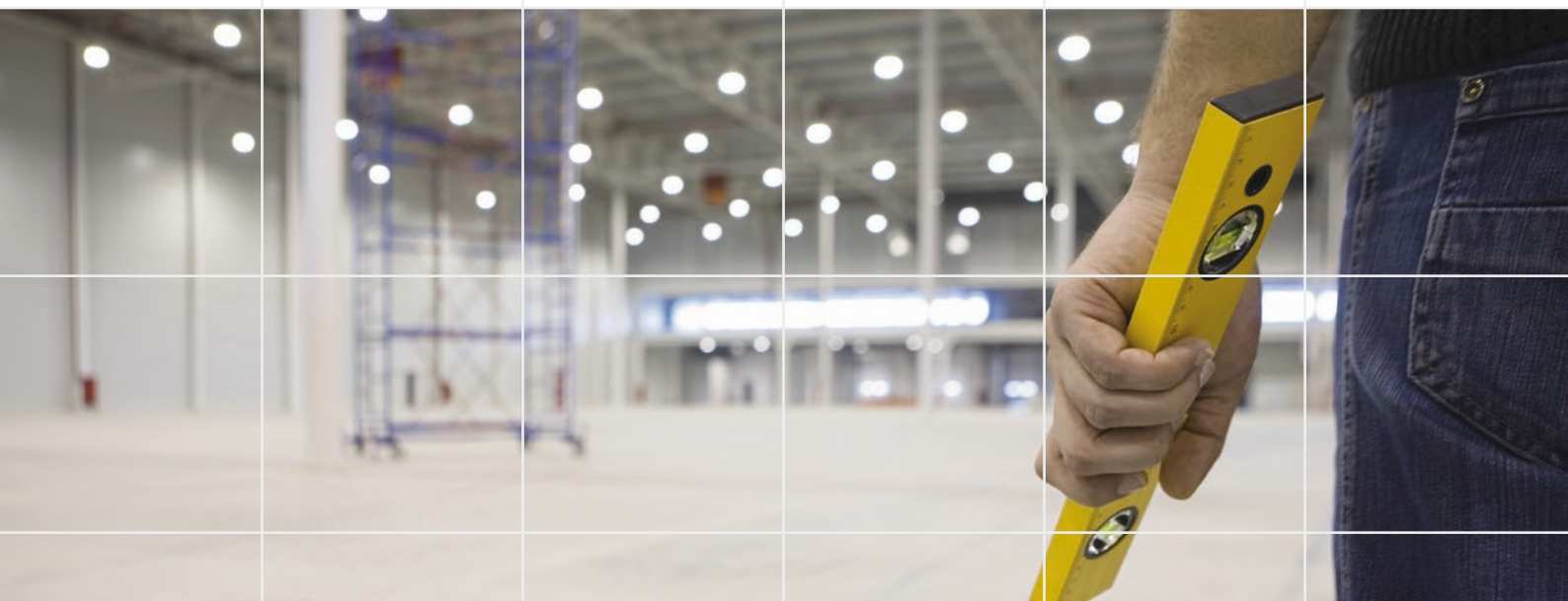


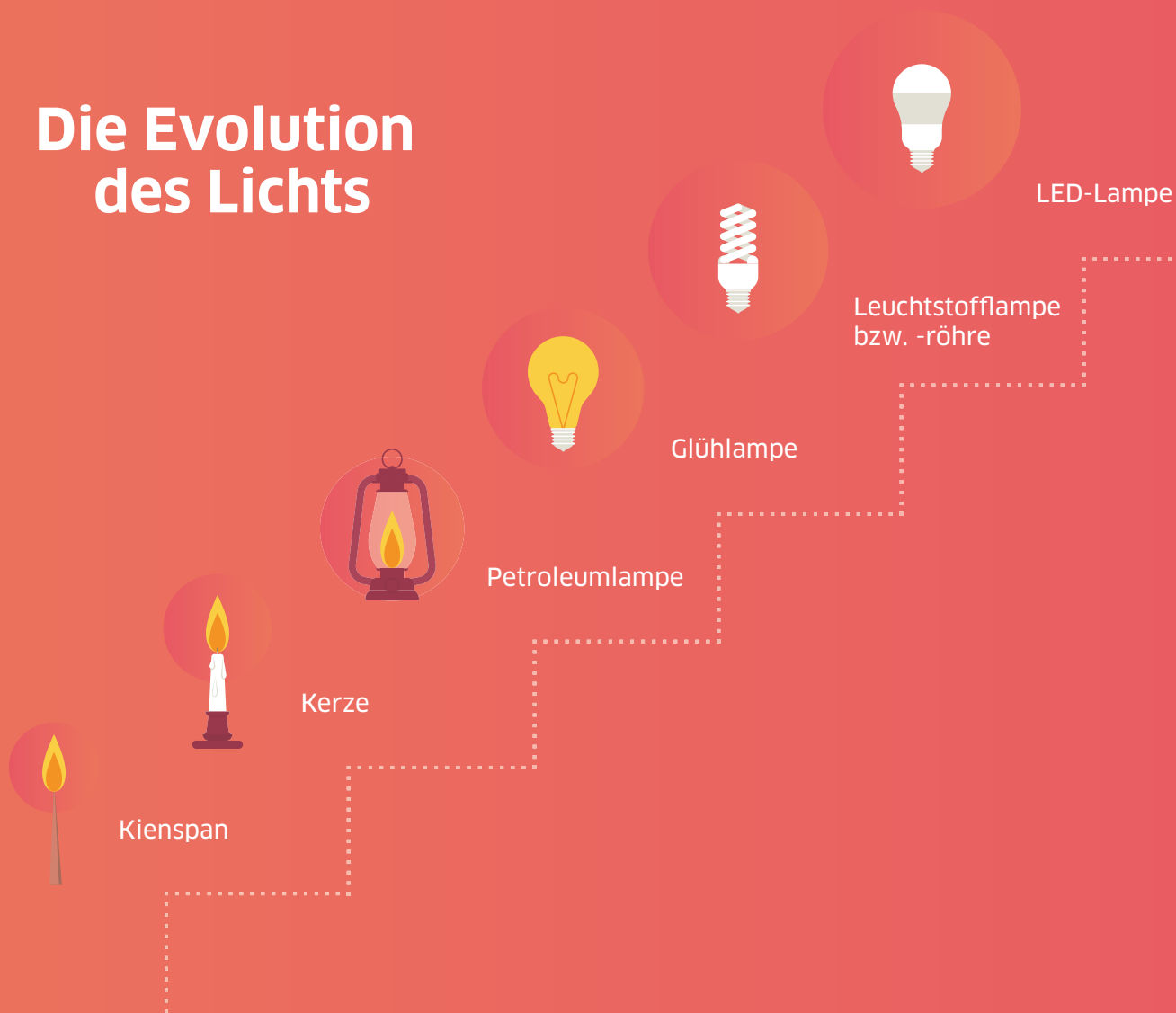


Deutsche Lichtmiete Unternehmensgruppe

Lichtwissen kompakt

Leitfaden für eine effiziente Beleuchtung
in Industrie, Handel und Gewerbe

Die Evolution des Lichts



Inhalt

Licht – Was ist das?	Seite 4
Die Wirkung des Lichts auf den Menschen	Seite 5
Grundbegriffe der Lichttechnik	Seite 6
Weitere wichtige Kenngrößen elektrischer Lichtquellen	Seite 7
Wichtige Kenngrößen von LEDs	Seite 10
Die Berechnung der Lichteffizienz	Seite 12
Wann brauche ich welche Leuchten?	Seite 14
Was spricht noch für LED-Technik?	Seite 17
Retrofit: Zurück in die Zukunft?	Seite 19
Licht mieten, kaufen oder leasen?	Seite 20
Worauf muss ich bei der Beleuchtung achten?	Seite 23
Anforderungen an Industrie und Gewerbe	Seite 26
Brandschutz	Seite 28
Explosionsschutz	Seite 30
Produkte der Deutschen Lichtmiete	Seite 32
Checkliste zur Umstellung auf moderne LED-Leuchten	Seite 36
Die Deutsche Lichtmiete Unternehmensgruppe	Seite 37



Licht – Was ist das?

Licht ist für uns eine Selbstverständlichkeit. Die Sonne erleuchtet uns den Tag. Am Abend und in der Nacht schalten wir künstliche Lichtquellen ein, damit wir etwas sehen können.

Natürlich leuchten vielerorts – zum Beispiel in Büros oder vor allem in Lager- oder Produktionshallen, die über wenige oder keine Fenster verfügen – auch tagsüber die verschiedensten Leuchten. Doch die wesentliche Lichtquelle ist und bleibt die Sonne: Sie ist für uns lebenswichtig. Ihr Licht hat sogar einen weitreichenden Einfluss auf unsere Gesundheit.

Allgemeingültige Definitionen beschreiben Licht als den Bereich der elektromagnetischen Strahlung, der vom menschlichen Auge wahrgenommen werden kann. Dieser liegt im Wellenlängenbereich zwischen 380 und 780 Nanometer (nm). Allerdings werden die angrenzenden, aber nicht sichtbaren Infrarot- (780 bis 1 nm) und Ultraviolettstrahlungen (10 bis 380 nm) oft ebenfalls als Licht bezeichnet.

Die Wirkung des Lichts auf den Menschen

Licht hat eine dreifache Wirkung auf den Menschen.

1) Die visuelle Funktion, das Sehen an sich

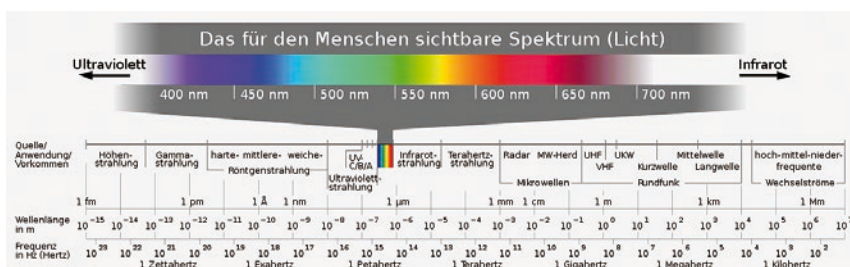
Ohne Licht könnten wir nichts sehen. Farben, Formen, Umrisse oder Bewegungen – all das wäre ohne Lichtquelle nicht zu erkennen.

2) Die emotionale Qualität

Das Licht beeinflusst unser Gemüt. So lässt sich unsere Stimmung – je nach Lichtfarbe – aufhellen oder verdüstern. Auch das Geschmacksempfinden kann sich durch Licht verändern.

3) Die biologischen Impulse

Unser Blutdruck, die Körpertemperatur sowie unser Schlaf-Wach-Rhythmus werden vom sogenannten circadianen System gesteuert. Darunter versteht man unsere biologische „innere Uhr“, die uns wach oder müde werden lässt und dazu etwa unseren Hormonspiegel entsprechend beeinflusst. Ein wichtiger Taktgeber für dieses sensible System ist das Licht. Ohne Licht gerät die innere Uhr schnell aus dem Rhythmus, was sich negativ auf unseren Organismus auswirken kann.



Grafik: „Electromagnetic spectrum c“ von Horst Frank / Phrood / Anony - Horst Frank, Jailbird and Phrood.



Grundbegriffe der Lichttechnik

Lichtstrom

Die gesamte von einer Lichtquelle in den Raum abgegebene Strahlungsleistung nennt man Lichtstrom (Φ). Für Verbraucher beschreibt der Lichtstrom sozusagen die „Helligkeit“ einer bestimmten Lichtquelle. Seine Einheit ist das Lumen (lm).

Lichtstärke

Die Lichtstärke (I) ist der Teil des Lichtstroms, der in eine bestimmte Richtung strahlt. Sie wird in Candela (cd) angegeben. Maßgeblich bestimmt wird die Lichtstärkenverteilung durch die Art des Reflektors einer Leuchte.

Lichtausbeute

Das Verhältnis des abgestrahlten Lichtstroms zur verbrauchten Energie bezeichnet man als Lichtausbeute (Lumen pro Watt = lm/W). Je mehr Licht man für einen bestimmten Energieeinsatz erhält, desto höher ist die Wirtschaft-

lichkeit. Die Lichtausbeute hängt vom Spektrum bzw. der Farbwiedergabe einer LED ab und beträgt theoretisch maximal 683 lm/W, bei einer warm-weißen LED 380 lm/W.

Lichtdichte

Als Lichtdichte (L, Einheit: cd/m^2) wird der wahrgenommene Helligkeitseindruck einer Fläche bezeichnet. Sie ist wichtig für die Bestimmung des Lichtkomforts. Die vom Auge wahrgenommene Helligkeit hängt dabei stark von der Lichtstärke, den Reflexionseigenschaften der Fläche und der Position des Betrachters ab.

Beleuchtungsstärke

Der Lichtstrom (lm) einer Leuchte, geteilt durch die beleuchtete Fläche, ergibt die Beleuchtungsstärke (E), die in Lux ($\text{lx} = \text{lm}/\text{m}^2$) ausgedrückt wird. Sie gibt die Menge des Lichtstroms an, der auf eine bestimmte Fläche trifft.

LEBENSDAUER VERSCHIEDENER LICHTQUELLEN

Thermische Lichtquellen (Glühlampen, Halogenglühlampen):
1.000 – 5.000 Stunden

Gasentladungslampen Hochdruck (Quecksilberdampflampen, Halogen-Metallampflampen):
8.000 – 15.000 Stunden

Gasentladungslampen Niederdruck (Energiesparlampen, Leuchtstofflampen):
< 10.000 – 24.000 Stunden

Halbleiterlichtquellen – LED-Leuchten:
25.000 – 150.000 Stunden

Weitere wichtige Kenngrößen elektrischer Lichtquellen

Wer vor der Aufgabe steht, einen Raum oder eine Halle zu beleuchten, sollte sich vor Auswahl der Leuchte(n) intensiv mit den Anforderungen an die Beleuchtung auseinandersetzen. Dabei sind – neben den bereits beschriebenen Grundbegriffen Lichtstrom und Lichtausbeute – die folgenden weiteren Kenngrößen von Bedeutung:

Elektrische Leistung

Die Leistungsaufnahme einer Lichtquelle wird als elektrische Leistung bezeichnet. Sie wird in Watt (W) angegeben und bezeichnet den Energieumsatz pro Zeitspanne.

Lebensdauer

Neben der Lichtausbeute hat auch die Lebensdauer einen wichtigen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einer Lichtquelle. Sie wird unterschiedlich definiert. Für thermische Lichtquellen



wie beispielsweise Glüh- und Halogenlampen wird die mittlere Lebensdauer angegeben, also die Zeit, bei der – statistisch betrachtet – die Hälfte der Lampen ausgefallen sind. Für LED- und Entladungslampen gilt die Nutzlebensdauer. Sie berücksichtigt neben den funktions-

untüchtigen Leuchten, etwa durch einen Ausfall der Elektronik, auch den Lichtstromrückgang nach einer bestimmten Betriebsdauer.

Lichtstromrückgang

Bei vielen LED-Leuchten gilt: Je älter diese sind, desto schwächer wird ihr Licht. Ihre chemischen und physikalischen Bestandteile altern in Abhängigkeit von den im Innern auftretenden Temperaturen sowie von ihrer Bestromung: Je wärmer eine LED-Leuchte wird und je höher der Durchlassstrom, mit dem diese betrieben wird, desto früher zeigt sich ein sogenannter Lichtstromrückgang: Die Intensität des Lichts nimmt ab. Besonders hochwertige LED-Leuchten nutzen daher einen „gedrosselten“ Durchlassstrom: Das ermöglicht



Bild: Deutsche Lichtmiete

Weitere wichtige Kenngrößen elektrischer Lichtquellen



Bild: Deutsche Lichtmiete

einen effizienteren Betrieb bei niedrigen Temperaturen und „Luft nach oben“ – eine spätere Nachregulierung gleicht den nachlassenden Lichtstrom aus, sorgt für eine lange Lebensdauer ohne Leuchtkraftverluste und erlaubt einen längeren wartungsfreien Einsatz.

Lichtfarbe und Farbtemperatur

Die in Kelvin (K) angegebene Lichtfarbe beschreibt den Farbeindruck (Lichttemperatur) einer weißen Lichtquelle – von warmweiß (bis 3.300 K) über neutralweiß (3.300 bis 5.300 K) bis tageslichtweiß (über 5.300 K). Da Leuchtmittel trotz gleicher Lichtfarbe unterschiedliche Farbwiedergabe-Eigenschaften aufweisen können, wurde zur besseren Kennzeichnung von Lichtfarbe und Farbwiedergabe eine internationale Bezeichnung eingeführt. Beispiel: Die Bezeichnung 840 beschreibt ein Leuchtmittel mit einem Farbwiedergabeindex von 80 bis 89 und einer Farbtemperatur von 4.000 K. Je höher der Wert, umso „kälter“ wird das Licht wahrgenommen. Eine Kerze, ein sehr warmes Licht, hat zum Beispiel 1.500 K, eine 100 W Glühlampe 800 K, eine gebräuchliche Leuchtstoffröhre 4.000 K. Mittleres Sonnen-

licht hat 5.500 K. Die übliche Einteilung von Farben in kalte oder warme Farbtöne geht auf ein subjektives Empfinden zurück und ist nicht durch eine Temperatur zu beschreiben. Künstliche Lichtquellen erzeugen vom Tageslicht abweichende Farbwahrnehmungen. Mischungen verschiedener Arten von Lichtquellen können das Wohlfühl stören.

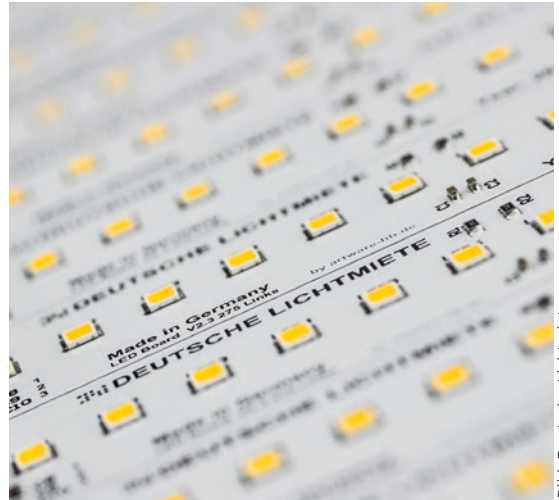


Bild: Deutsche Lichtmiete

Farbwiedergabeindex

Mit dem Farbwiedergabeindex (CRI, Einheit: Ra) lässt sich einschätzen, wie originalgetreu eine Leuchte die Farben der beleuchteten Umgebung wiedergibt. Den besten Wert für die natürlichste und optimale Farbwiedergabe, 100 Ra, erreichen Lichtquellen, deren Licht alle Spektralfarben enthält, wie Glühlampen und das Sonnenlicht. LED-Leuchten sind im Bereich zwischen 75 und 95 Ra eingestuft. Allgemein gelten Werte über 80 Ra als guter Standard.

Anlaufzeit

Ältere Entladungslampen – sowohl Metall-dampf- als auch Gasentladungslampen – benötigen in der Regel eine Anlaufzeit von ein paar Minuten, um den richtigen Gasdruck und damit die volle Lichtleistung zu erreichen.



Bild: Deutsche Lichtmiete

Wiederzündung

Die Wiederzündung nach dem Ausschalten von Entladungslampen ist entweder erst nach dem Abkühlen (etwa nach 2 bis 15 Minuten) oder mit speziellen Zündgeräten möglich.

Dimmbarkeit

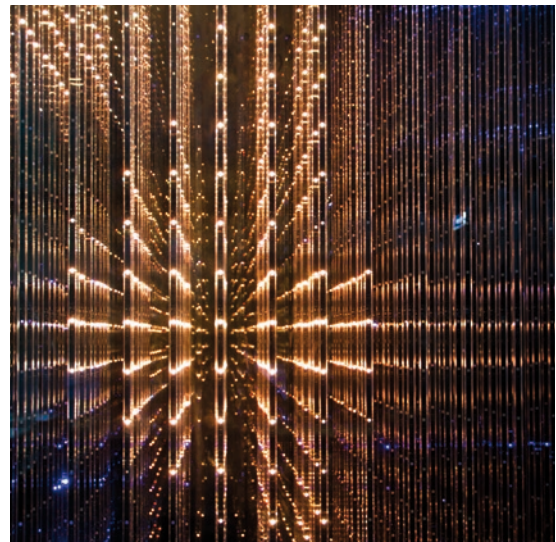
Während Halogenglühlampen relativ leicht gedimmt werden können, sind Kompaktleuchtstofflampen nur mit technischer Hilfe dimmbar oder vom Hersteller erst gar nicht für das Dimmen zugelassen. LED-Leuchten lassen sich technologisch gesehen mit dafür ausgelegten LED-Treibern und den dazu passenden Dimmern sehr gut regulieren.



Bild: Deutsche Lichtmiete

Betriebslage

Die zulässigen Betriebslagen eines Leuchtmittels (Leuchtensockel oben, seitlich oder unten) werden von den Leuchtenherstellern vorgegeben. Zum Beispiel sind bei manchen Halogen-Metall dampflampen lediglich bestimmte Betriebslagen zulässig. Eine falsche Betriebslage kann ein unruhiges Lichtbild zur Folge haben und die Lebensdauer des Leuchtmittels deutlich verkürzen.



Taktung und Pulsung

Viele Leuchtentypen, darunter Leuchtstoffröhren und auch viele LED-Leuchten, erzeugen kein permanentes, sondern ein gepulstes Licht. Sie werden zur Optimierung der Lichtleistung in Sekundenbruchteilen ein- und wieder ausgeschaltet bzw. auf ein niedrigeres Niveau geregelt. Das menschliche Auge kann die Schaltzyklen kaum wahrnehmen, weil diese dafür zu schnell ablaufen. Studien zeigen aber inzwischen, dass die schnelle Pulsung das Gehirn belastet: Sensible Menschen reagieren darauf mit Kopfschmerzen und Ermüdung. Bei extrem hochwertigen LED-Leuchten verzichtet der Hersteller auf eine Pulsung oder Taktung.

Wichtige Kenngrößen von LEDs

Der Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) hat in seinem „Leitfaden zur Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung“ standardisierte Kriterien festgelegt. Diese sollen einen fairen Wettbewerb ermöglichen.

Will man die Qualität von LED-Leuchten verschiedener Hersteller miteinander vergleichen, gehören Lichtstrom, Lichtausbeute und Farbqualität zu den wichtigsten Parametern.



Bild: Deutsche Lichtmiete

Zudem sind Leistung, Lichtstärkeverteilung, Umgebungstemperatur sowie Lebensdauer zu beachten. Für Lichtplaner spielen darüber hinaus die Beleuchtungsstärke und die Lichtfarbe eine wichtige Rolle.

Was ist eine LED?

Eine Leuchtdiode oder LED – die Abkürzung steht für Licht emittierende Diode – ist ein Halbleiter-Bauelement mit den elektrischen Eigenschaften einer Diode. Das heißt, Strom kann in einer Richtung fast ungehindert fließen (Durchlassrichtung) und damit für Licht sorgen, während er in der anderen Richtung nahezu isoliert wird (Sperrrichtung).

Eine LED ist dabei kein ohmscher Verbraucher, dessen Widerstand immer gleich ist. Sie ist ein Halbleiter, das heißt: Ihr Widerstand geht nach Anlegen einer Spannung gegen Null und der Strom steigt rein theoretisch unendlich an. Das macht LEDs zu Verbrauchern, die eigentlich sehr energiehungrig wären, würden sie auch unendlich viel Strom aushalten. In diesem Punkt sind LEDs aber sehr empfindlich: Erhalten sie zu viel Strom, erhöht sich erst ihre Temperatur, bevor sie komplett zerstört werden. Das bedeutet: Schon eine Temperatu-

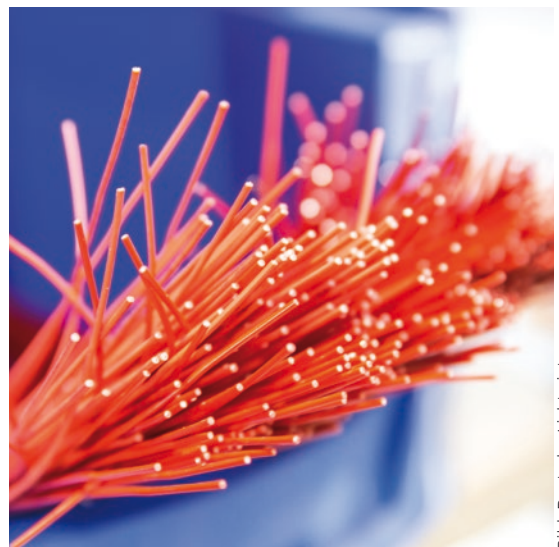


Bild: Deutsche Lichtmiete

rerhöhung um 10 °C reduziert ihre Lebensdauer um die Hälfte. Das heißt: Eine LED stärker zu bestromen als vom Hersteller vorgegeben, lässt sie nicht unbedingt heller leuchten – ein kalter Halbleiter leitet besser als ein warmer. Deshalb ist für den Betrieb einer LED immer ein entsprechender Vorwiderstand erforderlich, der die Spannung begrenzt.



Die Lichtstrahlung einer LED wird von einem Halbleiterchip erzeugt. Dabei lassen sich durch die Wahl der Halbleitermaterialien die Farben und Eigenschaften des erzeugten Lichts variieren. Da Leuchtdioden nur monochromatisches, also einfarbiges Licht erzeugen, werden für die Herstellung von weißem Licht verschiedene Farbmischverfahren angewandt. Beispielsweise werden rote, grüne und blaue Leuchtdioden im Gehäuse so kombiniert, dass sich ihr Licht mischt und von außen als weiß wahrgenommen wird. Auch die Kombination einer blauen LED mit einem Leuchtstoff ergibt weißes Licht. Die Japaner Isamu Akasaki, Hiroshi Amano und Shuji Nakamura erhielten 2014 den Physik-Nobelpreis für „die Erfindung effizienter blauer Leuchtdioden“, mit denen helle und energiesparende weiße Lichtquellen möglich wurden. Diese Erfindung führte zur ersten kommerziellen blauen LED, die, inzwischen erweitert um weiße und grüne LEDs sowie blaue Laserdioden, seit 1993 vom Weltmarktführer für LED-Chips, der japanischen Firma Nichia, vertrieben wird.

Vorteile von LEDs

Im Vergleich zu anderen Lichtquellen zeichnen sich LEDs durch eine Reihe positiver Eigenschaften aus. Zu ihren herausragenden Merkmalen gehören

- die energieeffiziente Lichterzeugung
- eine sehr lange Lebensdauer
- eine sehr gute Farbwiedergabe
- vielfältige Einsatzmöglichkeiten im Innen- und Außenbereich
- eine hohe Schaltleistung

LED ist nicht gleich LED

Die Vielzahl der am Markt erhältlichen LED-Leuchten ist schwer zu überblicken. Die Qualitätsunterschiede sind erheblich. So enttäuschten viele LED-Leuchten der frühen ersten Generation hinsichtlich ihrer Lebensdauer. Viele erreichten nicht einmal die Hälfte der anfänglich von den Herstellern zugesagten 20.000 Stunden; zudem stellten sich deutlich früher merkliche Verluste bei der Leuchtkraft ein. Die ersten Nutzer waren sichtlich enttäuscht.

Was qualitativ heute möglich ist, zeigen wenige, ausgesuchte High-End-Produkte. Für eine Vermietung ist es zum Beispiel immens wichtig, die höchstmögliche Qualität zu produzieren, um längste Mietzeiträume möglich zu machen. Dafür muss ein nicht unerheblicher Aufwand betrieben werden. Durch die Nutzung spezieller Industrietreiber, mit denen sich eine Taktung und Pulsung der Stromzufuhr vermeiden lässt, sowie eine in den Leuchten verbaute Technologie, die eine Glättung in der Spannung des elektrischen Stroms erreicht, ist es unter anderem möglich, die Lebenszeit hochwertiger Industrie-LED-Leuchten extrem zu erhöhen. Die LED wird zudem nicht gestresst und arbeitet ressourcenschonend im optimalen Wirkungsbereich. Für die Nutzer heißt das: Die LED-Leuchten flackern nicht und das Auge kann sich entspannen. Für die Lebensdauer heißt das: Bis zu 150.000 Stunden sind realistisch machbar.



Die Berechnung der Lichteffizienz

Bild: Deutsche Lichtmiete

Der Lighting Energy Numeric Indicator (LENI) gibt den tatsächlichen Energieverbrauch von Beleuchtungsanlagen in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr an. Das Berechnungsverfahren für den Beleuchtungsenergiebedarf ist in der europäischen Norm EN 15193 (Energetische Bewertung von Gebäuden – Energetische Anforderungen an die Beleuchtung) festgelegt. Dabei stellt der LENI lediglich einen Richtwert für eine bestehende Beleuchtungsanlage dar und keinen Zielwert für eine neue Anlage.

LENI

$$\text{LENI} = \frac{\text{Energieverbrauch (Beleuchtung)}}{\text{Quadratmeter} \times \text{Jahr}} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a})]$$

Zu den relevanten Faktoren dieser Berechnung gehören:

- die installierte Leistung
- die jährlichen Nutzungszeiten
- die tageslichtabhängige Steuerung
- die Abwesenheitssteuerung
- die Konstantlichtsteuerung
- die bewertete Fläche

Im LENI sind außerdem die Stand-by-Energie und die Ladeenergie für die Notbeleuchtung zu berücksichtigen.

Folgende Faktoren wirken positiv auf die Energiebilanz:

- die Energieeffizienz der verwendeten Leuchten
- eine sinnvolle Steuerung der Beleuchtung
- eine tageslichtabhängige Steuerung
- die Nutzung von Tageslicht
- die Verwendung von Anwesenheitssensoren
- der intelligente Einbezug der Nutzungszeiten
- die Konstantlichtsteuerung

Die Bewertung der Lichtqualität

Der Ergonomic Lighting Indicator (ELI) basiert auf der europäischen Norm EN 12464 und ermöglicht die Bewertung der Lichtqualität. Folgende fünf Qualitätsfaktoren werden dabei für die Bewertung berücksichtigt:

A) Die Sehleistung

Entscheidend für die Sehleistung und damit auch für die Durchführbarkeit von Tätigkeiten sind

- das Beleuchtungsniveau
- die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke
- die Farbwiedergabe
- die Vermeidung von Schlagschatten
- die Kontrastwiedergabe
- die physiologische Blendung

B) Das Erscheinungsbild

Licht dient nicht nur dem Sehen, sondern auch

dem Aussehen. Es kann eine Orientierungshilfe darstellen und durch den ersten Eindruck die Akzeptanz des Raumes bestimmen. Zum Erscheinungsbild gehören

- das architektonische Konzept
- das mentale Konzept
- die Orientierungshilfe
- die Wahrnehmungshierarchie
- die Außenwirkung
- das Material

C) Der Sehkomfort

Da Licht für den Ort der Sehaufgabe sowie auch für die Wahrnehmung im Raum benötigt wird, sollte ein Raum gleichmäßig hell beleuchtet sein. Zu den Kriterien des Sehkomforts zählen

- eine ausgewogene Helligkeitsverteilung
- die Leuchtdichtedifferenzen
- die Plastizität und das Modelling
- die physiologische Blendung
- die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich der Sehaufgabe
- die Ergänzung von Kunst- mit Tageslicht
- der Einsatz hochwertiger, flimmerfreier Vorschaltgeräte

D) Die Vitalität

Licht hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Gesundheit und die Aktivität des Menschen. Ausschlaggebend für den Faktor Vitalität sind

- das Wohlbefinden
- die Aktivierung und Stimulierung
- der Schlaf-Wach-Rhythmus
- das tageslichtähnliche Licht
- die Vermeidung von Gefahrenstellen
- die Vermeidung von Wärmestrahlung
- die elektromagnetischen Felder

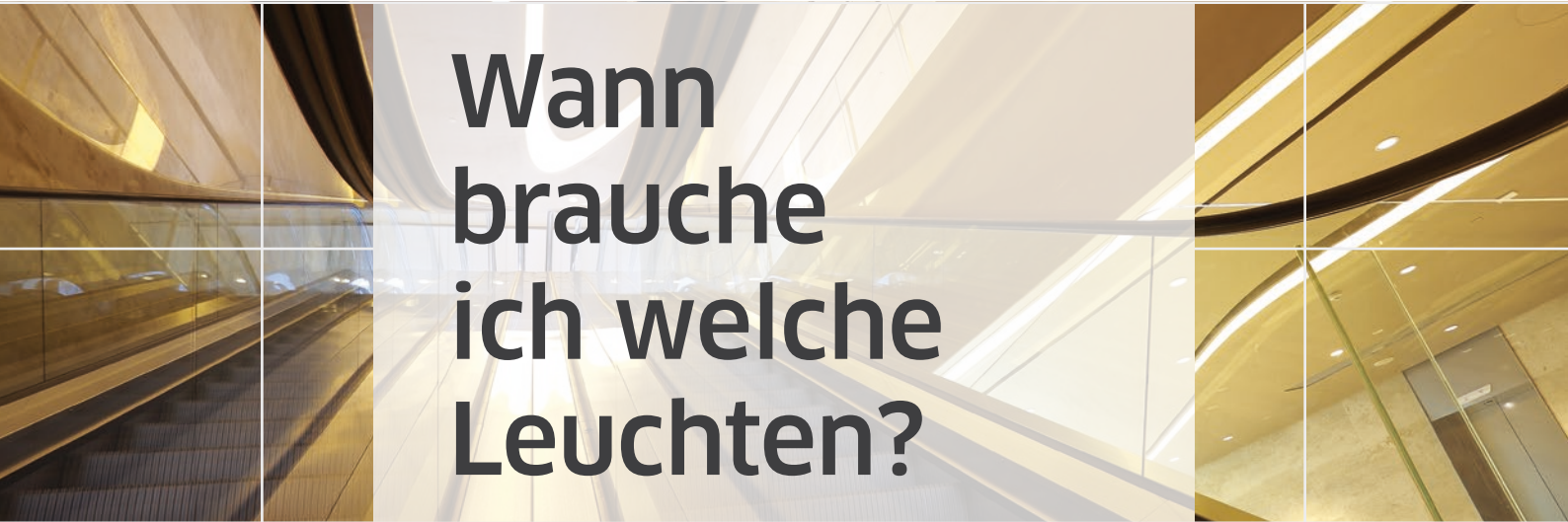
E) Die Individualität und Flexibilität

Sensoren und Steuerungssysteme helfen Nutzern, die Lichtsituation an ihre jeweiligen Sehbedürfnisse, Sehtätigkeiten oder Nutzungszeiten anzupassen. Zum Kriterium der Individualität und Flexibilität gehören

- die persönliche Beeinflussung durch Schalten oder Dimmen
- die Wahl der Lichtstimmung
- die Präsenzmeldung
- die tageslichtabhängige Steuerung
- die Flexibilität bei Umbauten
- die Privatsphäre



Bild: Deutsche Lichtmiete



Wann brauche ich welche Leuchten?

Die richtige Beleuchtung ist für die tägliche Arbeitsumgebung verschiedener Branchen von enorm wichtiger Bedeutung. Folgende Beispiele verdeutlichen, welche Anforderungen an das Licht in den unterschiedlichen Bereichen unseres Alltags gestellt werden.

Licht fürs Büro

Für das Arbeiten im Büro sollte die Beleuchtung so eingestellt sein, dass die Gesundheit und somit auch die Leistungsfähigkeit und Kreativität der Mitarbeiter optimal gefördert wird.



Das bedeutet, dass Tageslicht – wenn möglich – als bevorzugte Lichtquelle eingesetzt wird. Künstliche Lichtlösungen sollten an die jeweiligen Bedürfnisse der Mitarbeiter angepasst werden können und sich auf den biologischen Tag-Nacht-Rhythmus abstimmen lassen.

Mit einem Lichtmanagementsystem kann bequem und optimal auf diese und weitere Anforderungen eingegangen werden. Es kann beispielsweise die Beleuchtungsstärke an die jeweiligen Arbeitsaufgaben anpassen, auf wechselnde Anforderungen an die Beleuchtungssituation reagieren, eine Blendung durch Licht vermeiden, durch biologisch wirksames Kunstlicht zur richtigen Tageszeit die innere Uhr aktivieren und nicht zuletzt für eine maximale Energieeinsparung sorgen. Außerdem erlauben manche Lichtmanagementsysteme individuelle Bedienmöglichkeiten, um zum Beispiel für ältere Mitarbeiter höhere Beleuchtungsstärken einstellen zu können.

LED-Leuchten lassen sich besonders gut in ein Lichtmanagementsystem einbinden. Sie sind unempfindlich gegenüber häufigem Schalten und Dimmen (bei Einsatz dafür ausgelegter Treiber und passender Dimmer), weisen einen geringen Energieverbrauch auf und zeichnen sich darüber hinaus durch eine hohe Lebensdauer und einen geringen Wartungsaufwand aus.

Licht für die Industrie

In der Industrie werden die Arbeitsbereiche zum Großteil nur wenig bis gar nicht mit Tageslicht beleuchtet. Da in großen Produktionshallen zuweilen bis zu 24 Stunden am Tag gearbeitet und währenddessen eine gleich-



Bild: Deutsche Lichtmiete

mäßige Allgemeinbeleuchtung benötigt wird, sind höchst effiziente und leistungsstarke Lichtlösungen erforderlich, die zudem die speziellen Anforderungen einzelner Arbeitsbereiche berücksichtigen. Hierfür sind LED-Leuchten in Industriequalität sehr gut geeignet.

Besonders der Einsatz langlebiger und effizienter LED-Technik in Verbindung mit einer individuellen Lichtsteuerung kann den normalerweise hohen Wartungsaufwand in hohen und großen Hallen deutlich reduzieren und zusätzlich zur Verbesserung des Wohlbefindens beitragen. Weiterer Vorteil: Da die Beleuchtungsanlagen in der Industrie aufgrund des Schicht- und Nachtbetriebs vielerorts im Dauereinsatz sind, ist das Energieeinsparpotenzial hier besonders hoch. Investitionen in eine neue Beleuchtungsanlage amortisieren sich meist schon nach kurzer Zeit.

Bei der Suche nach Lichtlösungen für die Industrie dürfen darüber hinaus Aspekte wie Sauberkeit und Sicherheit nicht außer Acht gelassen werden. LED-Leuchten gibt es auch mit leicht zu reinigenden und desinfektionsmittel-

tauglichen Leuchtengehäusen. Das macht sie selbst in industriellen Anwendungsbereichen mit speziellen Bedürfnissen zu einem idealen Leuchtmittel. Sie können auch – wo nötig – als explosionsgeschützte Leuchten eingesetzt werden.

Licht für Fassaden

Viele Städte und Gemeinden sorgen durch die nächtliche Beleuchtung von Gebäuden, Brücken, Brunnen und Denkmälern für die Aufwertung charakteristischer Objekte des öffentlichen Raums und schaffen damit an diesen Orten ein besonderes Flair – mit einer Vielzahl an positiven Folgen. Eine attraktiv anmutende Beleuchtung historischer Bauwerke kann beispielsweise eine deutlich längere Verweildauer von Touristen bewirken oder einen neuen Anziehungspunkt schaffen. Möglicherweise beeinflusst sie sogar die Wahl des Wohnorts.

Dabei sind LED-Leuchten als Lichtquelle auch hier wieder eine gute Wahl – zum einen aufgrund ihrer hohen Lebensdauer und Effizienz, zum anderen aufgrund ihrer vielfältigen Einsatzmöglichkeiten. So lassen sich zum Beispiel verschiedene Fassadenelemente betonen, architektonische Besonderheiten hervorheben oder das gesamte Gebäude durch unterschiedliche Hell- und Dunkelzonen dramaturgisch in



Szene setzen. Farbinszenierungen geben dem beleuchteten Objekt in der Nacht ein anderes Gesicht und kreative Lichtmuster können die emotionale Beziehung zu einem Gebäude stärken. Außerdem lassen sich mit LED-Leuchten Informationen in Form von Bildern und Texten übermitteln.

Da Fassadenbeleuchtungen zum Anschauen da sind und somit in Wechselbeziehung mit den Menschen stehen, sollten sie auch nur zu sinnvollen Betriebszeiten mit hohem Publikumsverkehr eingeschaltet werden. Ein intelligentes Lichtmanagement gewährleistet einen hohen Automatisierungsgrad der Beleuchtungsanlage und vermeidet unnötige Energiekosten. Da sie im Außeneinsatz dauerhaft widrigen Wetterbedingungen ausgesetzt sind, wurden für diese Anwendungsbereiche besonders robuste Leuchten und witterungsbeständige LED-Module entwickelt, die den Belastungen im Dauerbetrieb über Jahre standhalten können.

Leuchtstofflampen vs. LED-Leuchten im Vergleich*

Leuchtstofflampen sind Niederdruck-Gasentladungslampen. Ihre Röhren sind innen mit einem fluoreszierenden Leuchtstoff beschichtet, der die Ultraviolettstrahlung in sichtbares Licht umwandelt. Die Gasfüllung besteht in der Regel aus Quecksilberdampf und Argon. Leuchtstofflampen sind relativ wirtschaftlich im Betrieb. Aufgrund ihrer verschiedenen Lichtfarben und Bauformen erlauben sie vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. So können sie neben dem privaten Bereich beispielsweise auch in Büros, Gastronomie und Hotels, Sportstätten, Straßen oder Tunneln eingesetzt werden.

Die Nachteile von Leuchtstofflampen liegen in einer deutlich reduzierten Lebensdauer bei häufigen Schaltvorgängen sowie in der Umweltbelastung durch die Beschichtung und das Quecksilber im Innern der Röhre. Leuchtstofflampen dürfen deshalb auch nicht im Hausmüll entsorgt, sondern müssen bei einer Schadstoffsammelstelle abgegeben werden.

Zum Vergleich werden im Folgenden die wichtigsten Kennwerte von Leuchtstofflampen denen von LED-Leuchten gegenübergestellt:

	Leuchtstofflampen	LED-Leuchten
Anwendungsbereiche	privat und gewerblich	privat und gewerblich
Lichterzeugung	Quecksilberatome erzeugen bei Stromfluss durch das Entladungsrohr Energie in Form von UV-Strahlung, die durch Leuchtstoffe in Licht umgewandelt wird.	Fließt Strom in Durchlassrichtung durch die elektronischen Halbleiterkristalle, strahlen diese Licht ab.
Leistung	gering bis mittel 5 bis 80 W	sehr gering bis hoch 0,2 bis 100 W
Lichtstrom	250 bis 6.150 lm	über 5.000 lm
Lichtausbeute	45 bis 100 lm/W	150 lm/W und mehr
Energieeffizienzklasse	A, B	A+
Lebensdauer	bis zu 90.000 Stunden	bis zu 150.000 Stunden
Lichtfarbe	warm, neutral, kalt ca. 2.500 bis 8.000 K	warm, neutral, kalt ca. 2.700 bis 8.000 K
Farbwiedergabe	sehr gut (50 bis 90 Ra)	sehr gut (80 bis 97 Ra)

*Beispielwerte

Was spricht noch für LED-Technik?

1. Hohe Energiekosteneinsparung

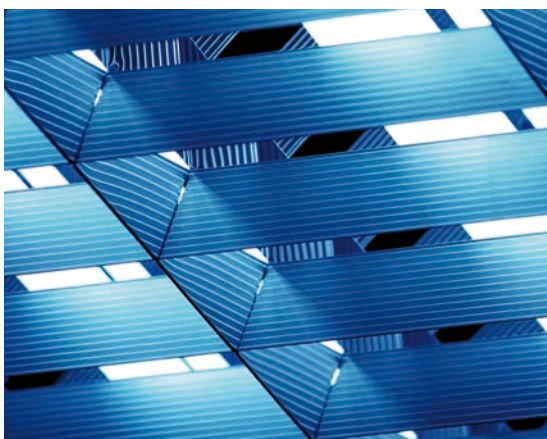
Ca. 65 % Einsparung durch Umstellung auf hoch-effiziente LED-Produkte: Eine LED-Röhre hat bei gleicher Lichtleistung nur ca. ein Drittel des Energieverbrauchs einer Leuchtstoffröhre (zum Beispiel bei 58 W Leistung und 13 W für das Vorschaltgerät). Weit mehr als die Hälfte beträgt die Einsparung bei den in der Industrie weit verbreiteten Hallendeckentiefstrahlern HQL oder HQI mit 400 W plus zum Beispiel 80 W Verlustleistung für das Vorschaltgerät. Bei 500 Hallendeckenstrahlern in einer Halle eines mittelständischen Unternehmens fallen beim Dreischicht-Betrieb an nur einem Tag rund 1.100 Euro Stromkosten an. Das summiert sich pro Monat auf mindestens 22.000 Euro allein für den Energieverbrauch einer Hallenbeleuchtung.

2. Bessere Lichtqualität

Kein Flackern mehr: Hochwertige LED-Beleuchtung verbreitet ein ruhiges Licht. Die gute Lichtqualität wirkt sich positiv auf die Arbeitsleistung und die Gesundheit der Mitarbeiter aus.

3. Einhaltung der Arbeitsstättenrichtlinien für die Beleuchtung

Die Berufsgenossenschaften prüfen regelmäßig die Einhaltung der in den Arbeitsstättenrichtlinien vorgegebenen Beleuchtungsstärken (in Lux).

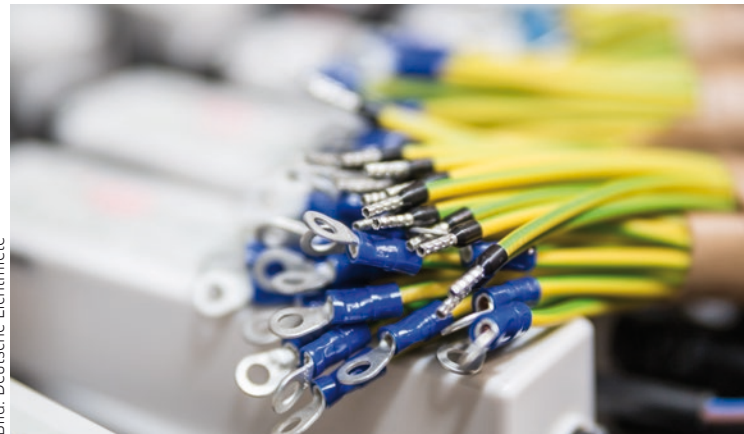


Auch gesetzliche Vorgaben, Auflagen von Versicherern oder großen Kunden zwingen viele Unternehmen zunehmend, hier nachzubessern.

4. Reduzierung von Brandlasten

Hochwertige LED-Beleuchtungen strahlen deutlich weniger Wärme ab als andere Lichtsysteme, insbesondere, wenn diese veraltete Leuch-

Bild: Deutsche Lichtmiete



tengehäuse mit den Vorschaltgeräten KVG oder VVG nutzen. Allerdings sind bei einigen auf dem Markt erhältlichen Produkten, insbesondere bei LED-Röhren, alle elektronischen Bauteile direkt auf der Platine verbaut. Das wirkt sich nachteilig auf das Wärmemanagement in der Röhre aus und kann zu Überhitzung und schnellem Röhrenausfall führen. Hochwertige LED-Leuchten mit externen Treibern erlauben eine bessere Führung des Wärmemanagements – die Leuchten werden weniger warm. Dies reduziert auch die Brandlasten deutlich.

5. Geringerer Wartungs- und Instandhaltungsaufwand

Eine gute LED-Beleuchtung hält um ein Vielfaches länger als eine herkömmliche Beleuchtung. Die lange Lebensdauer reduziert auch den Aufwand für Wartung und Instandhaltung der Beleuchtung – und dieser ist für viele Unter-

Was spricht noch für LED-Technik?

nehmen ein erheblicher Kostenfaktor: In der Schwerindustrie kann der Austausch einer einzigen Leuchte mehrere Hundert Euro kosten, weil beispielsweise ein Steiger benötigt wird, externe Firmen beauftragt werden müssen oder sehr hohe Sicherheitsanforderungen zu erfüllen sind. Im Extremfall können Wartungsarbeiten nur außerhalb der Produktionszeiten stattfinden. Aber auch in kleineren Unternehmen, Krankenhäusern oder Parkhäusern hat der Haustechniker mit dem regelmäßigen Austausch der defekten Lampen viel Arbeit.

6. Umweltschutz

Mit dem Umstieg auf eine energieeffiziente LED-Beleuchtung wird sofort auch in gleichem Maße CO₂ eingespart. Ein Kunde der Deutschen Lichtmiete Unternehmensgruppe mittlerer Größe spart durch den Einsatz hochwertiger LED-Produkte nicht nur 665.000 kWh Stromverbrauch pro Jahr, sondern gleichzeitig etwa 374 t CO₂ plus 532 g radioaktiver Abfälle.

LED-Produkte der Deutschen Lichtmiete sind reparabel, voll recyclebar und erfüllen die RoHS-Kriterien. Damit geht die Deutsche Lichtmiete beim verantwortungsvollen Umgang mit



Bild: Deutsche Lichtmiete

wertvollen endlichen Ressourcen voran. Giftige Abfallstoffe wie Quecksilber, das oft in Energiesparlampen oder Quecksilberdampflampen verwendet wird, fallen bei der Produktion und Entsorgung von LED-Leuchten nicht an.

Die Industrieprodukte der Deutschen Lichtmiete Unternehmensgruppe können wiederverwertet werden und schonen somit wertvolle Ressourcen.



Retrofit: Zurück in die Zukunft?

Wer den Schritt zu einer energieeffizienten und langlebigen LED-Beleuchtung mit minimalem Wartungsaufwand gehen möchte, muss sich eine grundsätzliche Frage stellen: Soll die neue Technologie ins gewohnte Gewand gesteckt werden oder soll das Licht der Zukunft Einzug halten?

In deutschen Hallen, Lagern und Großraumbüros hängen noch immer Millionen von Leuchtstoffröhren samt Fassung – und viele Verantwortliche denken beim Stichwort LED-Umrüstung vorrangig an einen Austausch der Leuchtmittel. Das scheint auf den ersten Blick der einfachste und schnellste Weg zu sein: Das Lichtsystem muss nicht demontiert und kann mit höherer Effizienz weiter genutzt werden.

Auf den zweiten Blick aber zeigt sich: Der Wechsel von einer Leuchtstoffröhre zur LED-Technik ist nicht trivial, da Bauart und Spezifikation der alten und neuen Leuchtmittel sehr unterschiedlich sind. Letztlich ist der Austausch alter Leuchtmittel durch Retrofit-LED-Röhren kein echter Umstieg auf die neue Technologie, sondern nur eine Zwischenlösung, denn eine Retrofit-Umrüstung macht oft den Umbau der vorhandenen Leuchten notwendig. Wer hier nicht sorgfältig und fachlich kompetent arbeitet, riskiert gegebenenfalls Stromschläge und Kurzschlüsse im Betrieb.

Dazu kann eine solche Modernisierung auch rechtliche Probleme schaffen: Denn durch den Umbau oder Anschluss von Retrofit-LED-Röhren an EVG-bestückte Leuchtengehäuse wird der Umrüster quasi zum Hersteller der „neuen Leuchte“ mit entsprechender Produkthaftung. Die herstellenseitige Bauartzulassung des Leuchtengehäuses erlischt bei einem Eingriff und Schadensersatzansprüche sind kaum noch durchsetzbar. Elektrofachbetriebe verweigern hierfür deshalb regelmäßig die Installationsarbeiten. Und: Nicht jede Beleuchtungsanlage ist für solche LED-Röhren auch ausgelegt. Wurde

sie etwa bereits auf elektronische Vorschaltgeräte (EVG) umgerüstet, raten Experten ganz von der Verwendung klassischer Retrofit-Röhren ab. Diese müssten mit externen LED-Treibern ausgerüstet werden, damit der Nutzer seinen Versicherungsschutz nicht verliert.

Die Zukunft des Lichts liegt daher nicht in der Umrüstung alter Lichthanlagen, sondern in Beleuchtungssystemen, in denen LED-Leuchten ihre Stärken voll ausspielen können. Lichtbänder etwa, die flexibel, modular und leistungsfähig sind, bringen Licht in der gewünschten



Stärke und Fokussierung genau dorthin, wo es gebraucht wird – mit minimalem Verbrauch, extrem langer Lebensdauer und schlankem Design. Den Mehrkosten einer konsequenten Umrüstung stehen viele Vorteile hinsichtlich Lebensdauer, Wirtschaftlichkeit und Zukunftssicherheit gegenüber. Und wer nicht selbst kauft, sondern seine Beleuchtung mietet oder least, kann den Aufwand oft sogar auf den Anbieter abwälzen.

Für wen und in welchem Umfang sich ein Umstieg auf moderne LED-Leuchten lohnt, zeigt ein kurzer Check mit dem Effizienzrechner der Deutschen Lichtmiete: Online unter www.deutsche-lichtmiete.de



Licht mieten, kaufen oder leasen?

Bild: Deutsche Lichtmiete

Hochwertige LED-Leuchten sind herkömmlichen Lichtlösungen insbesondere im gewerblichen und industriellen Bereich in nahezu jeder Beziehung überlegen.

Der einzige Wermutstropfen liegt im Preis: Sie kosten in der Anschaffung deutlich mehr als konventionelle Leuchtmittel. Und daran wird sich auch in Zukunft wenig ändern, ungeachtet des kontinuierlichen Preisverfalls bei LED-Chips. Da diese Bauteile insbesondere bei der Herstellung von hochwertiger LED-Industriebeleuchtung nur einen Teil der Materialkosten ausmachen, sorgt die Marktentwicklung bei LED-Produkten nach Industriestandard nicht für nennenswerte Preisschwankungen. Qualität wird auch langfristig ihren Preis haben. In diesem Fall trägt der Käufer auch das komplette Auswahl- und Produktrisiko. Wird die nötige Ausleuchtung nicht erreicht oder fallen die Leuchten ständig aus, ist das zunächst einmal sein Problem. Und falls der Verkäufer nicht mehr greifbar ist, seiner Gewährleistungspflicht nicht nachkommt oder keine Garantien mehr gelten, bleibt es das im ungünstigsten Fall auch. Die Montagekosten muss üblicherweise immer der Auftraggeber tragen.

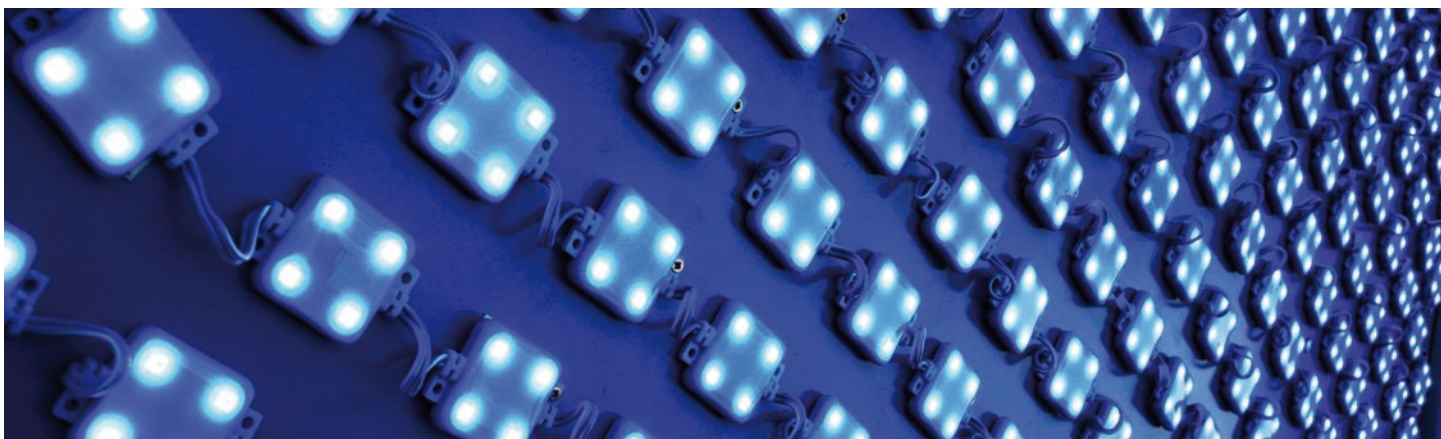
Um den Aufwand bei Produktauswahl, Garantieprüfung und die mit einem Kauf verbundenen Risiken zu vermeiden, interessieren sich viele Unternehmen gerade beim Einsatz moderner Technologien für alternative Beschaffungsformen. Lässt sich die moderne LED-Beleuchtung nicht – analog zur Telefonanlage oder zum Kopierer – leasen oder ganz einfach mieten? Entsprechende Angebote gibt es bereits am Markt. Allerdings existieren auch hier wesentliche Unterschiede.

Lichtsysteme leasen

Leasing ist heute weit verbreitet und wird von vielen Unternehmen genutzt, um die Liquidität zu schonen. Es stellt eine Dreiecksbeziehung zwischen dem Hersteller, dem Leasinggeber und dem Leasingnehmer dar, aus der sich verschiedene Verpflichtungen und Risiken ergeben. Dazu gehört etwa eine Versicherungspflicht und das Produktrisiko, welches der Kunde gemäß Leasingvertrag selbst trägt. Das heißt, er müsste Ansprüche gegen den Lieferanten oder Hersteller des Leasinggutes selbst durchsetzen, falls das geleaste Produkt Mängel aufweist. Dabei steht dem Leasingnehmer eine Minderung der Leasingzahlung im Gewährleistungsfall nicht zu. Dies birgt gerade bei modernen Technologien große Risiken: Ist der Lieferant vom Markt verschwunden oder kommt er seiner Verpflichtung zur Mängelbeseitigung nicht nach, sind Schäden nicht durch Produkthaftpflichtversicherungen abgesichert oder die Garantien oder Gewährleistungen bereits ausgelaufen, während der Leasingvertrag noch besteht, muss der Leasingnehmer weiter zahlen – obwohl in seinen Produktionshallen das Licht schon ausgegangen ist.

LED-Licht mieten

Auch wenn viele Leasing und Miete gedanklich gleichsetzen – die Miete ist ein völlig anderes Konzept, das den Nutzer des fraglichen Produkts weitaus besser stellt. Hier trägt der Vermieter den größten Teil der Risiken, die mit der Auswahl und der Produktqualität verbun-

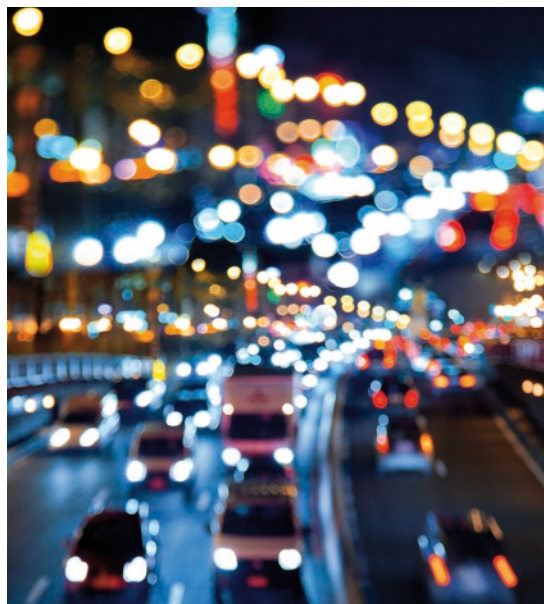


Licht mieten, kaufen oder leasen?

den sind. Der Mieter muss weder Datenblätter oder Garantiebedingungen noch die Solvenz des Herstellers prüfen. Das nimmt ihm der Vermieter ab. Ebenso wie die Bedarfsanalyse inklusive Beratung, Aufmaß, Verbrauchs- und Wirtschaftlichkeitsberechnung sowie die komplette Installation der Leuchten. Für den Mieter geht es damit nur noch um das Wesentliche: Dass er eine bedarfsgerechte, moderne und hocheffiziente Beleuchtung bekommt, die ihren Zweck hervorragend erfüllt.

Das bedeutet für den Nutzer auch: Die Beleuchtung soll möglichst störungsfrei funktionieren. Auch dafür wird im Mietmodell der Vermieter sorgen, und zwar schon aus Eigeninteresse. Denn während ein Hersteller oder Händler am Austausch und Nachkauf verdient, verliert der Vermieter im Störfall Geld. Deshalb wird er qualitativ hochwertige LED-Leuchten einsetzen, deren Ausfallquote im Promillebereich bleibt.

Eine bilanzneutrale, IFRS-konforme Miete erhält Unternehmen zudem wertvolle Liquidität für ihr Kerngeschäft. Im Gegensatz zu klassischen Leasinggeschäften haben Off-Balance-Mietmodelle gerade bei Großunternehmen



keine negativen Auswirkungen auf die Bilanzstruktur des Mieters. Dadurch bleibt die Eigenkapitalquote stabil. Die Kreditlinien werden nicht belastet. Und selbst Haftungsrisiken, die bei einer Umrüstung durch Kauf entstehen können, übernimmt bei der Anmietung der Vermieter. Die direkte Beziehung zwischen Hersteller (Vermieter) und Nutzer (Mieter) ist hier der Dreiecksbeziehung bei Leasing oder ähnlichen Modellen deutlich überlegen.

BEISPIELRECHNUNG TAUSCH METALLDAMPFLAMPE 400 W GEGEN HIGH BAY III 198 W; 14 STUNDEN, 251 TAGE, 18 CT/KWH STROMPREIS*

MIETEN	
5 Jahre Miete 100 Stück:	
■ Energiekosteneinsparung je Monat:	1.486 Euro
■ Monatsmiete inkl. Planung und Installation:	1.214 Euro
■ Einsparung im Monat (10,8 %):	272 Euro
Einsparung über Laufzeit:	16.335 Euro

KAUFEN	
Kauf 100 Stück: 5 Jahre Nutzung	
■ Energiekosteneinsparung je Monat:	1.486 Euro
■ Energiekosteneinsparung 5 Jahre:	89.160 Euro
■ Kaufpreis 1.000 Euro je Stück:	100.000 Euro
■ Installationskosten:	15.000 Euro
■ Finanzierungskosten (6 %):	15.000 Euro
Verlust nach 5 Jahren:	-40.840 Euro
Zuzüglich Planungskosten und gegebenenfalls Wartungsaufwand.	

*Dies stellt ein Beispiel dar. Bei einem Angebot der Deutschen Lichtmiete Unternehmensgruppe werden alle Variablen des Kunden genau berücksichtigt. Längere Laufzeiten sind ebenfalls möglich.

Worauf muss ich bei der Beleuchtung achten?

Moderne Lichtsysteme müssen sich nicht nur auf die unterschiedlichsten Bedürfnisse eines Unternehmens maßschneidern lassen. Sie müssen dabei auch noch eine Fülle rechtlicher Auflagen und die Gesundheit der Mitarbeiter berücksichtigen.

Welche Beleuchtung im Einzelfall die richtige ist, hängt fast ausschließlich von ihrem Einsatzzweck ab. Denn in Produktion, Gewerbe und Dienstleistung gelten für moderne, hoch-effiziente LED-Lösungen unterschiedliche Anforderungen. Geht es beispielsweise um die Ausleuchtung eines Parkplatzes oder um einen Innenraum? Ist es ein Büro mit abgehängter Decke oder eine Werkshalle mit 16 oder mehr Metern Raumhöhe? Gibt es Verschmutzungen

der Luft durch Staub oder Partikel, die Licht „schlucken“ – oder werden Kleinteile verarbeitet, wofür beste Lichtverhältnisse geschaffen werden müssen?



HANDEL

Verkaufsbereiche:	300 Lux/m ²
Kassenbereiche:	500 Lux/m ²



AUTOMOBILREPARATUR

Service und Reparatur: 300 Lux/m²

Für nahezu alle Anwendungsbereiche gibt es Empfehlungen, gesetzliche Auflagen, Arbeitsschutzbestimmungen und vieles mehr. Während etwa in Kraftstoff-Versorgungsanlagen von Kraftwerken eine Beleuchtungsstärke von 50 Lux/m² ausreichend ist, werden für die Be-

Worauf muss ich bei der Beleuchtung achten?

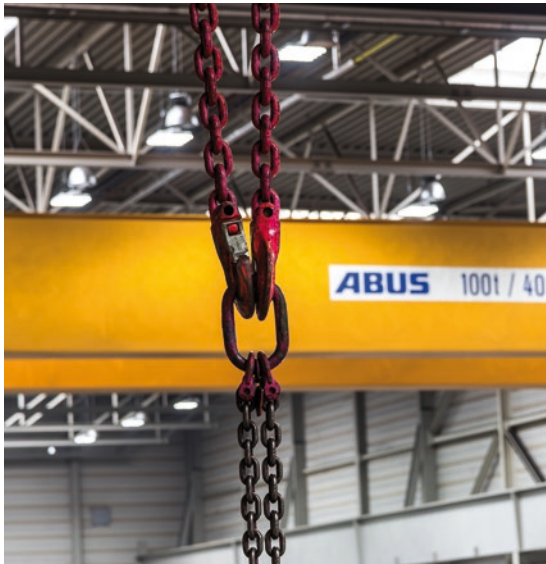


Bild: Deutsche Lichtmiete

PRODUKTION

Stahlwerk:	200 Lux/m ²
Montage Leiterplatten:	1.000 Lux/m ²



BOHRINSEL

Meeresoberfläche	
unter der Plattform:	30 Lux/m ²
Hubschrauberlandeplatz:	100 Lux/m ²



SCHULEN

Lehrmittelsammlung:	100 Lux/m ²
Klassenzimmer:	300 Lux/m ²



LAGER-/ PRODUKTIONSHALLEN

Versandbereiche:	300 Lux/m ²
Regalfront:	200 Lux/m ²



Bild: Deutsche Lichtmiete

SPORT

Wettkampfboxen:	2.000 Lux/m ²
Schießen:	200 Lux/m ²

arbeitung von Edelsteinen Lichtverhältnisse von 1.500 Lux/m² verlangt. Die höchsten Anforderungen gelten im OP, wo bis zu 100.000 Lux/m² gefordert sein können.

Dazu kommen Aspekte wie die Gesundheit der Mitarbeiter sowie durch Architektur und Markenimage beeinflusste Lichtgestaltung. Licht kann Räume strukturieren, Wohlfühlatmosphäre schaffen, zum Verweilen einladen oder die Leistungsfähigkeit fördern. Die Schaffung von Ruhezonen oder Bereichen für erhöhte Kon-

ENTBINDUNGSRÄUME

Empfang:	300 Lux/m ²
Untersuchung:	1.000 Lux/m ²



FLUGHAFEN

Wartebereich:	200 Lux/m ²
Zoll- und Passkontrolle:	500 Lux/m ²

zentration kann nicht nur die jeweilige Tätigkeit eines Teams unterstützen und dessen Produktivität erhöhen. Eine flexible Veränderung von Lichtfarbe und -intensität wirkt auf den biologischen Schlaf-Wach-Rhythmus, also die „innere Uhr“ der Menschen, die in diesem Raum arbeiten. Dies kann zu erhöhter Aktivität anregen bzw. dabei helfen, am Ende des Arbeitstages Stress abzubauen und ruhiger zu werden.

Die Bedarfsanalyse und eine gute Lichtplanung stellen einen Aufwand dar, den Unternehmen auch kostenneutral auslagern können. Die Umrüstung der Beleuchtungsanlage durch das Mietmodell der Deutschen Lichtmiete ist kapitalschonend und bilanzneutral.

Anforderungen an Industrie und Gewerbe

Wo hart gearbeitet wird, ist es selten gemütlich: Das Umfeld muss oft große Hitze oder Kälte aushalten, gegen Schmutz, Staub oder Wasser geschützt sein. Damit auch Geräte und technische Einrichtungen wie ein Lichtsystem unter harten Bedingungen tadellos funktionieren und die Nutzer nicht durch Kurzschlüsse, Überspannung oder gar Explosionen gefährdet werden, sind für verschiedenste Einsatzgebiete jeweils erforderliche Schutzarten definiert worden. Die Ingress Protection (IP)-Klassifizierung zeigt an, wie hoch der Schutz bei direkter Berührung ausgelegt ist, wie dicht die Leuchten gegen das Eindringen von Schmutz, Fremdkörpern und Staub und wie resistent sie gegen Flüssigkeiten sind. Dabei ist zu berücksichtigen, wie viel Flüssigkeit in welchem Winkel auf die Leuchten treffen kann und ob es sich dabei um harmloses Wasser oder um giftige Chemikalien handelt. Die erste Ziffer der IP-Klassifizierung richtet sich nach dem Grad des Schutzes gegen Fremdkörper und Berührung, die zweite nach dem Schutz gegen Einwirkungen von Feuchtigkeit.

Qualitätsstandards der Deutschen Lichtmiete

Die Deutsche Lichtmiete ist an einer möglichst langen Lebensdauer ihrer LED-Industrieprodukte bei störungsfreiem Betrieb interessiert. Deshalb werden diese nach hohen Industriestandards, wie sie auch in der Luftfahrt oder Medizintechnik gelten, in eigener, deut-

scher Produktion gefertigt. Alle Komponenten werden unter höchsten Qualitätsauflagen nahezu ausschließlich von deutschen Zulieferfirmen bezogen: Aluminium, Kunststoffe, Steckverbindungen, Platinen, Stahlseile. Selbst der Werkzeugbau findet in Deutschland statt. Dabei achtet der Hersteller darauf, dass jedes Bauteil repariert und/oder wiederverwendet werden kann, zum Beispiel der Alu-Kühlkörper der LED-Röhren.

Die LED-Chips werden vom Weltmarktführer Nichia Corporation aus Japan hergestellt, der das Patent auf die „weiße LED“ hält. Außerdem verfügt die Deutsche Lichtmiete über ein Netzwerk von Ingenieuren, die bei der Entwicklung langlebiger LED-Technologien für Industriekunden beratend zur Seite stehen.

EFFIZIENZ	Schlecht				Gut
LEUCHTEN-TYP					
	GLÜHLAMPE	HALOGEN-LEUCHTE	ENERGIE-SPARLAMPE	LED	
LUMEN					
450	40 W	29 W	9 W	8 W	
800	60 W	43 W	14 W	13 W	
1100	75 W	53 W	19 W	17 W	
1600	100 W	72 W	23 W	20 W	
LEBENSDAUER	1 Jahr	1-3 Jahre	6-10 Jahre	15-25 Jahre	
ERSPARNIS	×	bis zu 30%	bis zu 75%	bis zu 80%	

SCHUTZARTEN BEI TECHNISCHEN LEUCHTEN

Fremdkörperschutz gemäß erster Kennziffer

IP0X ungeschützt gegen Fremdkörper

IP1X Schutz gegen Fremdkörper größer als 50 mm

IP2X Schutz gegen Fremdkörper größer als 12 mm

IP3X Schutz gegen Fremdkörper größer als 2,5 mm

IP4X Schutz gegen Fremdkörper größer als 1 mm

IP5X Staubschutz

(Eindringen von Staub nicht ausgeschlossen)

IP6X staubdicht (kein Eindringen von Staub)

Feuchtigkeitsschutz gemäß zweiter Kennziffer

IPX0 ungeschützt gegen Feuchtigkeit

IPX1 Schutz gegen Tropfwasser

IPX2 Schutz gegen Tropfwasser unter 15°

IPX3 Schutz gegen Sprühwasser bis 60°

IPX4 Schutz gegen Spritzwasser aus allen Richtungen

IPX5 Schutz gegen Strahlwasser

IPX6 Schutz gegen schwere See (Überflutung)

IPX7 Schutz gegen Eintauchen
(unter Angabe von Druck und Zeit)

IPX8 Schutz gegen Untertauchen
(mit Hinweisen vom Hersteller)



Brandschutz

Bei der Leuchten-Kennzeichnung für den Brandschutz müssen folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- die Gebrauchslage
- das Brandverhalten der Umgebung und der Befestigungsflächen sowie
- die Mindestabstände zu brennbaren Stoffen und Materialien

Die Kennzeichnung

Mit diesem Kennzeichen werden die maximalen Oberflächentemperaturen von Leuchten für feuergefährdete Betriebsstätten vorgegeben. So dürfen äußere Flächen, auf denen sich leicht entzündliche Stoffe wie Staub oder Fasern ablagern können, bestimmte Temperaturen nicht überschreiten.

Konkret bedeutet das: Leuchten mit dieser Kennzeichnung dürfen im normalen Betrieb auf waagerechten Flächen eine Grenztemperatur von maximal 90 °C erreichen, im Fehlerfall des Vorschaltgeräts maximal 115 °C. Auf senkrechten Flächen beträgt die maximale Grenztemperatur 150 °C.

Die Kennzeichnung

Mit  gekennzeichnete Leuchten sind für den Anbau an Möbeln oder den Einbau in Möbel bestimmt, deren Entzündungstemperatur mindestens 200 °C beträgt. Es handelt sich dabei um Leuchten mit eingebautem Vorschaltgerät. Aufgrund ihrer Bauweise gewährleisten sie, dass im Fehlerfall des Vorschaltgeräts schwer und normal entflammbare Werkstoffe im Sinne von DIN 4102 nicht in Brand geraten können. Dabei können die Werkstoffe beschichtet, furniert oder lackiert sein.

Die Kennzeichnung

Leuchten mit diesem Symbol sind für den Anbau an Möbeln oder den Einbau in Möbel geeignet, deren Entflammungseigenschaften nicht bekannt sind. Es handelt sich dabei zum Beispiel um Entladungslampen mit eingebautem Vorschaltgerät oder Glühlampen. Aufgrund ihrer Bauweise gewährleisten sie, dass im normalen Betrieb keine Befestigungs- und auch keine anderen benachbarten Möbelflächen eine Temperatur von 95 °C überschreiten.



Explosionsschutz

Explosionsgefährdete Bereiche werden in verschiedene Zonen eingeteilt – je nachdem, wie häufig und wie lange eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftritt. Für die Einteilung sind folgende Faktoren relevant:

- die Explosionsgrenzen
- die freisetzbaren Stoffmengen
- der Volumenstrom der Lüftungsmaßnahmen sowie
- gegebenenfalls die eingesetzten Überwachungseinrichtungen

Gase, Dämpfe und Nebel

Zone 0: In diesem Bereich ist eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln entweder ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden.

Zone 1: Bei Normalbetrieb kann sich in dieser Umgebung gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden.

Zone 2: Eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren

Gasen, Dämpfen oder Nebeln tritt in dieser Zone bei Normalbetrieb normalerweise nicht oder nur kurzzeitig auf.

Stäube

Zone 20: In dieser Umgebung ist eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub entweder ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden.

Zone 21: Eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub kann sich in dieser Zone bei Normalbetrieb gelegentlich bilden.

Zone 22: Bei Normalbetrieb tritt in diesem Bereich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub normalerweise nicht oder nur kurzzeitig auf.

Die Wahrscheinlichkeit der Wirksamkeit von Zündquellen muss in den jeweiligen Zonen verringert werden. Für Geräte, die in den Zonen 2 und 22 verwendet werden, ist es ausreichend, wenn sie keine betriebsbedingten



Zündquellen aufweisen. In den Zonen 1 und 21, also für Geräte mit Zündgefahren, darf die Wirksamkeit der Zündquellenvermeidung nicht beeinträchtigt werden – auch nicht, wenn ein Fehler auftritt. Und bei Geräten in den Zonen 0 und 20 müssen selbst sehr seltene Fehler ausgeschlossen werden.

Die ATEX-Richtlinien der Europäischen Union

Die Abkürzung ATEX steht für den französischen Ausdruck „Atmosphères Explosibles“ und ist ein weit verbreitetes Synonym für die



ATEX-Richtlinien oder -Direktiven der Europäischen Union auf dem Gebiet des Explosionsschutzes.

Die ATEX-Richtlinie 94/9/EG

In dieser Produktrichtlinie sind die Beschaffenheitsanforderungen an Einrichtungen und Betriebsmittel, von denen eine Zündgefahr ausgehen kann, geregelt. Sie beschreibt die grundlegenden Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen und Konformitätsbewertungsverfahren für Systeme und Geräte, die in

explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden können. Unter „Gerät“ wird dabei jedes elektrische oder nicht-elektrische Betriebsmittel verstanden, das eine potenzielle Zündquelle darstellt.

Die ATEX-Richtlinie 1999/92/EG

Diese Betriebsrichtlinie legt die Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer fest, die durch eine explosionsfähige Atmosphäre gefährdet werden können. Sie enthält umfassende Sicherheitsanforderungen, die der Betreiber umsetzen muss, wie zum Beispiel:

- die Vermeidung der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre
- die Vermeidung wirksamer Zündquellen oder
- die Beschränkung der Auswirkung einer eventuellen Explosion auf ein unbedenkliches Maß



Im Rahmen seiner Gefährdungsbeurteilung muss der Betreiber ein Explosionsschutzdokument erstellen und die Bereiche mit einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre in die oben beschriebenen Zonen einteilen.



Produkte der Deutschen Lichtmiete

Die Ausfallquote unserer LED-
Industrielleuchten liegt derzeit bei
weniger als 0,1 %.

Bild: Deutsche Lichtmiete

Dennoch arbeiten wir daran, diese herausragende Quote noch weiter zu senken und gewähren für unsere Produkte eine lebenslange Garantie. Weil Sicherheit für uns ein Qualitätsmerkmal ist.

Die von uns verwendeten, hochwertigen Komponenten werden in eigener Fertigung in Oldenburg (Oldb.) konfektioniert. Die Bestückung der LED-Platinen erfolgt ebenso in Deutschland, und zwar nach höchsten Qualitätsstandards, wie sie nur in der Luftfahrt und Medizintechnik üblich sind. Die verwendeten LED-Treiber verfügen über alle wichtigen Zertifikate wie ENEC, TÜV, CE, VDE, DIN 61000 etc.

Zudem ist die Betriebsstätte der Deutschen Lichtmiete eine vom VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitut GmbH ausgezeichnete, überwachte Fertigungsstätte. In Form regelmäßiger Audits überprüft der VDE die Betriebsstätte auf Einhaltung der Norm für zertifizierte LED-Leuchten nach dem Werksinspektionsverfahren ECS/CIG 021 - 024: 2014.

Alle LED-Produkte der Deutschen Lichtmiete sind mit SPS-Filter® Technology (Stable Power Supply) für extreme Langlebigkeit ausgestattet. Ausnahmslos jedes Produkt wird vor Verlassen der Fertigung von uns sorgfältig getestet.

1. Hart im Nehmen: LED-Hallendeckenstrahler

Spritzwasserfest, extrem hitze- und kältebeständig sowie äußerst effizient sind unsere LED-Hallendeckenstrahler auch härtesten Industrieanforderungen voll gewachsen. Die Hallendeckenstrahler der Deutschen Lichtmiete erfüllen den strengen Industriestandard IP65: Sie sind spritzwasserfest und können somit auch problemlos mit einem Hochdruckreiniger gesäubert werden. Weiterer Vorteil: Ein einziger Strahler ersetzt bis zu zehn herkömmliche Leuchtstoffröhren. Mit entsprechender Ersparnis an Energie- und Wartungskosten.

Technische Daten

- Größe: II-VI-flammig

- Leistung: 76-527 W
- Lichtfarbe: 4.000 K oder 5.000 K
- Ausstrahlungswinkel: 80° oder 120°
- Schutzart: IP65
- Wartungsaufwand: Gering (bedingt durch die lange Lebensdauer)
- Energieeinsparung: > 60 % (gegenüber herkömmlichen HQI- oder HQL-Leuchten)
- Verwendete LED-Komponenten: Nichia
- CRI: >80



Bild: Deutsche Lichtmiete

2. Einfach Strom sparen: LED-Röhren

In keinem anderen Geschäftsbereich lassen sich Ausgaben und Verbrauch so schnell reduzieren wie beim Licht. Schon deswegen lohnt sich das Umrüsten von Leuchtstoff- auf LED-Röhren. Für Industriehallen sind sie ideal: Moderne und hochwertige LED-Röhren bieten Stromersparnis vom ersten Moment an, gewährleisten eine natürliche Farbwiedergabe und maximale Langlebigkeit. Die LED-Röhren der Deutschen Lichtmiete erreichen ein Vielfaches der normalen Lebensdauer vergleichbarer Produkte – und das bei einer exzellenten Systemleistung unserer Produkte von über 100 lm/W, je nach Typ.

Technische Daten

- Größe: 60 cm, 120 cm oder 150 cm lang (und Sonderlängen)

Produkte der Deutschen Lichtmiete



Bild: Deutsche Lichtmiete

- Leistung: 14-35 W
- Lichtfarbe: 4.000 K, 5.000 K oder 6.500 K
- Treiber: Extern (mit allen in Deutschland geforderten Sicherheitsstufen und höchster Netzstabilität)
- Schutzart: IP20
- Wartungsaufwand: Gering (bedingt durch die lange Lebensdauer)
- Energieeinsparung: > 60 % (gegenüber herkömmlichen T8-Röhren)
- Verwendete LED-Komponenten: Nichia

3. Büros in neuem Licht: LED-Panels

Echte Manufakturqualität macht lange Freude.

Gepulste LED-Leuchten mit einer sogenannten Restwelligkeit von bis zu 20 % gelten als noch tolerierbar, einige LED-Leuchten weisen sogar eine Restwelligkeit von 50 % auf. Die LED-Leuchten der Deutschen Lichtmiete liegen durch ihre Konstantstromregelung mit SPS-Filter® Technology (Stable Power Supply) weit unter einem Prozent Restwelligkeit – und verbreiten damit ein besonders ruhiges, flackerfreies Licht.

Noch dazu, wenn sie optisch ansprechend und energieeffizient ist. Im klassischen Büroeinsatz spart sie sofort Kosten und erhöht spürbar den Komfort: Mit zeitgemäßer Technologie, die in Kassettendecken eingebaute Leuchten problemlos und kostensparend ersetzen kann: Blend- und flimmerfrei, sparsam und augenfreundlich. Denn die LED-Panels der Deutschen Lichtmiete leuchten ohne Pulsung und

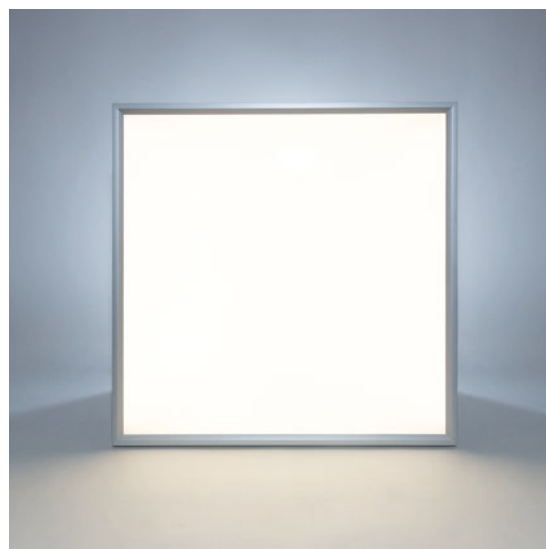


Bild: Deutsche Lichtmiete

Taktung, also ohne das bei vielen LED-Leuchten übliche hochfrequente An- und Ausschalten der Leuchten. Das erhöht die Lebensdauer und sorgt für ein entspanntes Arbeiten – ohne Ermüdung und Kopfschmerzen.

Die LED-Panels der Deutschen Lichtmiete werden sorgfältig von Hand aus hochwertigem Aluminium aus deutscher Produktion und PMMA-Optiken gefertigt.

Technische Daten

- Größe: 60×60 cm, 120×30 cm oder 120×60 cm (und Sondergrößen)
- Leistung: 26-70 W
- Lichtfarbe: 4.000 K, 5.000 K oder 6.500 K

- Treiber: Extern (mit allen in Deutschland geforderten Sicherheitsstufen und höchster Netzstabilität)
- Schutzart: IP20
- Wartungsaufwand: Gering (bedingt durch die lange Lebensdauer)
- Energieeinsparung: > 50 % (gegenüber herkömmlichen Rasterleuchten)
- Verwendete LED-Komponenten: Nichia

4. LED-Lichtbänder: Strahlen am laufenden Band

LED-Lichtbänder finden überall Platz – selbst, wenn es eng wird. Und sie halten durch: Ob im Kühlhaus bei -35 °C oder in der Produktion, wo sehr hohe Temperaturen herrschen können. LED-Lichtbänder der Deutschen Lichtmiete sind eine robuste, wartungsarme und hocheffiziente Alternative zu den klassischen Lichtbandsystemen T5 oder T8. Und sie sind sofort da, wenn man sie braucht: ohne Aufwärmphase, auf Knopfdruck Licht – ideal auch in Kombination mit Sensorik. Wo Leuchtstoffröhren leiden, etwa weil in der Anwendung viele Schaltzyklen zusammenkommen, sind LED-Lichtbänder in ihrem Element und sorgen weit über 100.000 Betriebsstunden lang für eine homogene und gleichmäßige Ausleuchtung. Die LED-Lichtbänder sind einfach und schnell zu montieren sowie robuster als vergleichbare Produkte.

Technische Daten

- Größe: 152 cm lang
- Leistung: 17-75 W
- Lichtfarbe: 4.000 K, 5.000 K oder 6.500 K
- Treiber: Extern (mit allen in Deutschland geforderten Sicherheitsstufen und höchster Netzstabilität)
- Schutzart: IP44
- Wartungsaufwand: Gering (bedingt durch die lange Lebensdauer)

- Energieeinsparung: > 60 % (gegenüber herkömmlicher T8 Leuchtstofflampe am KVG)
- Verwendete LED-Komponenten: Nichia

5. Hell und sicher: Explosionssgeschützte Beleuchtungen

Für die Installation von LED-Produkten in explosionsgeschützten Bereichen baut die Deutsche Lichtmiete auf die Qualität ihres Partners R. STAHL. Als führender Anbieter von Produkten, Systemen und Dienstleistungen für den Explosionsschutz verfügt R. STAHL über jahrzehntelange Erfahrung. Überall, wo explosive



Bild: Deutsche Lichtmiete

Gas-Luft-Gemische oder Stäube auftreten können, verhindern R. STAHL-Produkte Explosionen. Als traditionelles Unternehmen mit mehr als 80 Jahren Erfahrung im Bereich des Explosionsschutzes beherrscht R. STAHL sämtliche Zündschutzarten des elektrischen Explosionsschutzes. (<http://www.stahl.de>)

Checkliste zur Umstellung auf moderne LED-Leuchten

Analyse der IST-Situation:

- Detaillierte Analyse der bestehenden Beleuchtungsanlagen durch Experten
- Erkennen der Spezialanforderungen vor Ort
- Herausarbeiten der Sonderbestimmungen des Projektes
- Einhalten der Arbeitsstätten-Richtlinien
- Beachtung des Brandschutzes
- Berücksichtigung der Versicherungsauflagen
- Lichtplanung und Berechnung

Auswahl der richtigen Beleuchtungs-lösungen und -produkte im schwer überschaubaren LED-Markt:

- Leuchtentyp – Hallendeckenstrahler, LED-Röhren, -Panels und -Lichtbänder. Wo sind Einsparungen und Lichtausbeute am höchsten?
- Beleuchtungsgehäuse – Die Materialauswahl wird beeinflusst durch Umgebungsanforderungen.
- Die Lichtqualität muss stimmen, Arbeitsplätze sollen optimal ausgeleuchtet sein (Beleuchtungsstärke, geringe Blendwirkung, Schattenvermeidung).
- Lichtfarben – Welche Lichtfarbe passt am besten?
- Sehr langlebige Produkte bevorzugen, um Instandhaltungskosten zu minimieren. Eine optimale Lichtausbeute und eine extreme Langlebigkeit lassen sich durch eine genau angepasste Bestromung der LED-Leuchte erreichen. Wie lange sie ihre hohe Leuchtleistung erhalten kann, hängt vom Herstellungsverfahren sowie der Art und Qualität der verwendeten Materialien ab.

Ermitteln des Montageaufwandes für die Umrüstungsmaßnahmen:

- Kosten für die Umrüstung und Elektroarbeiten
- Entsorgungskosten

- Projektumsetzungskosten
- Risiko eines Produktionsausfalls während der Umrüstung

Betriebswirtschaftliche Berechnungen:

- Gegenüberstellung Investitionskosten und Einsparpotenzial
- Mieten, Kaufen, Leasing oder Contracting – Was ist das richtige Modell?
- Prüfung durch Entscheidungskreise im Unternehmen

Die Deutsche Lichtmiete Unternehmensgruppe

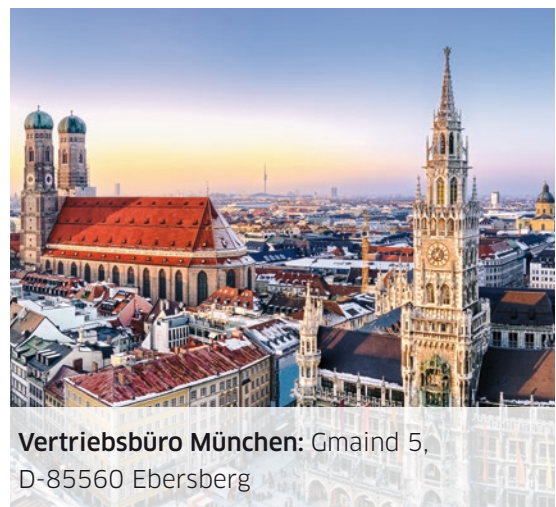
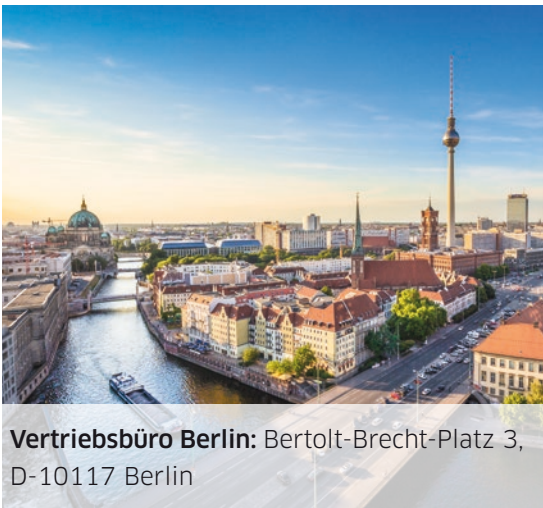
Die Deutsche Lichtmiete Unternehmensgruppe wurde 2008 gegründet. Zur Gruppe gehört auch die Concept Light AG.

Sitz der Gesellschaft: Lindenallee 50,
D-26122 Oldenburg (Oldb.)

Betriebsstätte: Im Kleigrund 14,
D-26135 Oldenburg (Oldb.)

Concept Light AG: Lindenallee 50,
D-26122 Oldenburg (Oldb.)

www.deutsche-lichtmiete.de
Telefon +49 (0)441 209 373-0
Telefax +49 (0)441 209 373-19
info@deutsche-lichtmiete.de



Das Hauptgeschäft der Deutschen Lichtmiete Unternehmensgruppe ist die Vermietung von eigens produzierten, hochwertigen und maximal energieeffizienten LED-Industrieprodukten an bonitätsstarke Unternehmen, die das Produktrisiko und die Finanzierung ihrer neuen LED-Beleuchtungsanlage per Mietvertrag auslagern wollen. Durch die Einbringung und Vermietung eigener LED-Produkte, „Made

in Germany“ ergibt sich auf Kundenseite eine nachhaltige, sofortige Reduktion der Gesamtbetriebskosten für die Beleuchtung inklusive Mietzahlungen zwischen 15 und 35 %.

Ziel der Deutschen Lichtmiete ist – gemeinsam mit ihren Kunden – die Einsparung von über einer Million Tonnen CO₂ bis zum Jahr 2020.



Bild: Deutsche Lichtmiete

Die Unternehmensführung der Deutschen Lichtmiete v.l.:

Christian Effenberger (Leiter Finanzen & Controlling)

Alexander Hahn (Geschäftsführer)

Marco Hahn (Leiter Marketing & Online Strategie)

Roman Teufl (Geschäftsführer Vertriebsgesellschaft für ethisch-ökologische Kapitalanlagen mbH)

Bildnachweise: Cover: Shutterstock, bikeriderlondon; S. 2: Shutterstock, Julia Tim; S. 4 Shutterstock, Vira Mylyan-Monastyrska; S. 5 Electromagnetic spectrum von Horst Frank; S. 6 Fotolia, Urheber: juanjo tugores; S. 7 links Shutterstock, DK.samco; S. 9 Shutterstock, Daimond Shutter; S. 11 Shutterstock, logoboom; S. 14 oben Shutterstock, Artistic Photo; S. 14 unten Fotolia, Urheber: S_E; S. 15 Shutterstock, S.Borisov; S. 17 unten Shutterstock, SARIN KUNTHONG; S. 18 unten Shutterstock, Smileus; S. 19 Shutterstock, Vadim Ratnikov; S. 21 Shutterstock, Jaros; S. 22 Shutterstock, Artens; S. 23 links Shutterstock, Gaieva Tetiana; S. 23 rechts Shutterstock, Pavel L Photo and Video; S. 24 rechts oben Shutterstock, WTM; S. 24 links unten Shutterstock, Syda Productions; S. 24 rechts unten Shutterstock, solarseven; S. 25 Shutterstock, Vladitto; S. 26 oben Shutterstock, T photography; S. 26 unten Shutterstock, Alhovik; S. 27 Shutterstock, Jackthumm, Shutterstock, Drima-Film, Shutterstock, genkur, Shutterstock, HYPERLINK „<http://www.BillionPhotos.com>“ www.BillionPhotos.com, S. 28 Shutterstock, worradirek; S. 29 Shutterstock, dencg; S. 30 Shutterstock, Jackthumm; S. 31 links Shutterstock, Ulrich Mueller; S. 31 rechts Shutterstock, Photographee.eu; S. 37 oben links Shutterstock, canadastock; S. 37 oben rechts Shutterstock, telesnuik; S. 37 unten links Shutterstock, canadastock; S. 37 unten rechts Shutterstock, S. Borisov

