat die optimale Betriebstemperatur bei ca. 50°C. Ist es kühler, so geht dies mit Einbußen im Lichtstrom einher. Ein Einsatz in kühler Umgebung, wie z. B. im Außenbereich, ist deshalb grundsätzlich kritischer als bei den anorganischen Varianten.

Eine zu hohe Temperatur wirkt sich auch bei OLEDs negativ auf die Lebensdauer aus, weshalb auch hier Lösungen zur Wärmeableitung benötigt werden.

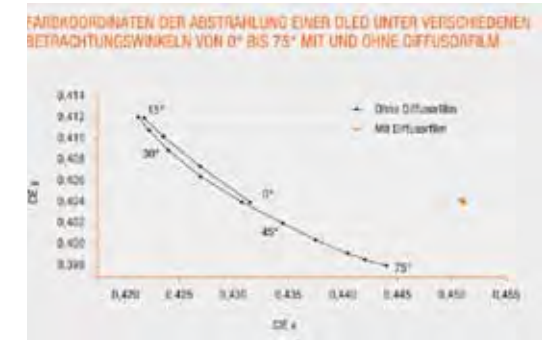
Neben der Effizienzsteigerung von OLEDs geht die Entwicklung auch in andere Richtungen. Bereits heute gibt es erste OLEDs, die sich bis zu einem gewissen Radius verbiegen lassen. Während bei den starren Varianten meist Glas als Trägermaterial zur Anwendung kommt, sind bei den flexiblen OLEDs Kunststofffolien im Einsatz. Dies geht natürlich auch mit einer deutlichen Gewichtseinsparung und Reduktion der Bauhöhe einher.

Darüber hinaus gibt es Entwicklungen im Bereich der Segmentierung von OLEDs. Dabei besteht eine OLED aus verschiedenen Bereichen, die unabhängig voneinander geschaltet werden können. Dies ist in erster Linie für die Rückbeleuchtung von Automobilen interessant.

Eine andere Entwicklung geht in Richtung transparenter OLEDs. Allerdings ist diese Entwicklungsform mit ca. 20 lm/W derzeit noch sehr ineffizient und noch nicht in Serienproduktion.

Möglicherweise werden eines Tages unsere Fenster auch nachts leuchten, wie am Tag. Die transparente OLED macht es möglich! Sicherlich wird dies nicht bei allen Menschen auf Zustimmung stoßen, da im Allgemeinen das Tageslicht und der damit verbundene Ausblick nach draußen sehr viel positiver besetzt sind als das künstliche Licht. Damit wird eine hohe Helligkeit (Leuchtdichte) in der Fensterebene eher akzeptiert, wenn sie durch natürliches Licht erzeugt wird. Künstliches Licht in dieser Ebene wird schnell als zu grell empfunden.

Bleibt die Frage, ob auch alles umgesetzt werden muss, nur weil es technisch machbar ist...



OLED Koordinaten

(Quelle: Osram)



Biegbares OLED Modul

(Foto: Tridonic)



Organische OLED: verschiedene Anwendungen im Innenraum

(Foto: Osram)

2. Qualitätsmerkmale

2.1 Farbwiedergabequalität

Im Gegensatz zum Punkt 1.2.1 werden hier nur Merkmale beschrieben, die vom LED-Lampen/Leuchtenhersteller beeinflusst bzw. maßgeblich bestimmt werden und die sofort sichtbar, erlebbar, messbar und feststellbar sind.

Der allgemeine Farbwiedergabeindex R_a ist eine dimensionslose Kennzahl, welche die Qualität einer Weißlichtquelle hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit bei den Remissionsspektren von definierten 8 Testfarben zu einer Referenzlichtquelle beschreibt. Per Definition ist „100“ der höchste Wert, nach unten gibt es keine Grenze, weshalb auch negative Werte möglich sind. Abkürzung: R_a , im Englischen CRI (für Color Rendering Index). Der Index kann nur rechnerisch nach erfolgter Spektralmessung bestimmt werden. Er ist keinesfalls visuell durchführbar, deshalb gibt es auch keine Testfarben in gedruckter Form.

Genau genommen beurteilt der Farbwiedergabeindex nicht die Qualität der Farbwiedergabe, sondern nur die Ähnlichkeit eines Spektrums zu einem Referenzspektrum. Bis zu einer Farbtemperatur von 5000 K dient als Referenz der Plancksche Strahler (Temperaturstrahler). Bei einer Farbtemperatur > 5000 K ist das Tageslicht die Referenz. Da alle Glühlampen Temperaturstrahler sind, haben Glühlampen immer einen R_a von nahezu 100 – egal, wie weit man sie dimmt. Wenn man sich eine stark gedimmte Glühlampe vorstellt, die nur noch orange leuchtet, fällt es allerdings schwer, sich vorzustellen, dass sie auch in diesem Zustand noch die beste Farbwiedergabequalität erreicht. Sowohl Temperaturstrahler als auch das Tageslicht besitzen ein kontinuierliches Spektrum. Das bedeutet, dass alle spektralen Anteile des sichtbaren Lichts enthalten sind. Zwar ist die Intensität sehr unterschiedlich (so hat das Spektrum der Glühlampe einen sehr geringen Blau-Anteil), aber es sind keine großen Einbrüche zu verzeichnen. Nur wenn eine entsprechende Farbe im Spektrum einer Lichtquelle enthalten ist, können wir sie bei der Remission auch als Körperfarbe eines Objektes wahrnehmen.

R_a von weißen LEDs

Weiß konvertierte Blau-LEDs verfügen über ein sehr charakteristisches Spektrum. Ein Peak ist immer im Bereich von ca. 440-460 nm zu verzeichnen. Hier „verrät“ das weiße Licht seine Herkunft aus dem blauen Chip. Hinzu kommt je nach Farbtemperatur ein mehr oder weniger großer Anteil im Rot- oder Gelbbereich, der durch die Wahl bzw. Schichtstärke der Leuchtstoffe hervorgerufen wird. Diese Technologie erlaubt R_a -Werte bis ca. 95, wenngleich die meisten Produkte nur um die 80 erreichen. Des Weiteren existieren auf dem Markt auch farbverbesserte weiße LEDs. Hier wird zusätzlich zum blauen ein roter LED-Chip verwendet, um auch rote Körperfarben besser wiedergeben zu können. Diese farbverbesserten weißen LEDs erreichen dann sogar R_a -Werte von fast 100 (typisch 98), der Preis dafür ist allerdings eine deutlich geringere Lichtausbeute. RGB-LEDs, die gänzlich ohne Leuchtstoffe arbeiten und aus schmalbandigen Spektren mit Peaks bei 450-460 nm, 530-540 nm und 640-650 nm bestehen, erreichen Farbwiedergabeindizes von höchstens 80.

Alt und viel kritisiert

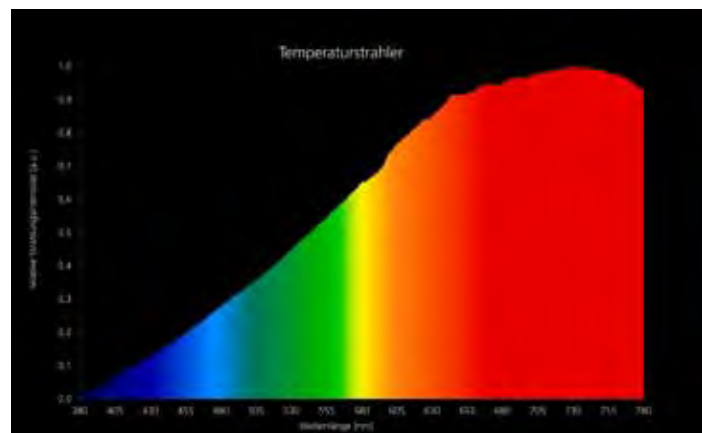
Ebenso alt wie der R_a , ist die Kritik an ihm. Maßgeblich liegt dies an folgenden Punkten:

- 1) Die Palette an Testfarben, die zur Ermittlung des R_a herangezogen wird, ist viel zu klein. Vor allem fehlen gesättigte oder wenigstens halbwegs gesättigte Farben vollständig.
- 2) Der R_a beschreibt nur die Abweichung zur Referenzlichtquelle, nicht jedoch die absolute Qualität der Farbverschiebung. Zwei verschiedene Lampen mit demselben R_a können daher völlig unterschiedliche Farbverschiebungen aufweisen. Die Aussagekraft des R_a ist damit sehr eingeschränkt.
- 3) Der Wertebereich des R_a ist nach unten nicht beschränkt. Die Werte können also auch negativ sein. Die willkürliche Festlegung des maximalen Wertes auf 100 impliziert jedoch häufig einen Wertebereich von 0-100, daraus wiederum resultiert die falsche Verwendung einer Prozentangabe.

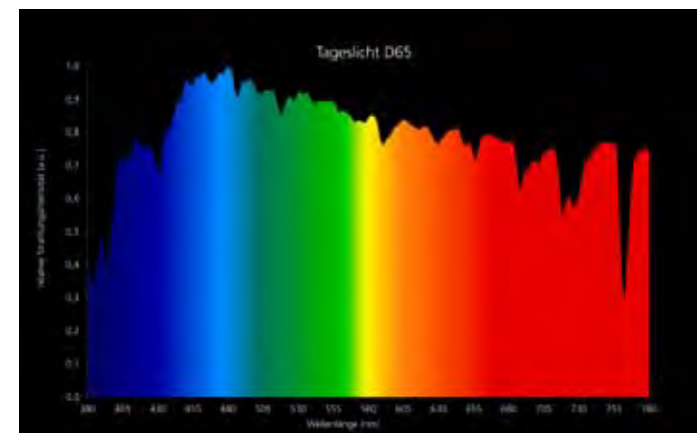
Unter anderem wegen dieser Mängel gibt es auch zahlreiche alternative Ansätze, die Qualität der Farbwiedergabe zu beschreiben. Mehr als 25 unterschiedliche Systeme sind weltweit in der Literatur zu finden. Keines davon hat es bisher jedoch geschafft, vom Markt akzeptiert zu werden. Wenngleich viele der alternativen Bewertungssysteme aussagekräftigere Werte als der R_a liefern, hat sich insbesondere die Lampenindustrie stets zurückgehalten, für ihre Produkte die entsprechenden Werte anzugeben. Bis heute deklariert die Industrie überwiegend ausschließlich den R_a .

LED ist der Auslöser

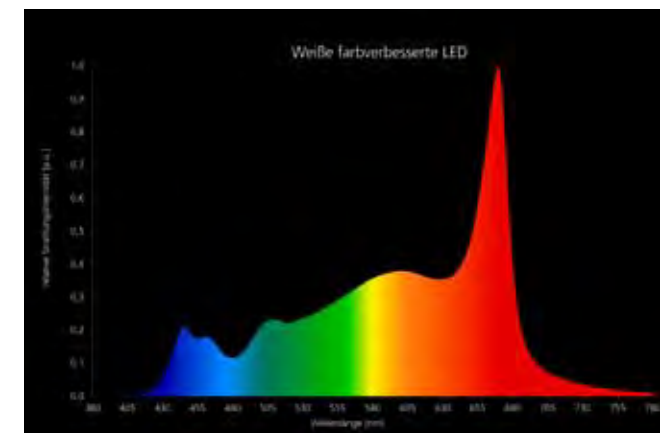
Die Verdrängung der konventionellen Leuchtmittel durch LED-Lichtquellen in den letzten Jahren wirkt sich fundamental auf die gesamte Lichtbranche aus. Da bleibt auch der R_a nicht verschont. Warum? Die Vielfalt an Lichtquellen ist mit der LED sprunghaft gestiegen. Klar gab es auch in der Vergangenheit eine Vielzahl an Lampentypen, diese unterschieden sich jedoch vor allem durch ihre Baumformen, Sockel, Leistungen und Bündelung, während die Lichtqualität selbst, beschrieben mit der spektralen Strahlungsverteilung, auf wenige Typen von wenigen Lampenherstellern reduziert war. Heute haben wir nicht nur eine große Zahl an LED-Chipherstellern, sondern vor allem eine riesige Zahl unterschiedlicher spektraler Verteilungen, die sich in Form von Bins darstellen. Etliche Hersteller stellen besonders hochwertige, besonders „farbtreue“ LEDs her oder LEDs mit besonders großem Farbumfang. Teilweise ist dieser sogar höher als derjenige der Referenzlichtquelle. Folglich fordern diese Hersteller, dass es einer Metrik bedarf, die dies auch beschreiben kann. Andererseits gibt es Studien, die belegen, dass die subjektive Farbwiedergabequalität von LED-Lichtquellen weniger gut mit dem R_a korreliert als bei anderen Lichtquellen. Der R_a , entwickelt in den 1930er-Jahren, veröffentlicht als CIE 13 im Jahre 1965, um die qualitativen Unterschiede der damaligen Leuchtstofflampen beschreiben zu können, hat offensichtlich ausgedient.



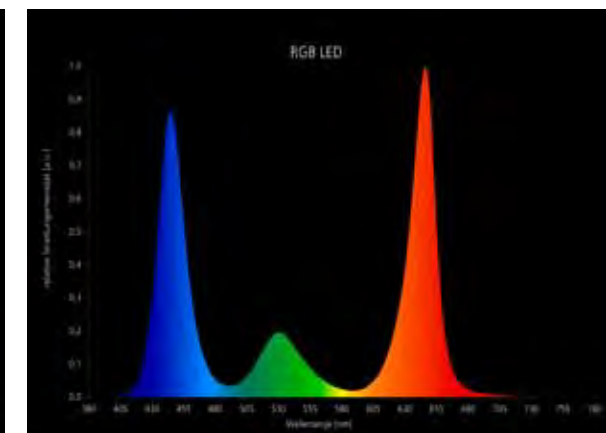
Spektrum Temperaturstrahler



Spektrum Tageslicht D65



Spektrum farbverbesserte weiße LED

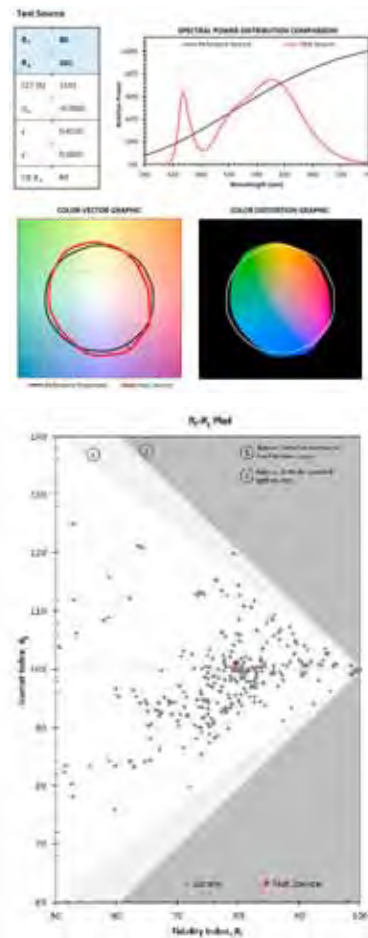


Spektrum weiße RGB-LED

Puk Maxx



INNOVATIV
ELEGANT
ENERGIESPAREND
SINNLICH
MODERN
ERLEUCHTEND
LED



Das TM-30 Verfahren mit der spektralen Verteilung einer LED
(Quelle: DIAL)

Ein neuer Hoffnungsträger: TM-30

Die nordamerikanische IES (Illuminating Engineering Society) hat im Jahr 2015 einen Vorstoß in Richtung „Neuer Farbwiedergabeindex“ gewagt. Unter dem Kürzel TM-30-15 stellt sie auf 26 Seiten die „IES-Methode zur Bewertung der Farbwiedergabe von Lichtquellen“ vor. Hierzu hat man die Hauptkritikpunkte an der CIE 13.3 Methode aufgegriffen und optimiert. So hat man die Palette der Testfarben deutlich ausgebaut, statt 8 (wie beim R_a) sind es nun 99 Farben. Leider sind auch hier keine wirklich gesättigten Farben dabei, die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass man sich auch an natürlich vorkommenden Farben, wie Orangen, roten Zwiebeln oder grünen Äpfeln inspiriert hat und die neuen Testfarben eine ähnlich hohe Sättigung aufweisen. Der neue „Referenz-Spektrums-Ähnlichkeits-Index“ nennt sich Fidelity Index, abgekürzt R_f , und beschreibt im Prinzip dasselbe, was der gute alte R_a auch tat, allerdings, wie erwähnt, für mehr und bessere Testfarben. Der Wertebereich ist auf 0...100 beschränkt. Alte R_a und neue R_f Angaben lassen sich keinesfalls unmittelbar miteinander vergleichen. In den meisten Fällen wird der Zahlenwert für den R_f kleiner sein. Zusätzlich zur Bewertung der Ähnlichkeit von Testlichtquelle zur Referenz, also der Fidelity R_f , wird beim TM-30 Verfahren auch der „Farbumfang“ berücksichtigt. Dieser drückt sich im Gamut-Index, abgekürzt R_g aus. Auch dieser wird durch eine dimensionslose Kennzahl beschrieben. Hier können die Werte auch größer als 100 sein und zwar immer dann, wenn die Testlichtquelle durchschnittlich eine höhere Sättigung aufweist als die Referenz. Die Referenzlichtquellen beim neuen TM-30 Verfahren sind zwar die alten geblieben, also Planckscher Strahler und Tageslichtphase, jedoch gibt es nicht mehr den sprunghaften Wechsel bei 5000K. Hier gibt es nun im CCT-Bereich zwischen 4500K und 5500K eine Vermischung beider Referenzlichtquellen. Die Auswirkungen dieser Optimierung dürften hingegen kaum spürbar sein. Der wichtigste und für den Lichtplaner nützlichste Aspekt der neuen TM-30-Methode ist jedoch die vektorgrafische Darstellung der Farbverschiebung. Hier kann man sehr einfach und schnell den Einfluss der Lichtquelle auf bestimmte Farben erkennen. Auch wenn die neue TM-30 Methode noch keine Bemusterung ersetzen kann, so sind die Vorteile gegenüber dem tradierten CIE 13.3-Verfahren überdeutlich: aussagekräftigere und vor allem detailliertere Informationen zu dem wichtigen Thema Farbwiedergabequalität von Lichtquellen. Es bleibt zu hoffen, dass sich das Verfahren am Markt etabliert.

2.2 Farbtemperatur

Die Lichtfarbe von Weißlichtquellen wird allgemein mit der Farbtemperatur beschrieben, Einheit: Kelvin (K). Auch wenn Halbleiter und Entladungslampen im Betrieb sehr heiß werden können, hat die Wärmeentwicklung nichts mit der Körpertemperatur zu tun. Vielmehr vergleicht man die erzeugte Lichtfarbe mit der eines Temperaturstrahlers. Sieht das erzeugte Licht dem des Planckschen Strahlers ähnlich, so gibt man dieser Lichtquelle eine „ähnlichste Farbtemperatur“, die der Körpertemperatur des Planckschen Strahlers entspricht. Eine übliche Einteilung der Lichtfarben ist z. B. in der DIN EN 12464-1 zu finden:

| | |
|-------------------------------------|---------------|
| warmweiß | < 3300K |
| neutralweiß | 3300K – 5300K |
| tageslichtweiß (oft auch: kaltweiß) | > 5300K |

Der Markt bietet bei LEDs ein breites Angebot an verschiedenen Farbtemperaturen: Für die Innenbeleuchtung meist zwischen 3000K und 4000K, in der Außen- und insbesondere der Straßenbeleuchtung häufig auch Lichtfarben mit 6000K oder deutlich kühler. Es ist zu beachten, dass die Farbtemperatur nichts über die Farbwiedergabequalität aussagt! Um sich Überraschungen hinsichtlich unerwünschter Farbabweichungen zu ersparen, ist es immer sinnvoll, die Produkte vorher zu bemustern. Die Farbtemperatur bei LED-Produkten ist häufig nicht so homogen wie gewünscht. Folgende Abweichungen sind möglich:

- Farbabweichungen bei Leuchten, bei denen sich der emittierte Gesamtlichtstrom aus mehreren Einzel-LEDs zusammensetzt. Farbabweichungen zwischen den Einzel-LEDs wirken sich logischerweise störend auf das Erscheinungsbild der Leuchte aus.
- Winkelabhängige Abweichungen: Diese Abweichungen werden inzwischen auch normativ beschrieben: neben der amerikanischen LM 79 aktuell auch in der DIN EN 13032-4: 2015-08.
- Alterungsbedingte Abweichungen.

2.3 Binning

Der Begriff Binning beschreibt ein Selektionsverfahren, welches LED-Chiphersteller anwenden, um LEDs hinsichtlich verschiedener Eigenschaften, in erster Linie Lichtstrom (oder Lichtstärke) und Farbort, kategorisieren zu können. Dieses Verfahren ist notwendig, um die produktionsbedingten Schwankungen auszugleichen und dem Kunden in bestimmten Toleranzgrenzen gleichhelle und gleichfarbige Produkte („Bins“) anbieten zu können.

Bin Code

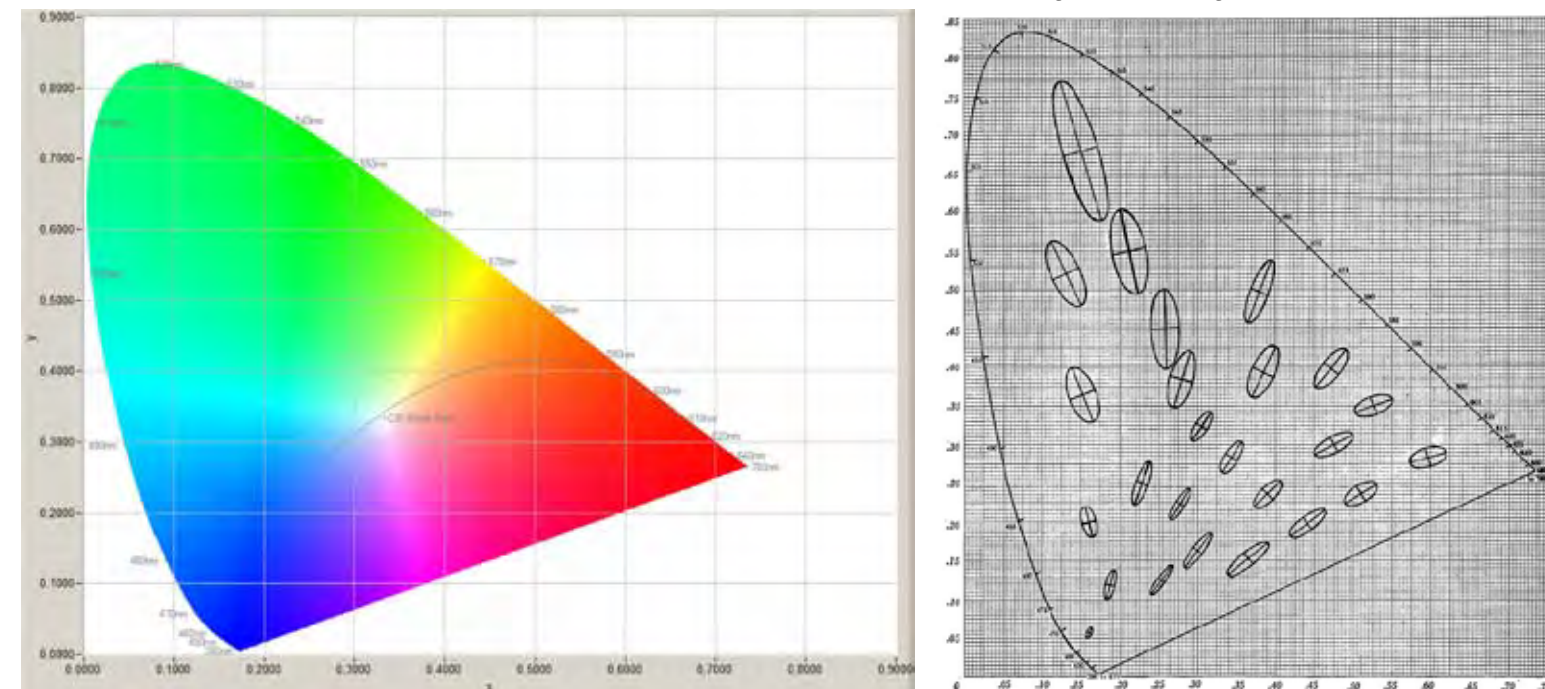
Die Hersteller beschreiben die Zuordnungen ihrer Produkte zu bestimmten Bins, deren Toleranzgrenzen nach eigenem Ermessen definiert werden, mittels eines Bin Codes. Diese sind Teil des Bestellcodes der LED-Chips und sind je nach Hersteller sehr unterschiedlich und können neben Lichtstrom und Farbort auch z. B. die Spannung beinhalten. Dazu sind immer die Toleranzen, also der zulässige Bereich, in der eine Größe typischerweise liegen sollte, mit angegeben. Da ein „Bin“ immer eine Selektion von Bauteilen ist, sind geringere Toleranzen mit einem höheren Aufwand bzw. einem höheren Ausschuss von Bauteilen versehen und werden dementsprechend auch von den Anbietern mit einem Aufpreis vertrieben.

Farbort-Binning und die MacAdam Ellipsen

Um die Zahl der Bins aus wirtschaftlichen Gründen möglichst klein zu halten, versucht man, die Toleranzgrenzen möglichst weit zu fassen. Hierzu nutzen die Chiphersteller Unzulänglichkeiten im visuellen Empfängersystem des Menschen gezielt aus. Bei den Farbort-Bins werden die Toleranzgrenzen danach gewählt, dass Farbunterschiede möglichst nicht auffallen. Hierzu bedient man sich der Erkenntnisse, die der amerikanische Physiker David Lewis MacAdam in den 1940er-Jahren erforscht hatte: Das menschliche Auge registriert Farbabweichungen zu einer Referenz je nach Farbe sehr unterschiedlich. Es gibt Farbbereiche (z. B. grün), in denen unser Empfängersystem tolerant ist, dagegen sind wir bei Blautönen gegenüber Farbabweichungen sehr empfindlich. Die Ergebnisse seiner Arbeit stellte MacAdam im CIE (1931) x, y-Farbraum dar. Darin stellen die Farbräume, in denen wir gerade noch keine Abweichungen zur Referenz wahrnehmen, durch Ellipsen gekennzeichnet. Im Zentrum der Ellipsen hat die jeweilige Referenz ihren Farbort.

links: CIE (1931) x, y-Farbraum mit Planckschem Kurvenzug

rechts: Mac Adam Ellipsen, vergrößert dargestellt, Originaldarstellung von 1942



Weiß ist besonders problematisch

Das Binning bei LEDs wird für quasi alle Bereiche der Lichtenwendung eingesetzt, sowohl bei farbigen, als auch bei weißen LEDs. Die Auswirkungen der ungewollten Fertigungsschwankungen sind bei den weißen LEDs jedoch besonders hoch. Den Problemen bei der Konversionstechnologie von weißen LEDs liegen mehrere Faktoren zugrunde.

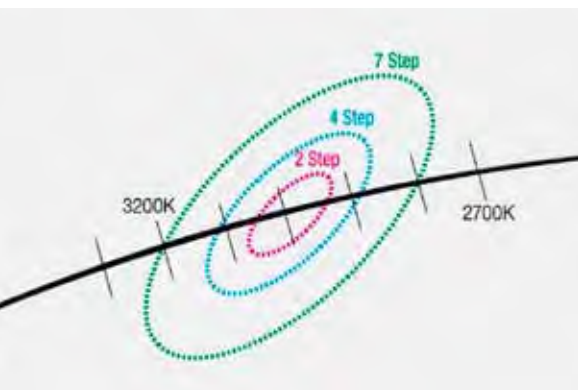
1. Die als Energiequelle dienende kurzweilig emittierende (blaue) LED: Durch sich minimal ändernde Schichtdicken (p-n-Schicht) ist die Peakwellenlänge und Intensität von LED zu LED unterschiedlich.
2. Die Phosphor-Schicht, die die Umwandlung von Teilen des blauen Lichts in andere Farben übernimmt: Die Mischung und Schichtdicke des Phosphors sind nicht exakt reproduzierbar, so kann bei der Konversion mehr oder weniger Licht mit anderen spektralen Eigenschaften austreten.
3. Die sehr kleinen Lichtaustrittsflächen: Diese führen dazu, dass sich die Unzulänglichkeiten der Phosphorschicht unmittelbar auf die spektrale Verteilung auswirken. Bei räumlich ausgedehnten Lichtquellen, wie z. B. bei Leuchtstofflampen, wirkt sich eine partielle Inhomogenität des Leuchtstoffs kaum aus. Weiße LEDs, die auf Basis von Remote-Phosphor arbeiten, unterliegen diesem Phänomen deutlich weniger.

Binning und Normung

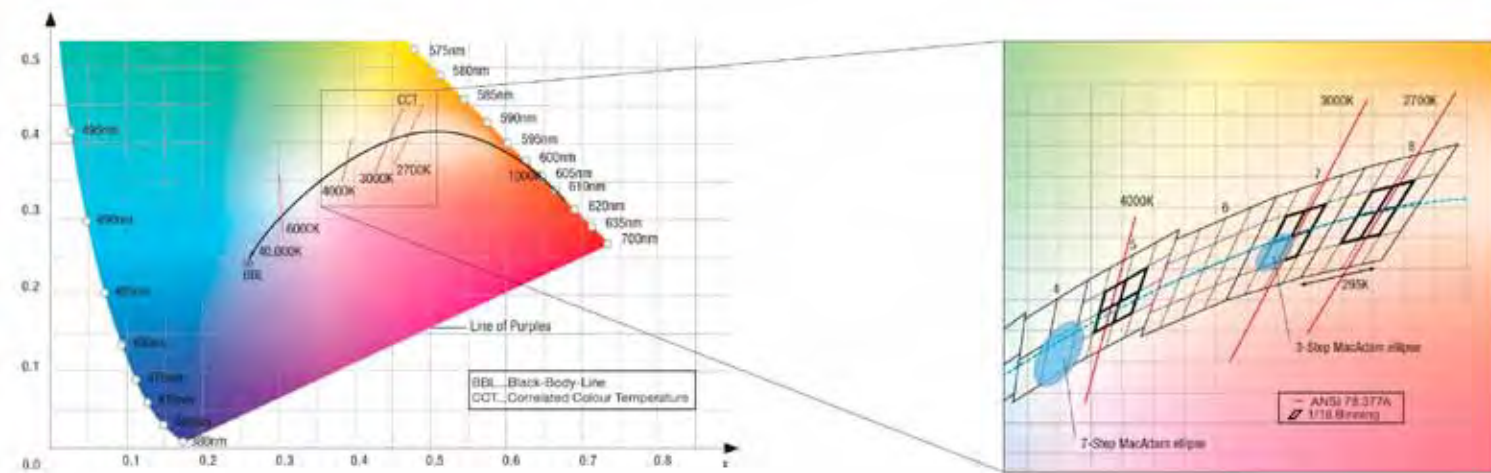
Generell ist es dem Hersteller überlassen, nach welchen Toleranzen und Kriterien er seine LEDs selektiert. Allerdings sind inzwischen in verschiedenen Bereichen Normen und Empfehlungen erschienen. Für die Farborttoleranzen wurde 2015 eine weitere Revision der ANSI NEMA C78.377 herausgegeben. Diese beschreibt, angelehnt an 7-fache MacAdam Ellipsen, Toleranzbereiche um ähnlichste Farbtemperaturen, in denen der Eindruck der Lichtfarbe vergleichbar sein sollte. Für bestimmte Anwendungen, die eine geringere Farborttoleranz erfordern, wird dort vorgeschlagen, die 4-fache MacAdam Ellipse zu verwenden. Selbst eine 4-fache MacAdam Ellipse stellt jedoch keine besonders hohe Anforderung dar, da nur eine 1-fache MacAdam Ellipse für nicht wahrnehmbare Farbabweichungen sorgt.

In Zukunft vielleicht ohne Binning?

In Zukunft könnte die Relevanz des Binnings für Hersteller von LED und Hersteller von Leuchten durch neue Fertigungsmethoden und entsprechend konstruierten Leuchten zurückgehen. Derzeit ist das Verfahren jedoch für hochwertige Leuchten unabdingbar.



MacAdam Ellipse, verschiedene Binningstufen (Bild: DGA.it)



Anschauliche Beschreibung der ANSI C78.377A (Quelle: XAL Light Magazine 24)

Absurdes aus Brüssel

LED-Leuchten sind ökologisch sinnvoll! Deshalb tragen sie alle mindestens das Energielabel der Klasse A! Wer sich die EU-Verordnung 874/2012 zur Energieverbrauchskennzeichnung von elektrischen Lampen und Leuchten anschaut, wird an der Sinnhaftigkeit zweifeln. Der Vergleich anhand dieser Klassifizierungen ist ungeeignet, da per Verordnung die Art der Lichterzeugung entscheidender ist als die tatsächliche Leuchtenlichtausbeute. LED-Leuchten werden grundsätzlich, ohne Berücksichtigung der gemessenen Werte, immer den Energieklassen A, A+ oder A++ zugeordnet. Es besteht die berechtigte Hoffnung, dass diese unzulängliche Einteilung der LED-Leuchten in naher Zukunft zu Gunsten einer Systematik, die auch die Effizienz berücksichtigt, geändert wird. Bei Lampen erfolgt die Klasseneinteilung differenzierter. Getrennt nach Lampen mit ungebündeltem oder gebündeltem Licht wird ein Energieeffizienzindex errechnet, über den die Einordnung in die sieben Klassen von A++ bis E erfolgt.

Lichtausbeute ist nicht gleich Lichtausbeute

Würde bei Leuchten mit konventionellen Lampen zur Effizienzbeurteilung jahrelang der Leuchtenbetriebswirkungsgrad (LOR) herangezogen, ist dieser bei LED-Leuchten nur noch mit großem Aufwand (und großem Messfehler) oder gar nicht mehr ermittelbar. In der Lichttechnik geht man deshalb einen anderen Weg und ermittelt die Lichtausbeute. Bei dem beliebten Effizienzkriterium Lichtausbeute (lm/W) muss man jedoch genau darauf achten, welche Lichtausbeute der Hersteller im Datenblatt angibt.

Drei verschiedene Lichtausbeuten sind gebräuchlich:

1. Die Lampen- oder Modullichtausbeute, die das Verhältnis von abgestrahlter Lichtleistung der Lampe oder des LED-Moduls zur elektrischen Leistung der Lampe oder des LED-Moduls beschreibt.
2. Die Systemlichtausbeute, die neben der Lampen- bzw. Modulleistung auch noch die (Verlust-) Leistung des Betriebsgerätes (Trafo, Vorschaltgerät oder Treiber) berücksichtigt.
3. Die Leuchtenlichtausbeute, bei der nicht der Lampenlichtstrom, sondern der Leuchtenlichtstrom ins Verhältnis zur Systemleistung gesetzt wird. Die Leuchtenlichtausbeute ist die für den Planer relevante Angabe.

Bei allen drei Lichtausbeuten ist grundsätzlich zu beachten, bei welcher (Junction-) Temperatur die LEDs in der Leuchte betrieben werden. Kaltlichtströme, die wenige Millisekunden nach dem Einschalten bei einer Raumtemperatur von 25°C ermittelt werden, sind aussagegelos für die Performance im thermisch stabilen Zustand. Bei LED-Leuchten verwischen auch häufig die Grenzen zwischen Lampe und Leuchte. So kann es sinnvoll sein, die Leuchtenlichtausbeute einer konventionellen Leuchte mit stabförmiger Leuchtstofflampe mit der Systemlichtausbeute einer LED Retrofit-Röhre zu vergleichen. Bei Betrachtung dieser Zahlen sind die anderen lichttechnischen Qualitäten nicht zu vernachlässigen. Die möglicherweise höhere Lichtausbeute (lm/W) kann wertlos sein, wenn das Produkt die zuge dachte Aufgabe nicht oder nur eingeschränkt erfüllt.

Welche Lichtausbeuten sind möglich?

Teilweise behaupten Verkäufer, dass die LED schon in wenigen Jahren weitere Quantensprünge in Sachen Lichtausbeute vollzogen haben wird. Doch diese Aussagen sind schlichtweg un-

| | |
|-----------------------------------|-------|
| (LED) Modul-Leistung [W] | 32 |
| (LED) Modul-Lichtstrom [lm] | 3.899 |
| (LED) Modul-Lichtausbeute [lm/ W] | 121,8 |

Modullichtausbeute einer LED-Langfeldleuchte (Quelle: DIAL)

| | |
|------------------------------|-------|
| System-Leistung [W] | 36 |
| (LED) Modul-Lichtstrom [lm] | 3.899 |
| System-Lichtausbeute [lm/ W] | 107,7 |

Systemlichtausbeute einer LED-Langfeldleuchte (Quelle: DIAL)

| | |
|--------------------------------|-------|
| System-Leistung [W] | 36 |
| Leuchten-Lichtstrom [lm] | 2.731 |
| Leuchten-Lichtausbeute [lm/ W] | 76,5 |

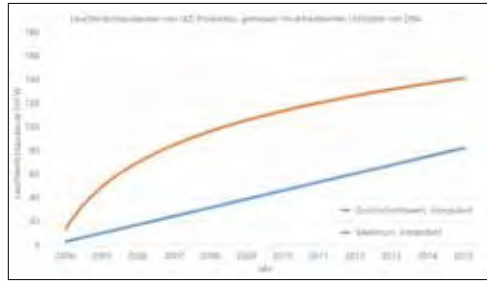
Leuchtenlichtausbeute einer LED-Langfeldleuchte (Quelle: DIAL)

3. Wirtschaftlichkeit

3.1 Effizienzvergleich von LEDs zu anderen Lichtquellen



Etikettierung einer Leuchte mit nicht austauschbaren LED-Modulen, und auch Fassungen für vom Nutzer austauschbaren Lampen (Quelle: EU-Verordnung 874/2012)



Leuchtenlichtausbeuten von LED-Produkten, gemessen im akkreditierten Lichtlabor von DIAL
(Quelle: DIAL)



Grüner Laser (Quelle: DIAL)

Maximal theoretisch erzielbare Lichtausbeuten in Abhängigkeit vom Spektrum (Quelle: DIAL)

seriös. In den letzten Jahren hat die LED aufgrund der technischen Weiterentwicklung durchaus beachtliche Steigerungen der Lichtausbeute vollzogen, doch diese Kurve flacht ab. In den kommenden Jahren ist nicht mit Zuwächsen der gleichen Größenordnung im Bereich der maximal erzielbaren Lichtausbeute zu rechnen. Die durchschnittliche Lichtausbeute von LED-Leuchten wird sicherlich noch weiter ansteigen, da nach wie vor auch noch Leuchten mit Lichtausbeuten von 50-70lm/W am Markt sind, die weiter optimiert werden können. Die folgende Grafik zeigt den Verlauf der maximalen und durchschnittlichen Leuchtenlichtausbeute von LED-Produkten, die im akkreditierten Lichtlabor von DIAL innerhalb der letzten Jahre gemessen worden sind.

Alles eine Frage des Spektrums...

Welche maximale Lichtausbeute können weiße LEDs eigentlich technisch erreichen? In der Netzhaut des menschlichen Auges befinden sich ungefähr 7 Mio. Rezeptoren, die der Farbwahrnehmung dienen (die sog. Zapfen). Es gibt Rot-, Grün- und Blaurezeptoren. Allerdings sind die meisten dieser Zapfen (ca. 60 %) Grünrezeptoren. Somit nimmt der Mensch die Lichtfarbe Grün im Vergleich zu den Farben Rot und Blau bei gleicher physikalischer Strahlungsleistung als wesentlich heller wahr. Die maximale spektrale Hellempfindlichkeit liegt beim hell adaptierten menschlichen Auge bei 555nm. Das bedeutet, dass die höchste für den Menschen wahrnehmbare Hellempfindung (gleiche physikalische Strahlungsleistungen vorausgesetzt), also mit grünem Licht der Wellenlänge 555nm erzeugt werden kann. Die höchste Lichtausbeute, die theoretisch erzielt werden kann, beträgt bei einer Wellenlänge von 555nm, 683lm/W. Man spricht in diesem Zusammen-

| Bezeichnung | Spektrum | Systemleistung, gemessen [W] | Lampen- bzw. Modullichtstrom, gemessen [lm] | Systemlichtausbeute [lm/W] | Anteil der in Licht umgewandelten Leistung [%] | Maximal theoretische Lichtausbeute [lm/W] |
|----------------------------------|----------|------------------------------|---|----------------------------|--|---|
| Halogen-Hochvolt, 120 W | | 127,4 | 2.249 | 17,7 | 11,9 | 148,7 |
| Halogen-Niedervolt, 60 W | | 59,9 | 1.535 | 25,6 | 15,4 | 166,3 |
| Leuchtstofflampe T 16, 54 W, 830 | | 51,3 | 4.184 | 81,6 | 23,7 | 344,4 |
| Halogenmetallidampf 70 W, 830 | | 79,8 | 7.912 | 99,2 | 31,5 | 314,5 |
| LED, 35 W, 830 | | 34,2 | 4.739 | 138,6 | 42,3 | 327,6 |
| LED, 35 W, 840 | | 34,5 | 4.806 | 139,3 | 43,7 | 318,8 |
| LED, 16 W, 750 | | 16,2 | 2.436 | 150,5 | 48,7 | 309,0 |

hang auch vom „fotometrischen Strahlungsäquivalent K_m “. Dieser Wert ist in der Praxis jedoch nicht erreichbar, da bei dieser Betrachtung davon ausgegangen wird, dass 1W elektrische Leistung verlustfrei in sichtbares Licht umgewandelt werden kann. Natürlich ist monochromatisch grünes Licht für die allermeisten Beleuchtungszwecke nicht nutzbar, auch wenn es am wirtschaftlichsten wäre. Man möchte weißes Licht erzeugen mit unterschiedlichen Farbtemperaturen und einer möglichst guten Farbwiedergabequalität. Doch allein das „Auffüllen“ der spektralen Verteilung mit weiteren Wellenlängen im Bereich von 380-780nm (der für das menschliche Auge sichtbare Bereich) sorgt dafür, dass die maximal theoretisch erzielbare Lichtausbeute sinkt. Wie hoch diese ist, hängt immer von der gewünschten spektralen Verteilung ab. Die Tabelle auf Seite 98 erläutert die theoretisch maximal erzielbaren Lichtausbeuten verschiedener Spektren, die DIAL rechnerisch ermittelt hat. Im Vergleich zu LEDs verschiedener Farbtemperaturen sind hier auch einige konventionelle Leuchtmittel aufgeführt. Dieser Tabelle kann man entnehmen, dass das typische Spektrum einer warmweißen LED eine theoretische Modullichtausbeute von ca. 320lm/W erreicht. Da hier aber von einer verlustfreien Umsetzung der physikalische Strahlungsleistung in die Wellenlängen des Spektrums ausgegangen wird, ist die real erzielbare Modullichtausbeute wesentlich geringer. Möglicherweise sind hier eines Tages Systemlichtausbeuten im Bereich von 200-250lm/W realisierbar. Darüber hinaus lässt sich hier auch eine Aussage der Effizienz von LEDs im Vergleich zu anderen Lichterzeugungsprinzipien anhand des prozentualen Anteils der in Licht umgewandelten Leistung treffen. Während beispielsweise der Anteil der in Licht umgewandelten Leistung (der sog. Wirkungsgrad) bei Glühlampen zwischen 10 und 20 % liegt, erreichen sehr effiziente LEDs hier derzeit zwischen 40 und 50 %.

Sind LEDs nachts effizienter?

In Dämmerungs- und Nachtsituationen ändert sich die spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges in Richtung kurzwelliger Strahlung. Das Maximum der Hellempfindung liegt beim dunkel adaptierten Auge dann bei 507nm. Die Argumentation zu Gunsten des LED-Einsatzes, z. B. im Bereich der Straßenbeleuchtung ist nachvollziehbar, wenn man für deren Hauptbetriebszeiten unterstellt, dass sich das Auge im mesopischen oder skotopischen Bereich, also unterhalb einer Leuchtdichte von ca. 5cd/m² befindet.

Kaltes Licht ist effizienter

Beim Studium der technischen Daten von Leuchten stellt man fest, dass ansonsten gleiche Produkte mit warmen Lichtfarben wie 2700K oder 3000K hinsichtlich der Leuchtenlichtausbeute schlechter abschneiden als neutralweiße mit 4000K oder gar kühlweiße mit 6000K und mehr. Die Ursache dafür ist logisch: Je mehr abgestrahlte Energie aus dem kurzwelligeren Bereich in den langwelligeren Bereich „verschoben“ wird, desto größer ist der Verlust.

LED-Retrofit-Röhren vs. Leuchtstoffröhren

Wirft man den Blick auf die verschiedenen LED-Substitute, so findet man im Wesentlichen drei Typen: Ersatz für stabförmige Leuchtstofflampen, Ersatz für zumeist einseitig gesockelte ungebündelte Lampen und Ersatz für Reflektorlampen. Gerade für die erstgenannte Gruppe besteht ein reger Wettbewerb um die beste Lampenlichtausbeute. Zurzeit erreichen die besten LED-Röhren ca. 140lm/W, das Gros der Lampen bleibt aber im Bereich von 100-120lm/W. Bei den Leuchtstoffröhren bietet der Markt eine Bandbreite der Effizienz, auch hier betrachten wir die Lampenlichtausbeute, von etwa 70lm/W bis knapp über 100lm/W. Zieht man die besten



LED-LEUCHTENSERIE ID

Neueste LED-Hybrid-Technologie, höchste Lichtqualität, markantes Design: Die Leuchtsenserie ID verbindet die Ansprüche einer wirkungsvollen Retail-Architektur mit einer einzigartigen Auswahl an LED-Lichtfarben. Erhältlich als Einbau-, Aufbau- und Pendelleuchte.

There are all sorts of lights. Because there are all sorts of products.

Leuchtstoffröhren zum Vergleich heran, so sind die Ergebnisse fast auf Augenhöhe mit den LED-Substituten – bei deutlich geringeren Investitionskosten und in der Regel besserer Kompatibilität. Allerdings hat man hier einen Fehler gemacht. Bei den konventionellen Lampen muss man die Leuchtenlichtausbeute von entsprechend geeigneten Produkten heranziehen und dann fällt der Effizienzvergleich häufig zu Gunsten der LED aus.

E27 & Co.

Glühlampen durch LED-Lösungen zu ersetzen, ist bei reiner Effizienzbetrachtung naheliegend. Aktuelle Substitute für Allgebrauchsglühlampen mit E27 Sockel sind mit Systemlichtausbeuten von 70 bis 100lm/W (mattierte Kolben), vereinzelt sogar bis 135lm/W (klare Kolben), deklariert und liegen wesentlich über der Effizienz von Hochvolt- als auch von Niedervolt-Halogenglühlampen mit nur 15-26lm/W. Diese Lampen werden jedoch überwiegend im Wohnumfeld eingesetzt. Vor dem Hintergrund der visuellen und elektrischen Unterschiede stellt sich gerade hier die Frage, ob sich die Investition in LED-Retrofits jemals lohnen kann und eventuelle Kompromisse in Sachen Lichtqualität rechtfertigt. Wenn 15W statt 50W täglich 1 Stunde in Betrieb sind, wird eine Einsparung von etwa 13kWh pro Jahr erreicht und so – bei dem Preis einer Kilowattstunde von 0,23 € – die Kosten um ca. 3 € pro Jahr reduziert. Bei höheren Leistungen und längeren Betriebszeiten sollte jeder Anwender individuell entscheiden, welche Ersparnis eine ausreichende Motivation für den Wechsel ist.

3.2. Lebensdauer und Alterung

Wie zuvor bereits beschrieben, gehört zum optimalen Betrieb einer LED-Lichtquelle, insbesondere bei denen mit hoher Leistungsdichte, auch immer das geschickte Thermomanagement. Entgegen gelegentlicher Werbeaussagen entsteht eine nicht unwesentliche Menge an Wärme bei der Lichterzeugung (ca. 75 % Wärme, 25 % Licht).

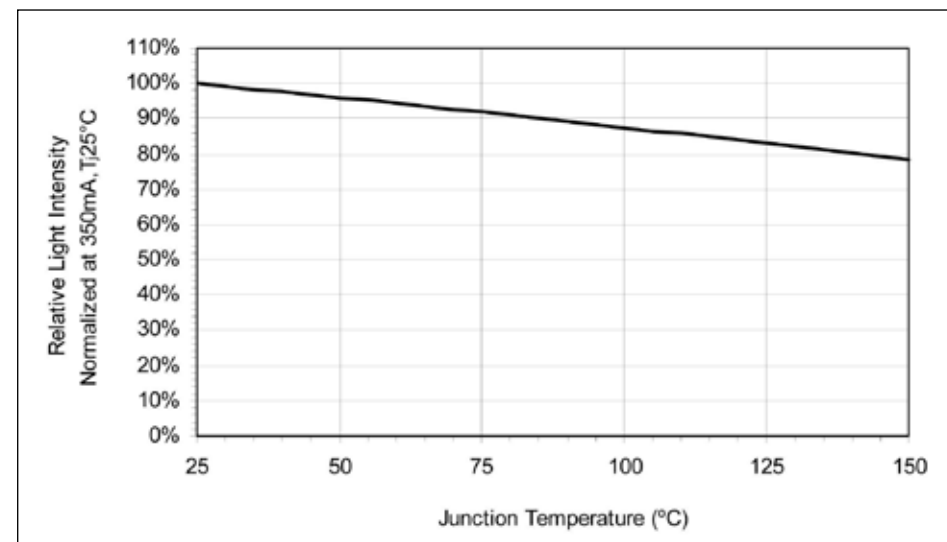
Das Temperaturmanagement einer Leuchte ist ein ganz wesentliches Kriterium für die Qualität und Lebenserwartung einer LED-Leuchte oder -Lampe, da es einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen Temperatur und Lichtstrom, sowie zwischen Temperatur und Lebensdauer gibt. Je höher die umgebende Temperatur, desto mehr degradiert der Lichtstrom. Eine Chiptemperatur von 75 °C ist typisch für viele Produkte und unkritisch. Bei einer Temperatur von 65 °C oder mehr am Leuchtengehäuse (nicht am Kühlkörper) ist davon auszugehen, dass die Wärmeabfuhr nicht ausreichend ist. Eine gut konstruierte Leuchte (nicht Lampe!) sollte nach thermischer Stabilisierung nicht mehr als ca. 40 °C Gehäusetemperatur aufweisen.

Halten LEDs ewig?

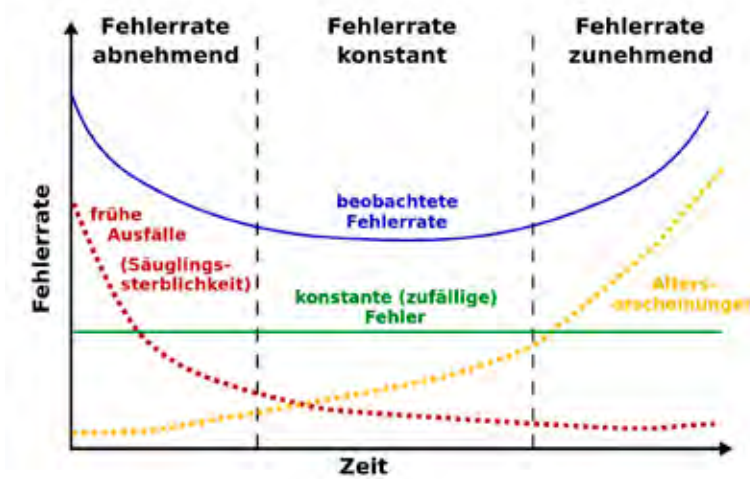
Die drei Phasen des Totalausfalls.

Phase 1: Frühausfall

Die erste der drei Phasen des Ausfalls kennt jeder von elektronischen Geräten: kaum ausgepackt und schon defekt. Diese Frühausfälle beruhen neben der Fehlbedienung vor allem auf



Relativer Lichtstrom in Abhängigkeit von der Junction Temperatur
(Quelle: Bridgelux)



Grafik der „Badewannenkurve“ und der drei Phasen Frühausfall, Zufallsausfall, Alterungsausfall, X-Achse „Lebensdauer“, Y-Achse „Ausfallrate“

Mängeln in der Fertigung (Material- oder Montagefehler). Besonders bei technisch anspruchsvollen und räumlich komprimierten Bauteilen führen Toleranzen in der Fertigung sehr schnell zu Problemen. Elektrische Fehler führen zumeist zum Totalausfall des betroffenen Halbleiters. Es liegt am einzelnen Produkt und seiner technischen Konfiguration, ob innerhalb einer LED-Kombination nur ein defektes Element ausfällt oder gleich die ganze Leuchte/Lampe. Dies kann ein Vorteil der LED sein. Gelegentlich kann man solche Konstellationen beim Vordermann im Straßenverkehr entdecken: Das Bremslicht besteht aus mehreren Dutzend LEDs, von denen eine oder zwei ausgefallen sind. Dennoch bleibt die generelle Funktionsfähigkeit der Leuchte erhalten, der Lichtstromrückgang ist nicht gravierend. Demgegenüber ist der Austausch der einzelnen LED innerhalb eines Arrays zumeist schwierig oder unmöglich. Die Häufigkeit der Frühausfälle lässt sich durch Stresstests in Vorserien und umfassende Qualitätskontrollen reduzieren. In dieser ersten Phase ist die Ausfallwahrscheinlichkeit relativ hoch. Erfahrungen deuten auf bis zu 4 % innerhalb der ersten 1000 Betriebsstunden hin.

Phase 2: Zufallsfehler

Die zweite Phase wird von Zufallsfehlern dominiert. Wartungs- und Bedienungsmängel kommen weit häufiger vor, als Fehler, welche der Leuchte oder Lampe selber anzulasten sind. Dazu würde z. B. auch die Beschädigung eines aktiven Lüfters zählen, weil er z. B. in einer nicht bestimmungsgemäßen Umgebung mit hohem Staubanteil betrieben wurde und deshalb seinen Betrieb einstellt. Ebenfalls in diesen Zeitraum fallen Ausfälle durch Spannungsschwankungen, die der empfindlicheren Elektronik zusetzen können.

Phase 3: Verschleißausfälle

Erst nach deutlich längerer Zeit kommen die Verschleißausfälle, die wir von Glühlampen oft bereits nach wenigen 1000 Stunden erleben. Die geringen Alterungserscheinungen bei LEDs tragen zu den guten Zahlen bei. Ist also die Phase 1 der Frühausfälle überstanden, dauert es lange, bis Phase 3 erreicht wird. Dann jedoch wird der Anwender wieder mit der Problematik der komplizierten oder unmöglichen Reparatur konfrontiert. Bis dahin erfreuen LED-Produkte, gelegentliche Pflege vorausgesetzt, ihre Umgebung mit hoher Zuverlässigkeit.



LIGHT HUB – INTELLIGENTE INFRASTRUKTUR FÜR IHR SMART BUILDING.

Nur wer das Wissen hat, kann auch nachhaltig planen. Stehleuchten von Regent, die mit der intelligenten Infrastruktur Light Hub ausgestattet sind, bieten die zuverlässige Basis zur Beurteilung der Auslastung an Arbeitsplätzen sowie der Effizienz.

In die Leuchte integrierte Sensoren generieren in Echtzeit personenunabhängige Daten. Einmal erfasst, werden die Informationen cloudbasiert zur Verfügung gestellt.

Ideal für Light Hub geeignet sind Stehleuchten, insbesondere die innovative Lightpad. www.regent.ch/lighthub

Lebensdauerangaben

Vielfach liest man in Datenblättern von LED-Produkten: „Lebensdauer: 50 000 h“. Doch was heißt das eigentlich? Würde man eine LED-Leuchte ohne Unterbrechung in Betrieb nehmen, so würde sie nach dieser Angabe 5 Jahre, 8 Monate, 2 Wochen und 8 Stunden leuchten. Doch hat das jemand vorher ausprobiert oder gemessen? Die Annahme, dass es sich hier um eine gemessene Größe handeln könnte, trügt. So müsste der Hersteller fast 6 Jahre warten, um dann erst das Produkt mit verlässlichen Daten auf den Markt bringen zu können.

Bei LEDs ist mit der Lebensdauerangabe nicht der Totalausfall (wie etwa bei einer Glühlampe) gemeint. Dies würde die Bezeichnung „Mittlere Lebensdauer“ ausdrücken. Wie jedes andere Leuchtmittel auch, erfährt die LED im Laufe des Betriebs einen kontinuierlichen Lichtstromrückgang. Wie hoch dieser Rückgang nach der angegebenen Betriebsdauer genau ist, geht aus der oben genannten Zahl nicht hervor.

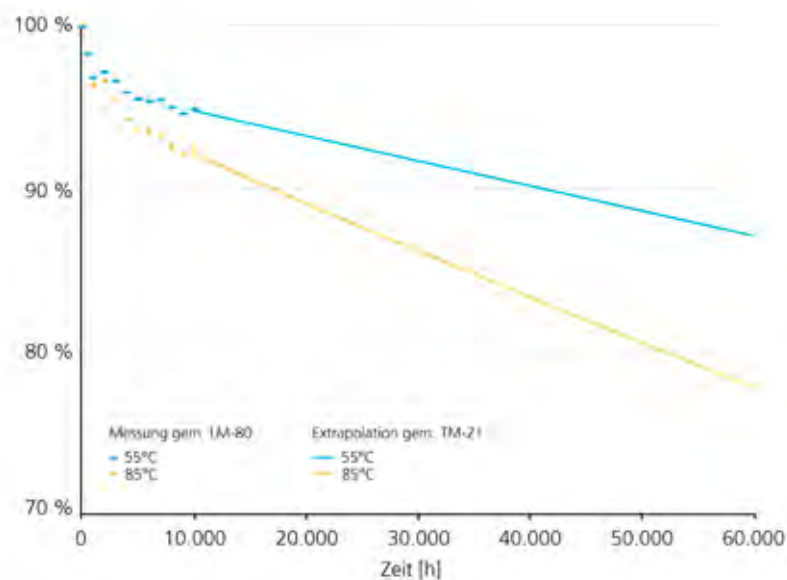
Der Lichtstromrückgang wird in der Regel entsprechend der amerikanischen Normen LM 80 und TM 21 bzw. TM 28 der IESNA ermittelt. Die LM 80 beschreibt dabei ein Messverfahren in Bezug auf das Lichtstromverhalten innerhalb der ersten 6000-10 000 Stunden unter verschiedenen thermischen Belastungen. Die TM 21 bzw. TM 28 beschreiben ein Rechenverfahren, wie man diese Messergebnisse auf bis zu 50 000 Stunden extrapolieren kann.

Man beachte jedoch, dass selbst nach diesem Verfahren zunächst eine Messung über mindestens 6000 Stunden (also 250 Tage) erfolgen muss, bevor man eine Aussage zur Lebensdauer treffen kann. Diese Methode wird allerdings seit geraumer Zeit von einigen Forschern kritisiert, da die Art der Extrapolation in Bezug auf die Lebensdauer von elektronischen Bauteilen angezweifelt wird.

Der Entwurf der DIN EN 62717: 2013-09 versucht an dieser Stelle, die Begrifflichkeiten zur Lebensdauer zu vereinheitlichen. Dort findet man Angaben wie zum Beispiel $L_{70} B_{50}$ oder $L_{70} B_{10}$ in Kombination mit der Lebensdauer in Stunden. Dabei bezieht sich „L“ auf den Lichtstromrückgang und „B“ auf die Anzahl der Produkte. „ $L_{70} B_{10} = 50\,000\text{ h}$ “ würde bedeuten: Nach einer Betriebsdauer von 50 000 Stunden erreichen 10 % der Produkte nur noch einen Lichtstrom von weniger als 70 % des Neuzustands. Wie hoch aber der Lichtstromrückgang der 10 % genau ist und wie der Lichtstromrückgang der verbleibenden 90 % ist, geht aus dieser Aussage nicht hervor. Leider beinhaltet diese Bezeichnung keine Aussage, wie hoch der Lichtstromrückgang nach 10 000 h, 20 000 h oder etwa 30 000 h ist, oder wie viele Totalausfälle zu erwarten sind.

Der Ausfall einzelner LEDs oder LED-Module in einer Leuchte wird in diesem Zusammenhang nicht als Totalausfall, sondern als Lichtstromrückgang der Leuchte betrachtet. Diese Betrachtung kann für den Planer oder Betreiber entscheidend sein, wenn es darum geht, etwaige Gewährleistungs- oder Garantieansprüche geltend zu machen.

In Datenblättern findet man teilweise auch eine Angabe wie „ $L_{80} = 40\,000\text{ h}$ “. Sofern nichts anderes angegeben wird und auf den Buchstaben „B“ verzichtet wird, kann man in der Regel



Verfahren zur Bestimmung der Lebensdauer von LEDs

(Quelle: DIAL)

davon ausgehen, dass „ B_{50} “ gemeint ist. Dies stellt auch der ZVEI in der Publikation „Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung“ so dar. In diesem Fall würde die Bezeichnung bedeuten: Nach einer Betriebsdauer von 40 000 Stunden, erreicht die Hälfte der Produkte noch einen Lichtstrom von mindestens 80 % des Neuzustands. Wie sich allerdings die verbleibende Hälfte verhält, bleibt unklar.

Möchte man etwas über den Ausfall des Produktes in Erfahrung bringen, so empfiehlt der Entwurf der DIN EN 62717 die Bezeichnung „ $L_0 C_y$ “, wobei mit „y“ der prozentuale Anteil der LEDs oder LED-Leuchten gemeint ist, der vom Totalausfall betroffen ist. Diese Angabe findet man jedoch in den Daten der Hersteller so gut wie nie. Letztlich ist aber jeder Hersteller frei darin, wie er die „Lebensdauer“ definiert, da keine Verpflichtung besteht, eine dieser Bezeichnungen zu verwenden. Produkte mit unterschiedlichen Angaben zur Lebensdauer, wie z. B. $L_{70} B_{50} = 50\,000\text{ h}$ und $L_{80} B_{10} = 30\,000\text{ h}$ sind für den Planer letztlich nicht vergleichbar. Um eine Vergleichbarkeit zu erzielen, bleibt es dem Anwender nicht erspart, ganz genau hinzusehen und ggfs. nachzufragen, was mit der angegebenen Lebensdauer gemeint ist.

Zahlreiche Hersteller bieten ihre LED-Produkte mit einer Garantie an, die über das gesetzlich vorgeschriebene Maß der Sachmangelhaftung hinausgeht. Dies sind vertrauensbildende Maßnahmen, um Skepsis gegenüber den Katalogversprechen aufzufangen. Es gibt einzelne Fälle, in welchen die Hersteller sogar bei ausgewählten Produkten die Farbstabilität und eine Degradation von maximal 30 % innerhalb von sieben Jahren oder 50 000 Betriebsstunden zusichern („Warranty, Terms & Conditions“ Xicato, Januar 2016).

In den vorangegangenen Abschnitten ist deutlich geworden, dass es einige, die Lebensdauer begrenzende Faktoren gibt. Umso wichtiger erscheint es, die Produkte mit längerer Garantie zu bevorzugen. Sicher, die ersten Ausfälle sind von den gesetzlichen Ansprüchen abgedeckt. Konstruktive Schwächen, welche eine vorzeitige Alterung oder Degradation nach sich ziehen (zum Beispiel durch mangelhaftes Thermomanagement) zeigen sich aber erst mit der Zeit.

Das Kleingedruckte lesen

Man sollte die Garantieverprechen der Hersteller etwas genauer betrachten. Jeder Hersteller zieht nach eigenem Ermessen die Grenze, ab wann seine freiwillige Garantieleistung in Anspruch genommen werden kann.

Einige Beispiele:

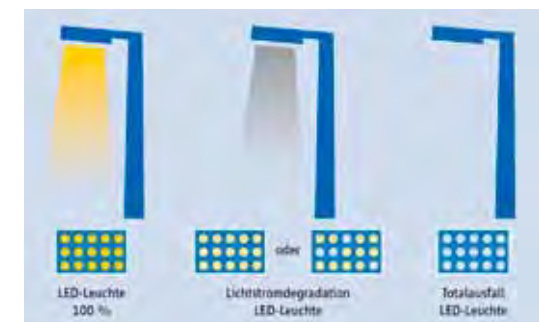
- Je 1 000 Betriebsstunden sind 0,6 % Lichtstromrückgang oder 5 % pro Jahr als Stand der Technik zu tolerieren.
- Farbortverschiebungen sind von der Garantie ausgenommen.
- Bereits im Neuzustand sind Toleranzen von +/- 10 %, also 20 % Streuung zu akzeptieren.
- Ausfälle von 0,2 % pro 1000 Betriebsstunden fallen nicht unter die Garantie.
- Die Betriebszeiten müssen nachgewiesen werden, ebenso die Wartung.
- Die Montage muss durch ein konzessioniertes Unternehmen erfolgt sein.
- Die Beleuchtungsanlage muss innerhalb von 90 Tagen ab Rechnungsdatum beim Leuchtenhersteller registriert werden.

Darüber hinaus ist in vielen Garantiebedingungen zu lesen, dass das Ersatzprodukt hinsichtlich Abmessung und Design vom ursprünglichen Produkt abweichen kann.

Die Hürden zur Inanspruchnahme der Garantie sind teilweise recht hoch, zudem zeigen die Hersteller ein unterschiedliches Verantwortungsbewusstsein hinsichtlich der Fehlerbeseitigung. Manche sehen sich auch in der Pflicht, bis zum Wiedereinbau durch einen Monteur Ersatz zu leisten, andere lehnen dies ab.

So gehen häufig sämtliche Nebenkosten einer Mängelbehebung (z. B. Ein- und Ausbau, Transport, Mietgebühren für Steighilfen, usw.) bei einer Garantieverfüllung zu Lasten des Käufers. Auch wenn die Farbortverschiebung nicht Bestandteil der Garantiebedingung ist, so sollte man dennoch versuchen, den Hersteller schriftlich zum Tausch der Produkte zu verpflichten, falls sichtbare Farbunterschiede auftreten. Viele Hersteller nehmen einen Austausch auf Basis der Kulanz vor. Allerdings drückt „Kulanz“ nur ein Wohlwollen des Herstellers aus und räumt dem Planer oder Kunden keinen Rechtsanspruch ein.

3.3. Garantien



Darstellung des Lichtstromrückgangs einer Leuchte

(Quelle: ZVEI)


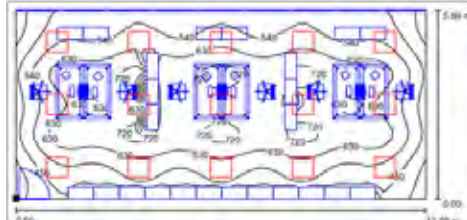
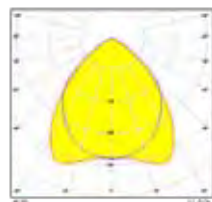
4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Internet gibt es zahlreiche Wirtschaftlichkeitsrechner für LED-Beleuchtung, die man häufig auf der Homepage von Herstellern findet. Leider sind einige dieser Rechenverfahren nicht sehr seriös, da unrealistische Annahmen getroffen werden oder einige relevante Punkte schlichtweg keine Berücksichtigung finden. Keine Frage: LEDs sind effizient. Aber wann rechnet sich eine Umrüstung und die damit verbundene Investition wirklich? Diese Rechnung muss für jedes Projekt individuell durchgeführt werden, um die Amortisationszeit herausfinden zu können. Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind kein „Hexenwerk“ und können von jedermann selbst mit ein wenig Sachverstand durchgeführt werden. Eine seriöse Berechnung kann allerdings nur dann durchgeführt werden, wenn man bei der Betrachtung folgende Punkte berücksichtigt:

- Sind die Systeme (Bestand und Neuanlage) wirklich vergleichbar?
Insbesondere sollten dabei folgende Aspekte berücksichtigt werden: Lichtstärkeverteilungskurven, Beleuchtungsstärke, Gleichmäßigkeit, Entblendung, Farbtemperatur, Farbwiedergabe,...
- Was kostet die Umrüstung mit LED-Leuchten?
- Zu welchen Konditionen muss ggf. ein Kredit aufgenommen werden?
- Um wie viele Betriebsstunden handelt es sich pro Jahr?
- Gibt es Präsenzmelder und/oder tageslichtabhängige Steuerungen, durch die die Betriebsstunden reduziert werden?
- Was kostet den Betreiber die Kilowattstunde?
- Wie ist die zu erwartende Lebensdauer?
- Was kostet beim konventionellen System ein Leuchtmittel?
- Wie aufwändig ist der Austausch von Leuchtmitteln beim konventionellen System?
- Mit welchen Kosten ist ein Austausch verbunden?
- Welche Wartungskosten sind zu erwarten?
- Dabei ist zu beachten, dass auch LED-Leuchten gewartet bzw. gereinigt werden müssen.

Diese Berechnung wird im Folgenden exemplarisch dargestellt. In unserem Beispiel handelt es sich um ein Gruppenbüro (6 Arbeitsplätze, 66 m², Raumhöhe: 3,00m, Höhe der Nutzebene: 0,75m). Präsenzmelder oder tageslichtabhängige Steuerungen werden hier aufgrund der Vereinfachung nicht berücksichtigt. Vergleicht man Alt gegen Neu, so muss man diese Komponenten fairerweise auch bei der Altanlage mit berücksichtigen, wenn es um die reine Effizienzbetrachtung der LED-Leuchten geht.

Fall 1:
Altbestand,
T26 Rastereinbauleuchten,
quadratisch

| | |
|---|--|
|  |  |
| Wartungswert der mittleren Beleuchtungsstärke E_{mittel} | 588 lx |
| Gleichmäßigkeit U_0 | 0,54 |
| Leuchtenstückzahl | 15 |
| Lichtstärkeverteilungskurve |  |
| Lampen pro Leuchte | 4 x T 26, 18 W |
| Systemleistung pro Leuchte | 86 W |
| Leuchtenlichtstrom | 3290 lm |
| Farbtemperatur | 4000 K |

Fall 2:
Umrüstung mittels
LED-Einbauleuchten mit Mikro-
prismatik (gleiches Einbaumaß
wie Bestand)


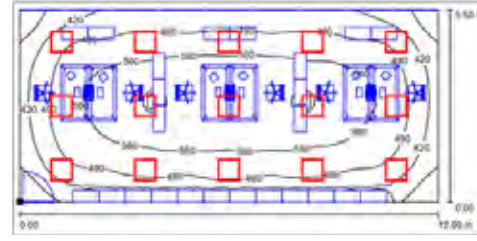
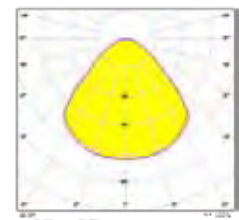

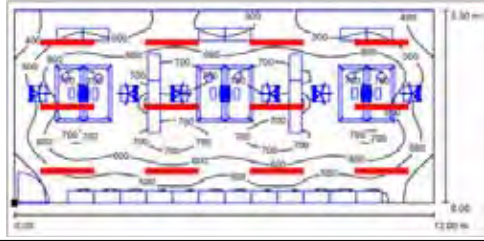
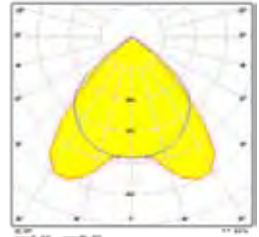
| | |
|---|---|
|  |  |
| Wartungswert der mittleren Beleuchtungsstärke E_{mittel} | 506 lx |
| Gleichmäßigkeit U_0 | 0,57 |
| Leuchtenstückzahl | 15 |
| Lichtstärkeverteilungskurve |  |
| Lampen pro Leuchte | LED eingebaut |
| Systemleistung pro Leuchte | 30 W |
| Leuchtenlichtstrom | 3000 lm |
| Farbtemperatur | 4000 K |

Tabelle Vergleich Fall 1/ Fall 2


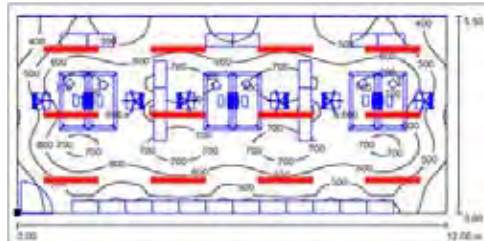
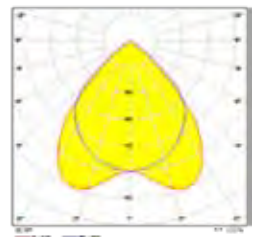
Die Beispielrechnung zeigt, dass im oben dargestellten Szenario erst nach rund 7 Jahren die Kosten der Umrüstung durch die eingesparten Stromkosten gedeckt werden. Dies, obwohl die Bestückung des Bestands mit 4xT26, 18 W recht unwirtschaftlich ist. Der Grund liegt maßgeblich an den immer noch recht hohen Anschaffungskosten von LED-Leuchten.

| | Fall 1 T 26 Rastereinbau- leuchten, quadratisch | Fall 2 LED-Einbauleuchten, Microprismen |
|----------------------------------|---|--|
| Kosten Leuchten | 15 Bestandsleuchten | 15 x 297,40 € (Bruttopreis 2016) abzgl. 30 % Rabatt = 3 122,70 € |
| Kosten Leuchtmittel | 15 x 4 x 2 x 1,59 € (T26, 18W, 840), 1350 lm, 20 000 h = 190,80 € | -- |
| Installationskosten (Geselle) | (2 x Lampenwechsel, Reinigung) 1,5 h x 2 x 45 € = 135 € | 10 h x 45 € = 450 € |
| Differenz | -3 246,90 € (-91%) | |
| Systemleistung | 15 x 86W = 1290W | 15 x 30W = 450W |
| Betriebsstunden p. a. | 2 750 h | 2 750 h |
| Annahme Stromkosten / kWh | 0,20 € | 0,20 € |
| Stromkosten p. a. | 709,50 € | 247,40 € |
| Differenz p. a. | | -462,00 € p.a. |

**Fall 3:
Bestand T 16
Langfeldleuchten
mit Raster**

| | |
|---|--|
|  |  |
| Wartungswert der mittleren Beleuchtungsstärke E_{mittel} | 577 lx |
| Gleichmäßigkeit U_o | 0,53 |
| Leuchtenstückzahl | 12 |
| Lichtstärkeverteilungskurve |  |
| Lampen pro Leuchte | 1 x T16, 49W HO |
| Systemleistung pro Leuchte | 54 W |
| Leuchtenlichtstrom | 3998 lm |
| Farbtemperatur | 4000 K |

**Fall 4:
LED-Langfeldleuchten
mit Raster**

| | |
|---|--|
|  |  |
| Wartungswert der mittleren Beleuchtungsstärke E_{mittel} | 582 lx |
| Gleichmäßigkeit U_o | 0,53 |
| Leuchtenstückzahl | 12 |
| Lichtstärkeverteilungskurve |  |
| Lampen pro Leuchte | LED eingebaut |
| Systemleistung pro Leuchte | 45 W |
| Leuchtenlichtstrom | 4006 lm |
| Farbtemperatur | 4000 K |

| | Fall 3 T 16 Langfeldleuchten mit Raster | Fall 4 LED-Langfeldleuchten mit Raster |
|--|---|--|
| Kosten Leuchte | 12 Bestandsleuchten | 12 x 373,40 € (Bruttopreis 2016) abzgl. 30 % Rabatt = 3 136,56 € |
| Kosten Leuchtmittel | 12 x 3 x 2,45 € (Bruttopreis 2016) (T16, 49 W 840 HO, 24000 h) = 88,20 € | -- |
| Installationskosten (Geselle) | (2x Lampenwechsel, Reinigung) 1,5 h x 2 x 45 € = 135 € | 15 h x 45 € = 675 € |
| Differenz | - 3 588,36 € (-93,8 %) | |
| Systemleistung | 12 x 54 W = 648 W | 12 x 45 W = 540 W |
| Betriebsstunden p. a. | 2 750 h | 2 750 h |
| Annahme Stromkosten / kWh | 0,20 € | 0,20 € |
| Stromkosten p. a. | 356,40 € | 297,00 € |
| Differenz p. a. | | - 59,40 € (-16 %) |

Tabelle Vergleich Fall 3/ Fall 4

Dieses Rechenbeispiel zeigt, dass sich unter bestimmten Umständen eine Umrüstung nicht rentiert. Dies ist immer dann der Fall, wenn bereits ein sehr wirtschaftliches System im Einsatz ist. Im Beispiel würden erst nach rund 60,5 Jahren die Kosten der Umrüstung durch die eingesparten Stromkosten gedeckt werden.

Ökonomisches Fazit

Die genannten Beispiele dienen lediglich der Sensibilisierung, welche Faktoren bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berücksichtigt werden sollten. Es gibt auch viele Fälle, in denen sich eine Umrüstung bereits nach kurzer Zeit rentiert. Ganz entscheidend schlagen hier die Investitionskosten und die Betriebszeit zu Buche. Je höher die Betriebszeit, desto eher rechnet sich eine Umrüstung. Dies ist auch der Grund, warum die LED-Beleuchtung für den privaten Wohnbereich aus ökonomischen Aspekten in der Regel nicht interessant ist. Dennoch ist die LED-Technologie ganz klar in sämtlichen Bereichen der Beleuchtung auf dem Vormarsch und bereits in wenigen Jahren wird man nur noch von LED-Beleuchtung sprechen.

5. HCL – Human Centric Lighting

In letzter Zeit hat sich im Marketing vieler Leuchtenhersteller der Begriff „HCL-Human Centric Lighting“ gerade in Verbindung mit LED-Leuchten manifestiert.

So gibt es die „Standard-Lichtplanung“ und die „HCL-Lichtplanung“. Doch was genau hat es damit auf sich?

Zunächst einmal bedeutet der Begriff „Human Centric Lighting“ wörtlich genommen, dass der Mensch im Mittelpunkt der Lichtplanung steht.

Dies entspricht dem Leitsatz „form follows function“, der im Bereich der Architektur durch Louis Sullivan geprägt wurde. Die Gestalt und Formgebung von Architektur, aber auch von Alltagsgegenständen, ist niemals Selbstzweck, sondern leitet sich aus der Funktion ab.

Diese Denkweise sollte selbstverständlich generell für jede Lichtplanung gelten – so versucht man ja mit einer Lichtplanung zu erreichen, dass der Mensch einer visuellen Tätigkeit am Arbeitsplatz ohne Probleme nachgehen kann, dass er sich in seiner Umgebung wohlfühlt, dass er sich leichter orientieren kann, dass Angstzonen vermieden werden, usw....

HCL bedeutet jedoch noch mehr. In Zusammenhang mit der Lichtplanung bedeutet HCL, dass die Kunstlichtplanung die circadiane Rhythmik des Menschen unterstützen soll. Eine Lichtplanung also, welche der Gesundheit und dem Wohlbefinden des Menschen förderlich ist. Eigentlich müsste es daher genauer heißen: „Human Health Centric Artificial Lighting“. Viele Leuchtenhersteller haben erkannt, wie wichtig das Thema Gesundheit für die Branche ist. Im Jahr 2014 wurden allein in Deutschland insgesamt 328 Mrd. Euro für Gesundheit ausgegeben. (Quelle: Statistisches Bundesamt).

Das Gesundheitswesen in Deutschland war im Jahre 2013 lt. Robert Koch Institut mit 11,2 % des Bruttoinlandsproduktes einer der umsatzstärksten Wirtschaftsbereiche. Es gibt viele Indikatoren, die darauf hinweisen, dass das Thema Gesundheit – insbesondere die Prävention – von großem Interesse für private Haushalte, aber auch Arbeitgeber ist.

Wie funktioniert HCL?

Die Netzhaut des menschlichen Auges enthält neben den Zapfen und Stäbchen, die maßgeblich der visuellen Wahrnehmung dienen, auch sog. intrinsische, photosensitive, retinale Ganglienzellen (ipRGC). Man hat im Jahr 2007 herausgefunden, dass diese Zellen Melanopsin enthalten, somit lichtsensitiv sind.

Das Empfindlichkeitsmaximum für die melanopische Lichtwirkung liegt bei einer Wellenlänge von 490nm (blau). Das bedeutet, dass Melanopsin bei dieser Wellenlänge besonders gut angeregt wird.

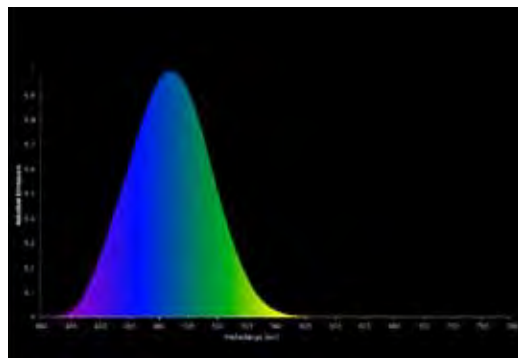
Diese Anregung hat wiederum zur Folge, dass unmittelbar eine Unterdrückung (Suppression) der Ausschüttung des Hormons Melatonin in der Zirbeldrüse stattfindet. Das Hormon Melatonin spielt im circadianen Rhythmus des Menschen eine große Rolle. Insbesondere am Abend, wenn man müde wird, enthält unser Blut eine hohe Melatoninkonzentration. Melatonin wird während des Schlafes abgebaut, so dass der Melatoninspiegel am Morgen wesentlich geringer ist. Zur Melatoninsuppression trägt aber auch das Tageslicht (insbesondere in den Morgenstunden) mit seinem hohen Blauanteil bei.

„Human Centric Lighting“ zielt nun darauf ab, mit verschiedenen Farbtemperaturen und teilweise auch Beleuchtungsstärken eine Art „Tageslichtverlauf“ nachzustellen, um dem Menschen, der meist ohnehin unter chronischem Tageslichtmangel leidet, eine Art Ausgleich zu bieten. Häufig geht es hier in erster Linie um die Aktivierung des Menschen, d. h. um die Melatoninsuppression mittels neutral- oder kaltweißer Lichtfarben.

Realisiert wird dies mit Leuchten, die unterschiedliche Farbtemperaturen enthalten, welche separat voneinander regelbar sind, häufig „tuneable white“ genannt. Meist ist bei diesen Produkten eine entsprechende Steuerung hinterlegt, so dass sich Lichtfarbe und Beleuchtungsstärke entsprechend des Tageslichtverlaufs automatisch anpassen.

Grundsätzlich handelt es sich bei HCL nicht um eine Lichtplanung, die nur mit LEDs realisiert werden kann. HCL gab es auch schon vor zehn Jahren mit Leuchtstofflampen.

LEDs bieten hier allerdings viele Vorteile, da sie in verschiedenen Farbtemperaturen verfügbar sind und sich diese aufgrund des meist sehr kompakten Bauraumes gut nebeneinander in Leuchten integrieren lassen.



Wirkungsspektrum für die melanopische Lichtwirkung $S_{mel}(\lambda)$, gem. DIN SPEC 5031-100: 2015-08

(Grafik: DIAL)

Im Ansatz richtig, in der Umsetzung teilweise fragwürdig

Grundsätzlich ist der Ansatz, den HCL verfolgt, zu befürworten. Leider wird die HCL-Lichtplanung in der Praxis oft nur „halbherzig“ umgesetzt und das Ziel verfehlt. Die folgenden Punkte sollten bei einer circadian wirksamen Lichtplanung daher beachtet werden.

LEDs mit tageslichtähnlichem Spektrum?

Man darf nicht den Fehler machen und annehmen, dass LEDs „Tageslicht“ erzeugen könnten. Das Spektrum des Tageslichtes ist im Vergleich zum Spektrum von LEDs grundlegend verschieden – egal, um welche Farbtemperatur es sich handelt. Weiße LEDs haben einen Peak im Spektrum bei einer Wellenlänge im Bereich von ca. 450-460nm. Da dieser Bereich sehr nah am Maximum für die melanopische Lichtwirkung von 490nm liegt, sind sie generell gut geeignet, um das Melanopsin anzuregen. Dies betrifft warmweiße LEDs in gleicher Weise, auch wenn der Peak umso ausgeprägter ist, je höher die Farbtemperatur ist.



„Human Centric Lighting“ zielt darauf ab, mit verschiedenen Farbtemperaturen und teilweise auch Beleuchtungsstärken eine Art „Tageslichtverlauf“ nachzustellen, um dem Menschen, der meist unter chronischem Tageslichtmangel leidet, eine Art Ausgleich zu bieten

Zu geringe Beleuchtungsstärken

Außerdem darf man nicht vernachlässigen, dass an Arbeitsplätzen in Innenräumen nur ein Bruchteil der Beleuchtungsstärke herrscht, die im Außenraum vorkommt. Die Beleuchtungsstärke bei Tag im Freien schwankt von ca. 3000lx an einem trübem Wintertag bis hin zu mehr als 100 000lx bei direktem Sonnenlicht. Ein Büroarbeitsplatz hingegen wird nach ASR A 3.4 und DIN EN 12464-1 mit gerade einmal 500lx beleuchtet. Höhere Beleuchtungsstärken tragen eher dazu bei, den Menschen zu aktivieren. Letztlich ist entscheidend, wie viel Beleuchtungsstärke tatsächlich auf der Netzhaut des menschlichen Auges ankommt. Ein Niveau, welches auch beim trübem Tag im Außenraum herrscht, lässt sich aus energetischen Gründen im Innenraum allerdings häufig kaum realisieren. Dennoch muss man die obligatorischen 500lx nur als absolute Mindestanforderung betrachten.

Großflächig arbeiten

Entscheidend ist in diesem Zusammenhang auch, dass man bei der Beleuchtung größere Flächen im Gesichtsfeld des Menschen berücksichtigt. Circadiane Wirksamkeit kann sicherlich nicht mit einer Leuchte punktuell realisiert werden.

SYMBI
LOGIC

SYSTEMLÖSUNG FÜR DIE INTELLIGENTE INNENBELEUCHTUNG

Raumbelichtungssystem mit Konstantlichtregelung und Option für biologisch wirksames Licht

NEU „NOVA QUADRO-SET“ DECKEINLEGELEUCHTEN-SYSTEM

NOVA erzeugt für den Nutzer zu jeder Zeit das passende Arbeitslicht. Master- und Slaveleuchten realisieren dank intelligentem Lichtmanagement und integrierter Sensorik eine präsenz- und tageslichtabhängige Konstantlichtregelung. Integrierte Lichtsensoren in jeder Leuchte optimieren die Tageslichtnutzung - für höchste Energieeffizienz und das verbindliche Einhalten von ASR-Vorgaben.

OPTIONAL MIT ESYLUX SYMBOLOGIC TECHNOLOGY

Für ein biologisch wirksames Licht, das durch tageslichtähnliche Lichtverläufe die Vitalität, das Konzentrationsvermögen und die Gesundheit des Menschen stärkt. Human Centric Lighting bei optimaler Energieeffizienz.

ESYLUX – OFFIZIELLER PARTNER DES TAGESLICHTS.

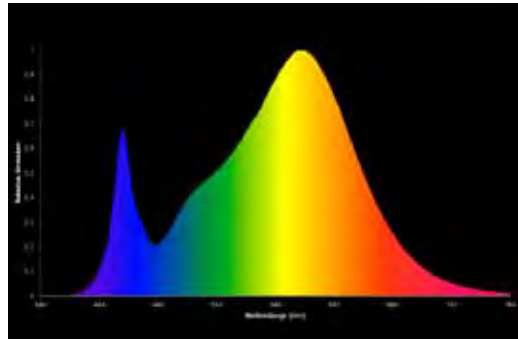
- Schnellste Installation per Plug-and-play (RJ 45)
- Höchste Energieeffizienz durch optimale Tageslichtnutzung
- In den Lichtfarben 3000 K, 4000 K oder Tunable White
- Erweiterbar über 4 integrierte DALI-Schnittstellen
- Bedienung per 230V-Taster oder Bluetooth und App
- Individualität durch Übersteuerung und Szenen
- Direkt integrierbar in KNX-Gebäudeautomation



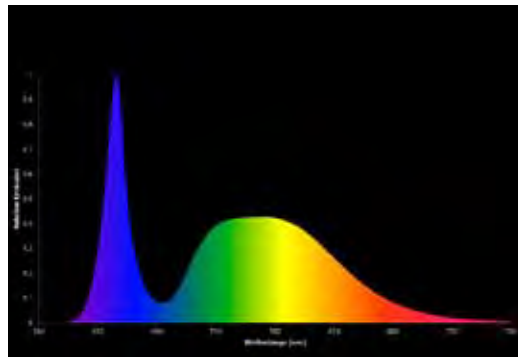
nova.lighting/de/de

PERFORMANCE FOR SIMPLICITY

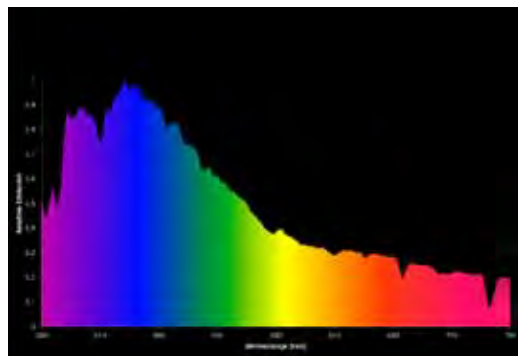
ESYLUX Deutschland GmbH | vertrieb@esylux.de | www.esylux.de



Spektrale Verteilung einer LED mit einer Farbtemperatur von 3000 K (Grafik: DIAL)



Spektrale Verteilung einer LED mit einer Farbtemperatur von 5000 K (Grafik: DIAL)



Spektrale Verteilung des blauen Himmels am Morgen mit einer Farbtemperatur von ca. 18000 K (Grafik: DIAL)

Dieser Planungsansatz findet seine Entsprechung im Außenraum, da das diffuse Himmelslicht ebenfalls einen großen Teil im Gesichtsfeld des Menschen einnimmt.

Gerade wenn es um die Aktivierung des Menschen mit neutral- oder kaltweißen Lichtfarben mittels indirekter Beleuchtung geht, sollte dies beachtet werden.

Berücksichtigung der Lichtrichtung

Bei der Aktivierung spielt die großflächige Beleuchtung im oberen Halbraum (z. B. durch eine Indirektbeleuchtung) eine große Rolle, da sie biologisch wirksamer ist als im unteren Halbraum. Dieses Licht erreicht nämlich die untere Hälfte der Netzhaut, in der sich die meisten ipRGCs befinden. Dies ist mit dem diffusen, kaltweißen Himmelslicht im Freien vergleichbar (ähnlichste Farbtemperatur ca. 10 000-25 000K).

Nach Sonnenuntergang sollte man allerdings die flächige kaltweiße Beleuchtung im oberen Halbraum vermeiden, sofern man den Menschen nicht bewusst aktivieren möchte.

In diesem Fall sollte man warmweiße Beleuchtung verwenden. Allerdings ist auch hier die Lichtrichtung zu beachten. Eine warmweiße Indirektbeleuchtung mit einer ähnlichsten Farbtemperatur von 3000K wirkt unnatürlich und befremdlich, da sie in der Natur – mit Ausnahme beim roten Sonnenuntergang – so nicht vorkommt. Hier kann es vorteilhaft sein, mit warmweißer Akzentuierung zu arbeiten, die den oberen Halbraum ganz bewusst dunkel erscheinen lässt – ähnlich wie der dunkle Himmel im Außenraum.

Dynamik berücksichtigen

Auch wenn in der Arbeitswelt in erster Linie die Aktivierung des Menschen durch künstliche Beleuchtung beabsichtigt ist, so sollte man auch zu bestimmten Tageszeiten versuchen, den Menschen zur Ruhe kommen zu lassen. Eine Aktivierung mit kaltweißer Beleuchtung zur falschen Zeit kann zu Schlafstörungen führen. Außerdem hat die permanente Aktivierung nichts mit dem natürlichen circadianen Rhythmus zu tun.

Generell sollte das Tageslicht als Vorbild herangezogen werden. Hier herrscht eine permanente Dynamik in Bezug auf die Beleuchtungsstärke und die Farbtemperatur. Diese sollte man versuchen, auch bei einer HCL-Lichtplanung zu berücksichtigen. Allerdings sollten sich die Wechsel niemals abrupt, sondern langsam und unmerklich vollziehen, wie in der Natur auch.

Einige Ansätze zur biologisch wirksamen Beleuchtung bietet die DIN SPEC 67600: 2013-04 mit ihren Planungsempfehlungen. Statistisch signifikant konnte in Studien belegt werden, dass eine gut umgesetzte HCL-Beleuchtung im Bereich der Industrie die Produktivität der Mitarbeiter um ca. 10% steigern kann.

Dennoch sollte man das „echte“ Tageslicht nicht unterschätzen. Der Weg zur Arbeit in der Morgensonne oder ein kleiner Spaziergang während der Mittagspause im Freien tragen zum Wohlbefinden des Menschen sicherlich mehr bei als die beste HCL-Beleuchtung am Arbeitsplatz. Auch die beste HCL-Lichtplanung ist kein „Ersatz“ für das echte Tageslicht.

LEDs sind immer effizient

Die Lichtausbeute von LEDs kann sehr unterschiedlich sein. Viele aktuelle Produkte haben jedoch Lichtausbeuten, die höher sind als die von vergleichbaren konventionellen Lichtquellen. Als Vergleichsgröße kann die Lichtausbeute (lm/W) dienen, allerdings muss dabei auch immer das Spektrum betrachtet werden.

LEDs sind ökologisch sinnvoll

LEDs können aufgrund ihrer Effizienz einen Beitrag zur Einsparung elektrischer Energie leisten. Auch wenn sie frei von Quecksilber sind, enthalten sie jedoch zahlreiche elektronische Komponenten, die ebenfalls aus bedenklichen Stoffen bestehen können. Dadurch, dass LEDs bisweilen in Lebensbereichen eingesetzt werden, wo zuvor kein Licht war, tragen sie andererseits auch zur Erhöhung des Bedarfs an elektrischer Energie bei.

LEDs haben eine extrem lange Lebensdauer

Die Lebensdauer von LEDs hängt maßgeblich von der Temperatur am p-n-Übergang im Innern der LED ab. Bleibt diese aufgrund geringer Leistungsdichte oder eines angemessenen Thermomanagements niedrig, dann kann die Lebensdauer extrem lang sein, z. B. 100 000 h. Betreibt man die LED jedoch bei sehr hoher Junction-Temperatur, dann kann die Lebensdauer auch extrem kurz sein, z. B. wenige Sekunden. Neben dem LED-Chip können jedoch noch zahlreiche Bauteile, die zur Steuerung und zum Betrieb nötig sind, defekt gehen und zum Ausfall der LED führen, obwohl diese noch funktionsfähig wäre.

LEDs produzieren keine UV- bzw. IR-Strahlung

Die von LEDs erzeugte Strahlung ist immer sehr schmalbandig. Die für die Allgemeinbeleuchtung eingesetzten blauen LEDs vom Typ InGaN haben z. B. ihre Peakwellenlänge bei ca. 450-460 nm. Da die spektrale Verteilung auf beiden Seiten stark abfällt, ist quasi keine ultraviolette und fast keine infrarote Strahlung vorhanden. Jedoch sind am Markt ebenfalls UV- und IR-LEDs erhältlich.

LEDs sind für alle Bereiche hervorragend geeignet

LEDs eignen sich für viele Anwendungsbereiche ganz hervorragend. Jedoch sind manche Umgebungsbedingungen und bestimmte Applikationen ganz und gar nicht für das Leuchtmittel LED prädestiniert, z. B. sehr hohe Temperaturen oder sehr hohe Leistungsdichten.

LEDs werden nicht warm

Diese Aussage galt in der Vergangenheit (und gilt immer noch) für LEDs mit geringen Leistungen bzw. geringen Leistungsdichten. Dies gilt übrigens für alle anderen Leuchtmittel in gleicher Weise. Da die LEDs heute jedoch hohe Leistungen von etlichen W auf wenigen cm² erreichen, werden sie sehr heiß und müssen zwingend gekühlt werden. Die an der Kühlung beteiligten Komponenten sowie angrenzende Bauteile können sehr heiß werden.

LEDs sind winzig klein und lassen sich überall einbauen

Die LED-Chips sind in der Tat sehr klein. Solange aufgrund der Leistungsdichte keine besonderen Maßnahmen zur Kühlung ergriffen werden müssen, bietet die Industrie vielfältige Systeme, die man an nahezu alle Orte einbauen kann. Sobald die Leistungsdichte jedoch steigt, nehmen die zur Kühlung nötigen Komponenten einen erheblichen Raum ein.

LEDs erzeugen ein dem Sonnenlicht ähnliches Licht

Vergleicht man die Lichtfarbe zwischen Sonne und einer 5800 K LED, dann können sie sich tatsächlich ähnlich sein. Betrachtet man jedoch das gesamte Spektrum und vergleicht die Farbwiedergabeeigenschaften, dann unterscheiden sich die beiden Lichtquellen ganz erheblich.

Konventionelle Lampen kann man 1:1 gegen LED-Retrofits austauschen

Der Markt bietet für so gut wie jeden konventionellen Lampensockel, z. B. für E14, E27, GU10, GY6,35, GU4, GU5.3, G5, G13, um nur die wichtigsten zu nennen, eine LED-Variante an. Allerdings kann dies zu erheblichen Problemen führen, von der Absenkung des Beleuchtungsniweaus aufgrund eines geringeren Lichtstroms bis hin zum Erlöschen der Produkthaftung des Leuchtenherstellers, in dessen Leuchte das Retrofit eingebaut wurde. In vielen Fällen ist deshalb trotz geometrischer Kompatibilität des Sockels von einem Austausch abzuraten.

6. Behauptungen und Fakten



LED Stripes kommen aufgrund ihrer Konstruktion und Leistungsdichte ohne Kühlung aus (Foto: DIAL)

7. Glossar

LEDs mit derselben Farbtemperatur sehen immer gleich aus

Diese Aussage trifft leider – mit Ausnahme von Glühlampen – auf keine technische Lichtquelle zu. Die Farbtemperatur, gemeint ist eigentlich die „ähnlichste Farbtemperatur“, ist keine präzise Angabe einer Lichtfarbe. Insbesondere die Leuchtstoff konvertierenden weißen LEDs unterliegen großen Fertigungsschwankungen und es bedarf großer Anstrengungen beim nachgelagerten Selektionsverfahren (Binning), halbwegs gleiche Lichtfarben auszufiltern. Je nach Qualität der Sortierung sehen dann die Lichtfarben von LEDs gleich aus oder eben nicht. Die alterungsbedingten Einflüsse kommen dann noch dazu und sorgen in vielen Fällen für sichtbare Farbunterschiede.

LEDs sind blendfrei

Ob eine Lichtquelle blendet oder nicht, ist eine komplexe Fragestellung, die anhand zahlreicher Parameter untersucht werden muss, z. B. der Leuchtdichte der Lichtquelle, der Leuchtdichte der Umgebung, etc. Das Licht von LEDs lässt sich aufgrund ihrer Kompaktheit sehr gut kontrollieren und dementsprechend lassen sich die Leuchten auch sehr gut entblenden. Andererseits sorgt die hohe Leuchtdichte der LED-Chips beim direkten Einblick für eine Herabsetzung der Sehleistung, also Blendung.

LED-Beleuchtung muss man mit speziellen Empfängern messen

Mit einem gut an die spektrale Hellempfindung des Menschen (V_{λ}) angepassten Fotometer kann jede beliebige Lichtquelle gemessen werden, auch alle LED-Lichtquellen. Anbietern, die dennoch angeblich speziell auf LED-Lichtquellen angepasste Messgeräte bewerben, sollte man kritisch gegenüber stehen.

LED-Beleuchtung kann durch ihr Flimmern Kopfschmerzen, Unwohlsein und Schlafstörungen auslösen

Als Flimmern bezeichnet man das schnelle periodische Erhellern und Abdunkeln einer Lichtquelle. Alle Lampen, die nicht mit Gleichspannung betrieben werden, flimmern. Aufgrund der hohen Betriebsfrequenz ist dieses Flimmern vom menschlichen Auge jedoch nicht wahrnehmbar. Das Auge kann nämlich eine Bild- oder Lichtblitzfolge oberhalb eines Bereichs zwischen 15...80 Hz (je nach Leuchtdichte, Rezeptortypen auf der Netzhaut, individuelle Empfindlichkeit) nicht mehr wahrnehmen, die einzelnen Helligkeitsreize verschmelzen zu einem durchgehenden. Diese Grenze wird auch Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF) genannt. Die Frage, inwieweit nicht sichtbares Flimmern von künstlichen Lichtquellen zu einer gesundheitlichen Beeinträchtigung führt, wird kontrovers diskutiert. Unstrittig dabei ist, dass Frequenzen knapp oberhalb der FVF kritischer zu bewerten sind, als sehr hohe Frequenzen, z. B. im Kilohertzbereich.

LEDs flimmern im Dimmbetrieb

Ungeachtet der Flimmerproblematik im nicht sichtbaren Bereich, ist sichtbares Flimmern oder gar Takten in jedem Fall inakzeptabel und stellt neben möglichen gesundheitlichen Risiken eine enorme Beeinträchtigung des Sehkomforts und der Sehleistung dar. Da LEDs häufig mit der Puls-Weiten-Modulation (PWM) betrieben werden, besteht bei zu geringer Betriebsfrequenz die Gefahr des Flimmerns, insbesondere im peripheren Bereich der Netzhaut.

Binning:

Industriell eingesetztes Selektionsverfahren, bei dem LEDs in gleiche Farb-, oder Lichtstromklassen eingeteilt werden.

Degradation:

Rückgang des Lichtstroms von LED Modulen bzw. LED Leuchten. Eine kontinuierliche Degradation tritt als Alterungserscheinung im Laufe der Betriebszeit auf. Sie kann aber auch Folge eines fehlerhaften Betriebs sein (zu hohe Bestromung der LEDs) oder widriger Umgebungsbedingungen (hohe thermische Belastung).

Farbtemperatur:

Die Körpertemperatur eines Temperaturstrahlers, welche zur Beschreibung seiner Lichtfarbe dient. Einheit: Kelvin (K). Je geringer der Zahlenwert, umso rötlicher, je höher der Zahlenwert umso bläulicher ist die Lichtfarbe.

Farbwiedergabeindex:

Der allgemeine Farbwiedergabeindex R_a ist eine dimensionslose Kennzahl, welche die Qualität einer Weißlichtquelle hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit bei den Remissionsspektren von definierten acht Testfarben (> DIN 6169) zu einer Referenzlichtquelle beschreibt.

IESNA:

Die IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) ist die Nordamerikanische Beleuchtungskommission. Sie ist für die nordamerikanische Normung im Bereich der Beleuchtung verantwortlich.

Kollimator:

Ein optisches Bauteil, welches das diffuse, von LEDs abgestrahlte Licht parallelisiert.

Lichtausbeute:

Das Verhältnis von abgestrahlter Lichtleistung zu aufgenommener elektrischer Leistung, Einheit: lm/W. Dieses Verhältnis kann für die Lampe (Lampenlichtausbeute), die Lampe mit Betriebsgerät (Systemlichtausbeute) und die komplette Leuchte (Leuchtenlichtausbeute) gebildet werden.

MacAdam Ellipse:

Farbraum, dargestellt im CIE (1931) Farbraum, innerhalb dessen keine sichtbare Farbabweichung zu einem Referenz-Farbart auftritt.

Mittlere Lebensdauer:

Die Betriebsdauer in Stunden (h), nach der 50 % einer Population von Leuchtmitteln oder Leuchten ausgefallen ist (Totalausfall). Diese Bezeichnung macht nur in Zusammenhang mit Glühlampen Sinn, da LEDs und Gasentladungslampen von einem kontinuierlichen Lichtstromrückgang betroffen sind, aber bis zum Totalausfall etliche zehntausend Betriebsstunden vergehen können.

Peakwellenlänge:

Die Wellenlänge, bei der das Strahlungsmaximum einer Lichtquelle liegt.

Wartungsfaktor:

Zahlenwert zwischen 0 und 1, der das Verhältnis vom Neuwert einer fotometrischen Planungsgröße (z. B. der Beleuchtungsstärke) zu einem Wartungswert nach einer bestimmten Zeit beschreibt. Er berücksichtigt die Verschmutzung von Leuchten und Räumen, sowie den Lichtstromrückgang und den Ausfall von Lichtquellen.



LED Leuchten mit der gleichen ähnlichsten Farbtemperatur und der gleichen Artikelnummer, aus der gleichen Charge, können visuell unterschiedliche Farbeindrücke hervorrufen (Foto: DIAL)



Für Mitarbeiter und Kunden Human Centric Lighting im Edeka Markt

Auch wenn Kunden und Mitarbeiter im Edeka Markt nicht bemerken, wie sich die Farbtemperatur und Intensität der Beleuchtung verändert, so wirkt sie sich doch auf das Wohlbefinden aus. Insbesondere dort, wo längere Aufenthaltszeiten in geschlossenen Bereichen nicht zu vermeiden sind.



Foto: Christoph Meinschäfer

links: Gerade im Kassensbereich ist der Einsatz von Kunstlicht, das dem Tageslichtverlauf in Farbtemperatur und Intensität nachempfunden ist, sehr sinnvoll. Den größten Blauanteil hat die Beleuchtung in der Mittagszeit

Beleuchtungslösungen mit tageslichtähnlichem Lichtverlauf, welche die biologischen Wirkungen von Licht kennen und anwenden, fassen Experten unter dem Begriff Human Centric Lighting (kurz: HCL) zusammen. Der Edeka Markt Köpper im niedersächsischen Nierendorf arbeitet im Kassens- und Eingangsbereich mit diesem Konzept. Die zonierte Beleuchtung sorgt für Orientierung im Markt. Im Eingangsbereich beginnend wurde so ein sanfter Übergang der äußeren Lichtverhältnisse ins Kunstlicht geschaffen. Im Kassensbereich, in dem die Mitarbeiter viele Stunden sitzen und daher am stärksten dem künstlichen Licht ausgesetzt sind, ändert sich die Lichtfarbe und Lichtintensität tageslichtsynchon. So ahmt die künstliche Beleuchtung den natürliche Tageslichtverlauf nach und folgt damit dem menschlichen Biorhythmus. Morgens und abends hat das Kunstlicht eine geringere Intensität und wärmere Lichtfarbe, während es mittags die höchste Intensität und kühlste Lichtfarbe aufweist. Durch die „Blauanteile“ im Licht verbessert sich die Leistungsfähigkeit und Konzentration und sorgt zudem für weniger Müdigkeit, weil die Ausschüttung des Schlafhormons Melatonin dadurch unterdrückt wird. Speziell für die Mitarbeiter wurde auch der Aufenthaltsraum mit HCL ausgestattet.

Gesteuert werden diese Bereiche über ein DALI-Lichtmanagementsystem bestehend aus einem DALI-Interface und einem Clock Modul. Ausgestattet ist das Clock Modul mit integrierter Batterie gepufferter Echtzeit zur Steuerung des circadianem Verlaufs der Lichtfarbe und

Helligkeit. Es wurden LED-Einbau- und Pendelleuchten mit dekorativer, opaler Acrylglas-Abdeckwanne zur gleichmäßigen und flächigen Ausleuchtung verwendet. Die Anschlussleistung variiert je nach Betriebsmodus zwischen 47 und maximal 94 W bei einer Lichtausbeute von 91 lm/W. Auf der Verkaufsfläche schaffen 4000 K eine frische, kühle Atmosphäre. Auch hier ändert sich die Intensität der Beleuchtung tageslichtsynchon. Die Lichtfarbe bleibt hier allerdings durchgängig bestehen. Obst und Gemüse sowie die Weinabteilung verwandelten die Lichtexperten mit warmem Licht von 2 700K und 4 000 lm in entspannende Einkaufszonen.

Inhaber Thomas Köpper: „Uns liegt daran, dass sich sowohl die Mitarbeiter als auch die Kunden im Markt rundum wohlfühlen. Mit HCL eröffnet sich für uns damit eine völlig neue Möglichkeit!“

Infobox

Inhaber: Thomas Köpper
Lichtplaner: Ute Pelzer, Oktalite Lichttechnik
Beleuchtung Kassensbereich: LiventyAct Flat (Lichtstrom bis 8600 lm, Anschlussleistung im Circadian-Betriebsmodus 47 W, Lichtausbeute Leuchte 91 lm/W)
Beleuchtung Gang: E-Line Lichtbandsystem (Lichtstrom 8300 lm, Anschlussleistung 63 W, Lichtausbeute Leuchte 132 lm)



Fotos: Thorn Lighting

Die Leuchte Thor wurde von Thorn speziell für Kopenhagen entwickelt. Leuchtdichten, Beleuchtungsstärken und Farbwiedergabe sind an moderne Anforderungen angepasst worden. Intelligente Steuerungssysteme für vernetzte Lösungen können integriert werden und sich mit verschiedenen Kommunikationsgeräten und Kameras kompatibel

Ziel: Klima- neutrale Stadt Intelligentes Licht für die Smart City Kopenhagen/DK

Kopenhagen möchte weltweit die erste klimaneutrale Stadt werden. Startschuss zu dieser ehrgeizigen Zielsetzung war das Jahr 2013. Auch die Umstellung der Beleuchtung auf LED und entsprechende, intelligente Steuerungen gehören zu den geplanten Maßnahmen.

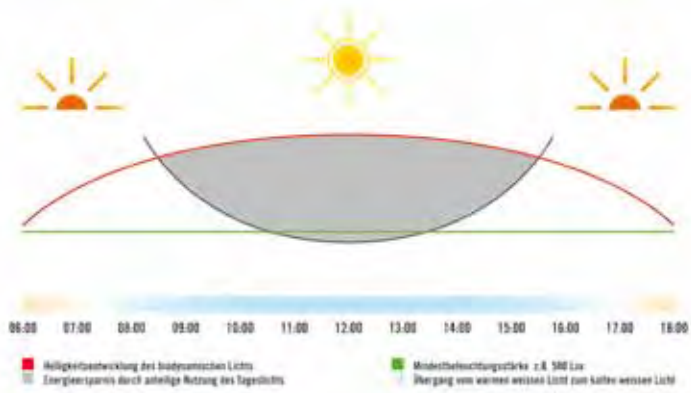


Die Ziele der Öresundregion Kopenhagen-Malmö sind ehrgeizig: Öresund soll zu Europas attraktivster und klimaintelligentester Region werden. Kopenhagen nutzt die Chance, die sich durch den Einsatz von LEDs bietet und hat schon im Jahre 2013 das Projekt in Angriff genommen seine Beleuchtung zu erneuern. Die bestehenden Leuchten mit veralteten Natriumdampf-Hochdrucklampen in Kopenhagens Wohngebieten und Hauptstraßen sollten mit einer effizienten LED-Lösung ersetzt werden, um so möglichst große Energie- und CO₂-Einsparungen zu realisieren. Die Technik- und Umwelt-Abteilung der Stadt definierte neben der Energieeffizienz vor allem Parameter der Lichtqualität, die zu erfüllen waren. Sie sollen die Sicherheit erhöhen und dem Charakter der unterschiedlichen Stadtviertel Kopenhagens gerecht werden. Die Leuchten sollten außerdem eine den ehemaligen Lampen ähnliche, weiche Lichtverteilung haben, um das typische Stadtbild zu erhalten. Vorausschauend geplant sollte die Integration von Lichtsteuerung und Verkehrsdaten möglich sein, um die Beleuchtungsstärke in der Zukunft der Straßennutzung anzupassen. Auch war die Integration in das zentrale Managementsystem für die effektive Steuerung und Kontrolle der Straßenbeleuchtung in der Ausschreibung gefordert. Das Projekt, inklusive intelligenter Lichtsteuerung wird vom Unternehmen Citelum geleitet. Zum Einsatz kommt eine projektspezifische LED-Straßenleuchte, die sich für alle gewünschten Montagevarianten eignet. Sie bietet eine Systemeffizienz von 97 llm/W. Seit Beginn des Jahres 2016 sind 20 000 Straßenleuchten ausgetauscht. In den Abendstunden wird die Stadt nun nicht mehr in ein orangefarbenes Licht getaucht, sondern in weißes. Dieses Licht, hat eine erheblich bessere Farbwiedergabe von R_a 80 und

bietet Beleuchtungsstärken von 2,5 bis 15 lx. Der bewusste Umgang mit Licht ermöglicht nun eine bedarfsgerechte Beleuchtung, je nach städtebaulicher Situation. Stark befahrene Straßen erhalten helles weißes Licht. In der Nacht wird selbstverständlich gedimmt, damit sich die Nachtruhe auch im Verkehr widerspiegeln kann. Derzeit wird alles vorbereitet, um die Leuchten zukünftig abhängig vom Tageslicht zu steuern. Eine andere Option besteht darin, die Beleuchtung mit den Verkehrsmanagementdaten zu verknüpfen und die Beleuchtungsstärke – ohne Einschränkung der Sicherheit – an die Verkehrsdichte und den Straßenzustand anzupassen. Dann würden bei geringerer Verkehrsauslastung die Leuchten, die mit der „Wet Road“-Optik ausgestattet und so speziell für eine gute Ausleuchtung nasser Straßen optimiert sind, mit 30 - 70% Lichtstrom gedimmt betrieben. Auch die radfahrerfreundliche Verkehrspolitik lässt sich durch integrierte Sensorik- und Kamerasysteme verbessern. So können Radfahrer unterstützt werden, um ihnen die ruhigste und schnellste Route mit „grüner Welle“ zu signalisieren.

Infobox

Bauherr: Municipality of Copenhagen, Technical and Environmental Administration
Lichtplaner: Citelum, Paris/FR
Steuerung: SilverSpring Networks
Leuchten und Leuchtmittel: Thor von Thorn, LED (Lichtausbeute 97 llm/W Systemeffizienz, Farbtemperatur je nach Anwendungsbereich)



Intelligentes Arbeitslicht

Die Dynamik des Tageslichts nachzuempfinden wird durch die Kombination von Beleuchtung und Automation möglich. Mit dem NOVA Quadro-System von ESYLUX steht eine LED-Systemlösung für das typische Rastermaß von Bürodecken zur Verfügung. Die Basis-Sets bestehen aus Master- und Slaveleuchten und realisieren mit integrierter Sensorik und intelligentem Lichtmanagement entweder eine präsenz- und tageslichtabhängige Konstantlichtregelung oder das biologisch wirksame Licht der SymbiLogicTechnology. Auch hier wird Tageslicht energieeffizient mitgenutzt, was das NOVA-System ebenso wie dessen Plug-and-play-Installation zu einer Nachrüstlösung macht.

ESYLUX Deutschland GmbH
22926 Ahrensburg
Tel.: 04102 489-0
info@esylux.de
www.esylux.com



Light Hub für smarte Optimierung

Der Light Hub ist eine Infrastruktur, die den Einsatz intelligenter Services für mehr Effizienz ermöglicht. Bei Open Space Offices oder Desksharing Konzepten sind aktuelle Daten über Auslastung und Effizienz Gold wert. So kann die Anzahl der tatsächlich notwendigen Büroarbeitsplätze optimiert werden. Stehleuchten von Regent mit Sensorik und Bluetooth zur Übertragung bieten in Verbindung mit der Auswertungssoftware die Basis zur Beurteilung der Auslastung an Arbeitsplätzen sowie des Energieverbrauchs. Einmal erfasst, werden die Daten über ein zentrales Gateway auf der Regent- oder Kunden-Cloud abgelegt, wo sie jederzeit vom Kunden ausgewertet werden können.

Regent Beleuchtungskörper AG
4018 Basel/CH
Tel.: +41 61 3355111
info.bs@regent.ch
www.regent.ch



Reduzierte Form

Zur Light+Building 2016 stellte Occhio gemeinsam mit Audi Industrial Design die ersten Ergebnisse ihrer Kooperation vor: Sintesi. Für die Leuchtenfamilie steht die Idee des modularen Systems von Occhio Pate: Ein head kann auf unterschiedliche bodies gesteckt werden und bietet für verschiedene Anforderungen die richtige Lichtlösung. Die LED-Technologie, die auch bei Audi-Scheinwerfern angewendet wird, nimmt in der Sidelight Version Gestalt an. Das Licht wird mithilfe eines Lichtleiters so umgelenkt, dass sich ein gleichmäßig verteiltes Licht ergibt. Die Zoom-Version bietet eine einstellbare Linsenoptik für präzise Lichtgestaltung. Die Markteinführung ist für 2017 geplant.

Occhio GmbH
81667 München
Tel.: 089 44778630
info@occhio.de
www.occhio.de

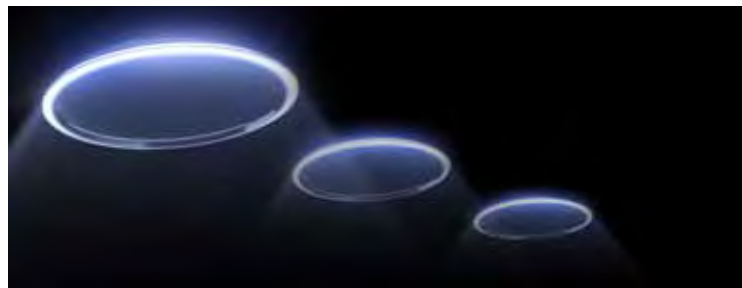


Leitbild für digitales Arbeitslicht

ERCO entwickelte die Arbeitsplatzleuchte Lucy für das anspruchsvolle Umfeld von Lesesälen, Mediatheken oder Büros. Eine schlanke vertikale Stele von ca. 75 cm Höhe verteilt aus drei abgeblendeten Lichtaustritten breit strahlendes Licht präzise und gleichmäßig auf der horizontalen Arbeitsfläche. Lucy lässt sich intuitiv bedienen und in der Helligkeit regeln, der Schaft ist zur Ausrichtung des Lichtkegels um 180° drehbar. Die optischen Systeme befinden sich zurückgesetzt im Inneren der Leuchte, selbst bei Einblick in flachem Winkel wird so eine vollständige Blendbegrenzung erzielt. Als Lichtquellen dienen Hochleistungs-LEDs mit 10 W Anschlussleistung.

ERCO GmbH
58507 Lüdenscheid
Tel.: 02351 551 0
info@erco.com
www.erco.com

Lichtspiel

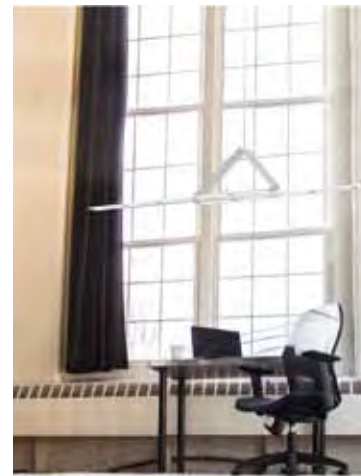


Aus der Kooperation von Artemide mit Mercedes-Benz ist die Leuchte Ameluna entstanden. Sie kommt ohne zentrale Lichtquelle aus. Der untere Rand der Leuchte ist von einem seidenmatten, transparenten Aluminiumband eingefasst, das als Träger für 288 LEDs fungiert. Das Licht strahlt mit einer Leistung von 44 W nach unten und wird teilweise durch den transparenten Korpus gestreut. Diese Streuung beruht auf einer Lösung der Artemide-Forschung im optoelektronischen Bereich. Für ganz persönliche Lichtstimmungen lässt sich Ameluna dimmen. In der Highend-Version ist die Pendelleuchte mit einem zusätzlichen RGBW-Strahler erhältlich.

Artemide GmbH
58730 Fröndenberg
Tel.: 02373 975-0
info@artemide.de
www.artemide.de

Junges Licht von jungen Köpfen

Regiolux hat auf der Light+Building 2016 mit capio eine neue Pendelleuchte mit OLED-Technologie vorgestellt. Ähnlich einer Lichtinstallation eröffnet die OLED-Leuchte Möglichkeiten der Beleuchtung mit flächigem und blendfreiem Licht. Mit ihrem nur 13 mm dünnen Leuchtgehäuse erreicht die capio OLED eine hohe Lichtqualität, die für anspruchsvolle Office-Beleuchtung geeignet sein soll. Das Design entstand in enger Zusammenarbeit mit Professor Peter Raab und Studierenden des Studiengangs „Integriertes Produktdesign“ der Hochschule Coburg. Im Rahmen des Hochschul-Projekts „Junge Köpfe für junges Licht“ hat Regiolux den Entwurf von Rebecca



Hippeli, Johannes Zurwesten und Andreas Vater serienreif umgesetzt. Die Form der Leuchte ergibt sich aus der Faltung der zu einem Band angeordneten rechteckigen OLED-Module. Über DALI lässt sich jede einzelne der zehn direkt strahlenden OLED-Module ansteuern. Die capio OLED ist auf Anfrage lieferbar.

Regiolux GmbH
97486 Königsberg
Tel.: 09525 89 0
info@regiolux.de
www.regiolux.de

Für ganzheitliche Lichtkonzepte



Designer Burkhard Schlee entwarf für Waldmann die LED-Leuchtenfamilie IDOO für den Bürobereich. Der Direktanteil der IDOO.pendant sorgt für ein gleichmäßiges, blendfreies Licht am Bildschirmarbeitsplatz, während der breitstrahlende Indirektanteil ein angenehmes Lichtambiente schafft. Das Linearsystem IDOO.line mit direktem und indirektem Lichtaustritt sowie effizienzsteigernder Reflektortechnologie ermöglicht eine normgerechte, homogene Büroausleuchtung. Dank des modularen Systemaufbaus lassen sich verschiedene Start-, Mittel- und Endleuchten miteinander verbinden. Dabei bietet das LED-System eine Lichtausbeute von 105 lm/W.

Herbert Waldmann GmbH & Co. KG
78056 Villingen-Schwenningen
Tel.: 07720 601-0
info@waldmann.com
www.waldmann.com

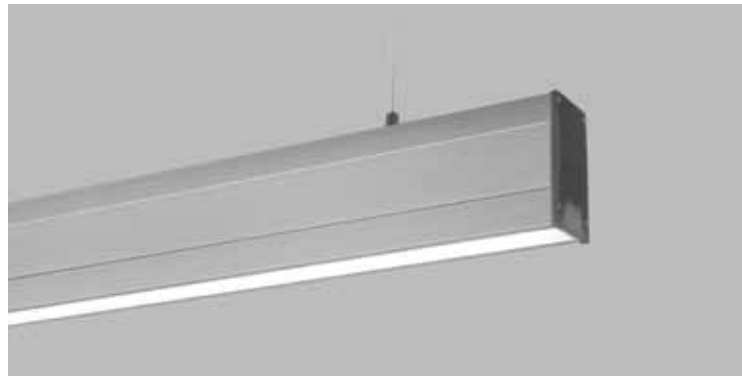
LED-Schreibtischleuchte

Trace ist eine kompakte Leuchte für Büroschreibtische. Ein schlanker Arm trägt den ausgeprägten Leuchtenkopf, der die Form einer Superellipse hat, eines Rechtecks mit runden Ecken. Der Leuchtenkopf kann durch einen Dekorring ergänzt werden, der in drei kräftigen Farben verfügbar ist. Die Leuchte ist mit einem 6 W LED-Modul ausgestattet und standardmäßig komplett dimmbar. Der An- und Ausschalter funktioniert dabei auch als Dimmer. Der Schalter befindet sich auf der Oberseite des Lampenkopfes. Die Tischleuchte wird auch in einer Version mit USB-Ladegerät angeboten, die zugehörige Schnittstelle ist in ihren Fuß integriert. Trace verwendet aktuelle LEDs, die helles,



warmes Licht erzeugen und eine Lebensdauer von über 50 000 Stunden haben. Das bedeutet 25 Jahre und mehr bei normaler Anwendung im Büro. Das Leuchtmittel muss dabei nicht ausgetauscht werden.

Glamox Luxo Lighting GmbH
31135 Hildesheim
Tel.: 05121 - 70 60 0
office.de@glamoxluxo.com
www.glamox.com



Modulare Bauform

Die Besonderheit des linearen LED-Lichtkanalsystems ModuLin® besteht darin, dass in das Aluminiumprofil eine nicht sichtbare Klappe integriert ist. Diese ermöglicht eine einfache und schnelle Installation bzw. Wartung ohne Demontage der Leuchte.

Die stabile Bauform lässt zudem große Spannweiten und eine Vielzahl an Ausstattungsvarianten wie direkte/indirekte Lichtverteilung mit unterschiedlichen Ausstrahlcharakteristiken, Sensorik, Notbeleuchtung und Stromschieneneinheiten zu. Das als Pendelleuchte konzipierte Kanalsystem lässt sich alternativ auch als Ein- oder Aufbauvariante einsetzen. Die ModuLin® gibt Lichtplanern und Architekten die nötige Flexibilität, mit Licht und Funktionalitäten zu spielen.

Ludwig Leuchten GmbH & Co. KG
86415 Mering
Tel.: 08233 387 - 0
vertrieb@ludwig-leuchten.de
www.ludwig-leuchten.de



Beleuchtung in der Industrie 4.0

Die Mirona Fit LED ist eine Beleuchtung für anspruchsvolle Industrie-Umgebungen. Dank der Lebensdauer von 50000 Stunden, selbst bei Umgebungstemperaturen von bis zu 70°C wird der Produktionsprozess nicht von teuren Wartungsunterbrechungen gestört. Für optimale Sehbedingungen können Abstrahlcharakteristik und Lumenpakete individuell nach Anforderungen gewählt werden. Die 52000 lm starke Version macht sogar 2:1 Sanierungen möglich. Zudem lässt sie sich mit Lichtmanagementsystemen verbinden. Die Einbindung in intelligente Steueretzwerke gibt die Möglichkeit zur Qualitätssteigerung und Kostensenkung indem kontinuierlich ausgewertete Betriebsparameter anzeigen, wann und wo die Wartung der Leuchten erforderlich ist.

TRILUX GmbH & Co. KG
59759 Arnsberg
Tel.: 02932 301 0
info@trilux.de
www.trilux.com

Mobile Leuchte

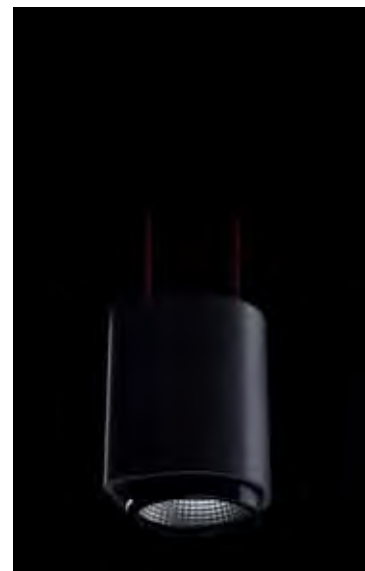


Die Lese- und Tischleuchte Roxane Leggera CL (CL steht für cableless light) lässt sich über einen magnetischen Lade-Puck an das Stromnetz koppeln und aufladen. Außerdem lässt sich die Leuchte serienmäßig über einen USB-C-Anschluss aufladen. Bei vollständig aufgeladenem Akku spendet sie bis zu 100 Stunden lang zuverlässig Helligkeit (400 bis 600lm, 800lm im Boost-Modus). Eine gut sichtbar in den Leuchtenfuß integrierte Ladestandanzeige gibt jederzeit den Füllstand des Akkus.

Nimbus Group GmbH
70469 Stuttgart
Tel.: 0711 63301420
info@nimbus-group.com
www.nimbus-group.com

Für professionelle Ansprüche

Innerhalb des Produktprogramms positioniert BÄRO die ID-Leuchten als Spitzenmodelle. Die Strahler, Einbau- und Pendelleuchten orientieren sich sowohl am professionellen Einsatz in der Retailarchitektur als auch am Bedarf von Ausstellungen und Galerien. Als flexibles System mit mehreren Leistungsstufen, Lichtverteilungen und der für BÄRO spezifischen Vielfalt von 12 unterschiedlichen LED-Spektren bietet die ID-Leuchterserie für jede Anforderung eine passende Beleuchtungslösung. Die Kombination von Reflektor- und Linsensystemen erzeugt einen ausgewogenen Kontrast zwischen dem Schwerpunkt und dem Hof des Lichtkegels. Unterschiedliche Reflektoren in Kombination mit teilsatiniertem Abschlussgläsern erlauben saubere und weiche, aber definiert abgegrenzte Lichtkegel. Die LED-Module sind mit drei Leistungsstufen und 12 verschiedenen LED-Spektren erhältlich – davon vier Standardlichtfarben und acht Speziallichtfarben, abgestimmt auf die Eigenfarben unterschiedlichster Applikationen.



BÄRO GmbH & Co. KG
42799 Leichlingen
Tel.: 02174 799 0
info@baero.com
www.baero.com



Per Fingertip zum richtigen Lichtstrom

Basis der Leuchte EMDEN ist ein schwenkbares Schutzrohr, das ein lineares LED-Modul und einen Aluminiumreflektor aus MIRO-SILVER® aufnimmt. Zusammen mit dem Dichtungssystem von NORKA schützt das Rohr zuverlässig und langfristig die innenliegende Lichttechnik. Mit zwei unterschiedlichen Längen orientiert sich die LED-Leuchte an den Dimensionen klassischer T8-Leuchtstofflampen. Diese Ähnlichkeit der Bauform erleichtert die Umrüstung vorhandener Anlagen auf moderne LED-Technik. Beim 1200mm langen Modell kann der Lichtoutput z. B. zwischen 3220 lm und 5380 lm variiert werden (26 ... 44W).

NORKA
Norddeutsche Kunststoff- und Elektrogesellschaft Stäcker mbH & Co. KG
Lichttechnische Spezialfabrik
22335 Hamburg
Tel.: 040 51 30 09 0
info@norka.de
www.norka.de

Der einfache Weg zur modernen Beleuchtung



Mit der neu entwickelten Produktfamilie CorePro LED PLC gibt es jetzt Retrofit-LED-Lampen als Alternative für Kompaktleuchtstofflampen in Downlight-Applikationen. Sie ermöglichen eine einfache Modernisierung der Beleuchtung, ohne dass an den vorhandenen Leuchten etwas geändert werden müsste. Für die Anwender bedeutet der Wechsel zur LED-Technologie

nicht mehr Aufwand als ein schlichter Lampenwechsel.

Durch niedrige Betriebskosten und geringen Wartungsaufwand eignen sich die Retrofits vor allem in den typischen Anwendungsbereichen etwa in Hotellobbys, Foyers, Shops, Treppenhäusern oder Wartezimmern mit ihren langen Brennzeiten. Die Philips CorePro LED PLC ist nicht aus Glas, sondern aus stoßfestem Kunststoff gefertigt. Es gibt sie in den Längen herkömmlicher Kompaktleuchtstofflampen mit 18 und 26 W entweder mit Zwei- oder Vierstiftsockeln.

Philips Lighting GmbH
22335 Hamburg
Tel.: 040 28 99 0
www.lighting.philips.de

DBZ.de

DBZ Deutsche BauZeitschrift
64. Jahrgang 2016

Verlag und Herausgeber:
Bauverlag BV GmbH,
Postfach 120,
33311 Gütersloh
www.bauverlag.de

Chefredaktion:
Dipl.-Ing. Burkhard Fröhlich
Telefon: +49 5241 80-2111
E-Mail: burkhard.froehlich@dbz.de
(verantwortlich für den redaktionellen Inhalt)

Stellv. Chefredaktion:
Dipl.-Ing. Sandra Greiser
Telefon: +49 5241 80-3096
E-Mail: sandra.greiser@dbz.de

Redaktion:
Dipl.-Ing. Beate Bellmann
Telefon: +49 5241 80-2857
E-Mail: beate.bellmann@dbz.de

Dipl.-Ing. Sarah Centgraf
Telefon: +49 5241 80-2119
E-Mail: sarah.centgraf@dbz.de

Benedikt Kraft MA
Telefon: +49 5241 80-2141
E-Mail: benedikt.kraft@dbz.de

Dipl.-Ing. (FH) Inga Schaefer
Telefon: +49 5241 80-41360
Email: inga.schaefer@dbz.de

Dipl.-Des. Sonja Schulenburg
Telefon: +49 5241 80-2637
E-Mail: sonja.schulenburg@dbz.de

Redaktionsbüro:
Stefanie van Merwyk
Telefon: +49 5241 80-2125
E-Mail: stefanie.vanmerwyk@dbz.de

Fachbeirat:
Dipl.-Volkswirtin Marianne LeGans, Berlin
Prof. Dr.-Ing. Klaus Bollinger, Frankfurt a. M.
Dipl.-Ing. Architekt Hartmut Miksch, Düsseldorf
Dipl.-Ing. Architekt Alfred Schelenz, Köln
Dipl.-Ing. Helmut Zenker, Denzlingen

Korrespondenten:
Italien: Clemens F. Kusch, Venedig
Niederlande: Michael Koller, Den Haag
USA: Prof. M. Arch. Frank F. Drewes, San Francisco
Deutschland: Dipl.-Ing. Robert Mehl, Aachen
Dipl.-Ing. Michael Brüggemann, Mainz
Dipl.-Ing. Susanne Kreykenbohm, Hannover

Zeichnungen:
Gitta Frantz-Ratzke, Marion Stricker-Timm

Layout:
Nicole Bischof, Kerstin Berken, Anja Limberg,
Kristin Nierodzik, Lilli Pfaffenroth

Head of Sales:
(verantwortlich für den Anzeigenteil)
Andreas Kirchgessner
Telefon: +49 5241 80-2322
E-Mail: andreas.kirchgessner@bauverlag.de
Herbert Walhorn
Telefon: +49 5241 80-2232
E-Mail: herbert.walhorn@bauverlag.de

Gültig ist die Anzeigenpreisliste Nr. 60 vom 01.10.2015

Auslandsvertretungen:
Frankreich:
International Media Press & Marketing,
Marc Jouanny
Telefon: +33 143 553397,
Telefax: +33 143 556183
Mobil: +33 608 975057
E-Mail: marc.jouanny@wanadoo.fr

Italien:
CoMediA, Vittorio C. Garofalo
Piazza Matteotti 17/5,
16043 Chiavari
Telefon: +39 0185 323860
Mobil: +39 335 346932
E-Mail: vittorio@comediasrl.it

Geschäftsführer:
Karl-Heinz Müller
Telefon: +49 5241 80-2476

Verlagsleiter:
Markus Gorisch
Telefon: +49 5241 80-2513

Abonnementbetreuung und Leserservice:
Telefon: +49 5241 80-90884
Telefax: +49 5241 80-690880,
E-mail: leserservice@bauverlag.de

Marketing und Vertrieb:
Michael Osterkamp
Telefon: +49 5241 80-2167

Abonnements können direkt beim Verlag oder bei jeder Buchhandlung bestellt werden. Bauverlag BV GmbH, Postfach 120, 33311 Gütersloh, Deutschland

Bezugspreise und -zeit:
Die DBZ erscheint mit 12 Ausgaben pro Jahr. Jahresabonnement (inkl. Versandkosten):
Inland € 185,00
Studenten € 93,00
Ausland € 193,00
die Lieferung per Luftpost erfolgt mit Zuschlag Einzelheft € 21,00 (zuzüglich Versandkosten)
Kombipreis DBZ/Bauwelt € 360,30
DBZ/Bauwelt Ausland € 369,88

Ein Abonnement gilt für ein Jahr und verlängert sich danach jeweils um ein weiteres Jahr, wenn es nicht schriftlich mit einer Frist von drei Monaten zum Ende des Bezugszeitraums gekündigt wird.

Veröffentlichungen:
Zum Abdruck angenommene Beiträge und Abbildungen gehen im Rahmen der gesetzlichen Bestimmungen in das alleinige Veröffentlichungs- und Verarbeitungsrecht des Verlages über. Überarbeitungen und Kürzungen liegen im Ermessen des Verlages. Für unaufgefordert eingereichte Beiträge übernehmen Verlag und Redaktion keine Gewähr. Die inhaltliche Verantwortung mit Namen gekennzeichnete Beiträge übernimmt der Verfasser. Honorare für Veröffentlichungen werden nur an den Inhaber der Rechte gezahlt. Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung oder Vervielfältigung ohne Zustimmung des Verlages strafbar. Das gilt auch für das Erfassen und Übertragen in Form von Daten. Die Allgemeinen Geschäftsbedingungen finden Sie vollständig unter www.bauverlag.de.

BDB Die DBZ Deutsche Bauzeitschrift ist Organ des BDB Bund Deutscher Baumeister, Architekten und Ingenieure e.V., Berlin. Die Mitglieder erhalten mit dem Bezug der DBZ die BDB-Verbandsinformationen (BDB-Info). Der Bezug der DBZ ist im Mitgliedsbeitrag des BDB enthalten.

Litho:
Typografika, Bielefeld

Druck:
L.N. Schaffrath, Geldern

Kontrolle der Auflagenhöhe erfolgt durch die Informationsgemeinschaft zur Feststellung der Verbreitung von Werbeträgern (IVW). Mitglied der Arbeitsgemeinschaft Leseranlyse Architekten und Bauingenieure (agla a+b)

K 8471
ISSN 0011-4782

