

# EFFIZIENTE BELEUCHTUNG IM KLEINBETRIEB



**energie schweiz**

Unser Engagement: unsere Zukunft.

## INHALT

- 3 Besseres Licht mit weniger Strom
- 4 Licht und Sehen
- 5 Die drei Arten der Lichterzeugung
- 8 Energieetikette für Leuchtmittel
- 9 Kennwerte auf der Lampenverpackung
- 10 Leuchtmittlersatz
- 12 Lampen und Leuchten
- 13 Beurteilung einer Raumbelichtung
- 14 Räume effizient beleuchten

Herausgeber

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE

[www.energieschweiz.ch](http://www.energieschweiz.ch)

S.A.F.E., Schweizerische Agentur für Energieeffizienz

[www.energieeffizienz.ch](http://www.energieeffizienz.ch)

Projektteam

Konzept und Inhalt: Stefan Gasser, Zürich

Gestaltung: Martina Wyss, Basel

Ausgabe Juli 2015

# Besseres Licht mit weniger Strom

---

In der Schweiz werden jährlich rund 10 Milliarden Franken für Elektrizität ausgegeben. 15 Prozent des Stromverbrauchs entfallen auf die Beleuchtung. Mit der neuen LED-Technik und optimaler Lichtregelung können 50 Prozent des Beleuchtungsstroms eingespart werden.

Seit der Erfindung der Sparlampe ist bekannt, dass ein grosser Teil des Beleuchtungsstroms durch effizientere Leuchtmittel eingespart werden könnte. Nun steht mit dem Aufkommen der LED-Technik eine richtige Revolution bei der künstlichen Beleuchtung an, denn die Sparpotenziale bei LEDs sind noch grösser und sie betreffen alle Beleuchtungsanwendungen von Haushalt, Dienstleistung bis zu Industrie und Aussenbeleuchtung. Berücksichtigt man, dass zusätzlich durch intelligente Lichtsteuerung Strom gespart werden kann, dann darf man die Aussage wagen, dass 50 Prozent der Elektrizität für Beleuchtung eingespart werden können – ohne Abstriche beim Komfort. Das wären schweizweit 4500 Gigawattstunden pro Jahr, was dem Stromverbrauch von 1 Million Haushalten entspricht.

Der vorliegende Ratgeber richtet sich an alle Personen, die die Beleuchtung in ihrem Kleinbetrieb effizienter machen wollen. Er liefert grundlegende Informationen zu Licht, den verschiedenen Leuchtmitteln und vor allem zur LED-Beleuchtung. Er erklärt, worauf man beim Ersatz einer wenig effizienten Halogenlampe durch eine LED-Lampe achten muss. Der Ratgeber illustriert die Beleuchtung von typischen Räumen wie Büro, Restaurant oder Werkstatt und liefert Instrumente zur einfachen energetischen und lichttechnischen Beurteilung.

Bei allen Anstrengungen, Energie zu sparen, darf natürlich nicht ausser Acht gelassen werden, dass die Beleuchtung für den grössten Teil unserer Sinneswahrnehmungen verantwortlich ist und dass somit auch der Qualität der Beleuchtung eine wichtige Bedeutung zukommt. Die Vereinbarkeit von guter und gleichzeitig effizienter Beleuchtung ist aber kein Widerspruch. Insbesondere bei hochwertigen LED-Lampen und -Leuchten der neusten Generation ist keine Beeinträchtigung der Lichtqualität gegenüber herkömmlichem Halogenlicht mehr festzustellen. Ein wichtiger Rat beim Kauf einer LED-Lampe oder -Leuchte: Halten Sie Ihre Hand unter den Lichtstrahl der LED und beurteilen Sie die Farbwiedergabe Ihrer Haut. Gefällt Ihnen die Hautfarbe Ihrer Hand?

Die Entwicklung der LED-Technik ist noch lange nicht abgeschlossen. Mit der OLED (Organische LED) soll es in einigen Jahren möglich werden, Licht in dünnen, flexiblen und grossflächigen Materialien zu erzeugen und damit leuchtende Decken und Wände «tapezieren» zu können.

# Licht und Sehen

Über 90 Prozent unserer Wahrnehmungen erfolgen über das Auge. Zum Erkennen unserer Umgebung und zur Orientierung benötigen wir Licht.

Physikalisch gesehen ist Licht eine elektromagnetische Welle, vergleichbar einer Radiowelle, aber mit viel höherer Frequenz. Weisses Licht setzt sich zusammen aus Licht verschiedener Farben, die etwa beim Regenbogen oder durch ein Prisma sichtbar werden. Trifft das weisse Licht auf Regentropfen in der Luft, so wird es abgelenkt. Und da die verschiedenen Lichtfarben unterschiedlich stark abgelenkt werden, entsteht das ganze Spektrum des weissen Lichts – angefangen bei Rot über Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett – stets in derselben Reihenfolge.



Die Seh- und Wahrnehmungsfähigkeiten des menschlichen Auges sind enorm. Mit dem Augapfel, der um Vieles kleiner ist als ein gutes Fotoobjektiv, kann das Auge zusammen mit einem wenige Quadratzentimeter kleinen Rechenzentrum im Gehirn Bilder erzeugen, die jenen der besten Fotokamera weit überlegen sind. Die Bandbreite der Helligkeit, die das Auge verarbeiten kann, geht von sehr dunkel bis sehr hell – in einem Verhältnis von 1 zu 1 Million. Bei Vollmond misst man auf dem Boden eine Beleuchtungsstärke von nur gerade 0,2 Lux während bei Sonnenschein bis 100'000 Lux messbar sind. Bei beiden Lichtsituationen kann sich der Mensch gut orientieren. Die Tatsache der grossen Adaptionsfähigkeit des menschlichen Auges ist auch für das Energiesparpotenzial bei der Beleuchtung von Bedeutung: Werden beispielsweise in einem Büro zu viele oder zu helle Leuchten eingesetzt, dann passt sich das Auge einfach an, der Stromverbrauch ist aber bei 1000 Lux Beleuchtungsstärke doppelt so hoch wie bei 500 Lux. Eine richtig dimensionierte Beleuchtung spart also viel Energie.

Licht ist mehr als Beleuchtung. Licht hat auch einen biologischen Effekt auf den Menschen und kann aktivierend, motivierend, entspannend oder beruhigend wirken. Es kann zum Beispiel Winterdepressionen mildern, den Schlaf-Wach-Rhythmus regulieren oder die Leistungsfähigkeit erhöhen.

# Die drei Arten der Lichterzeugung

Es gibt drei verschiedene Prinzipien, um elektrisches Licht zu erzeugen. Und jedes der am Markt erhältlichen Leuchtmittel kann einem dieser drei Typen zugeordnet werden:



**Temperaturstrahler**  
alle Glüh- und  
Halogenlampen



**Entladungslampen**  
Leuchtstoffröhren,  
Sparlampen, Stadion-  
und Strassenlampen



**Leuchtdioden**  
LED-Lampen

Bei Glüh- und Halogenlampen wird das Licht durch Erhitzung eines Metalldrahts erzeugt. Dabei werden nur 3 bis 7 Prozent des zugeführten Stroms in Licht umgewandelt, der Rest ist Abwärme. Das Prinzip der Glühlampe ist mit demjenigen der Sonne oder des Feuers verwandt; deshalb wird auch die Lichtqualität als sehr angenehm empfunden. Nach dem Verbot der klassischen Glühlampe hat die Halogenlampe, bei der es sich um eine optimierte Glühlampe handelt, deren Platz eingenommen.

Das verbreitetste Leuchtmittel der Kategorie «Entladungslampen» ist die Leuchtstoffröhre, die meist «Neonröhre» genannt wird – die aber kein Neon enthält, weshalb die Bezeichnung falsch ist. Die Lichterzeugung bei der Leuchtstofflampe entspricht im Prinzip der-

jenigen eines Gewitters. Die einzelnen Blitze werden aber so schnell abgefeuert, dass das Auge die einzelnen Entladungen nicht wahrnehmen kann. Bei Entladungslampen werden rund 25 Prozent des zugeführten Stroms in Licht umgewandelt. Die Sparlampe ist eine miniaturisierte Leuchtstoffröhre.

LED steht für «Licht emittierende Diode» und ist ein Bauteil aus der Elektronik. Das Funktionsprinzip ähnelt demjenigen einer Solarzelle, der Prozess läuft aber in umgekehrter Richtung ab. Während bei einer Solarzelle das auf einen Silizium-Halbleiter auftreffende Sonnenlicht in Strom umgewandelt wird, erzeugen LEDs oder Leuchtdioden Licht durch Stromzufuhr auf einem Halbleiter. Die LED-Beleuchtung wird in absehbarer Zeit zur wichtigsten Lichtquelle werden.

## Vor- und Nachteile der drei Leuchtmitteltypen

In der Tabelle sind die wichtigsten Kriterien, die technischen Kennwerte und deren Bewertung für die drei Lampentypen aufgelistet.

	HALOGENLAMPE	SPARLAMPE	LED-LAMPE
Energieeffizienz	niedrig 15 – 20 Lumen pro Watt	hoch 40 – 60 Lumen pro Watt	sehr hoch 60 bis über 100 lm/W
Lebensdauer	gering 2000 Std.	hoch 6000 – 15'000 Std.	sehr hoch 10'000 – 50'000
Ein/Aus-Schaltungen	sehr gut > 500'000	schlecht bis sehr gut 3000 – 500'000	genügend bis sehr gut 10'000 – 500'000
Aufstartzeit bis zur vollen Lichtleistung	sehr gut Sofortstart	unbefriedigend 20 – 180 Sek.	sehr gut Sofortstart
Farbwiedergabe	sehr gut 100	gut 80	gut bis sehr gut 80 – 95
Dimmbarkeit	ja, alle Lampen	wenige	viele
Anteil Graue Energie*	sehr niedrig ca. 2%	niedrig max. 10%	niedrig max. 10%
Entsorgung	Hausmüll	Sondermüll zurück in den Laden	Elektroschrott zurück in den Laden
Kaufpreis	2 CHF	ca. 10 CHF	10 bis 50 CHF
Betriebskosten während 6000 Stunden	60 CHF	15 CHF	10 CHF

\* *Graue Energie = Energie für Herstellung und Entsorgung*

## Die Entstehung der LED-Lampe

Die Entwicklung der LEDs geht in die 1960er Jahre zurück. Die roten Lämpchen waren damals nicht sehr effizient und wurden unter anderem für die ersten Digitalanzeigen in Uhren eingesetzt. Erst durch jahrzehntelange technische Entwicklung ist es gelungen, auch andere Farben herzustellen, nämlich gelbe, dann grüne und zuletzt blaue LEDs. Mit der Entwicklung der blauen LED in den 1990er Jahren war es schliesslich möglich, durch Mischung der Grundfarben Rot, Grün und Blau auch weisses Licht zu erzeugen. Die Qualität dieses weissen Lichts war aber anfänglich nicht sehr hoch, denn im Farbspektrum der Misch-LEDs fehlten sehr viele Zwischenfarbtöne. Statt durch Farbmischung der Grundfarben begann man, das blaue LED-Licht durch Beschichtung mit Phosphor in weisses Licht zu

konvertieren. Dadurch erhielt man ein kontinuierliches Farbspektrum. Die Beschichtungstechnik wurde in den darauffolgenden Jahren laufend optimiert; gleichzeitig gelang es, immer mehr Licht aus den LEDs herauszuholen.

In kaum einem anderen technischen Bereich hat sich ein Produkt so lange gehalten wie die Glühlampe, die Thomas Edison um das Jahr 1880 auf den Markt gebracht hat. Die LED-Technik revolutioniert die Beleuchtung und der Ablösungsprozess wird wohl ähnlich verlaufen wie beim Übergang von der Schreibmaschine zum Computer oder von der Schallplatte zur Compact-Disc. Zusätzlich wird der Wandel von der Glüh- zur LED-Lampe durch die gesetzlichen Bestimmungen mit dem Verbot der klassischen Glühlampe beschleunigt.

## Vielfache Vorteile von LEDs

Neben der Energieeffizienz besitzen LEDs weitere Eigenschaften, die sie auszeichnen:

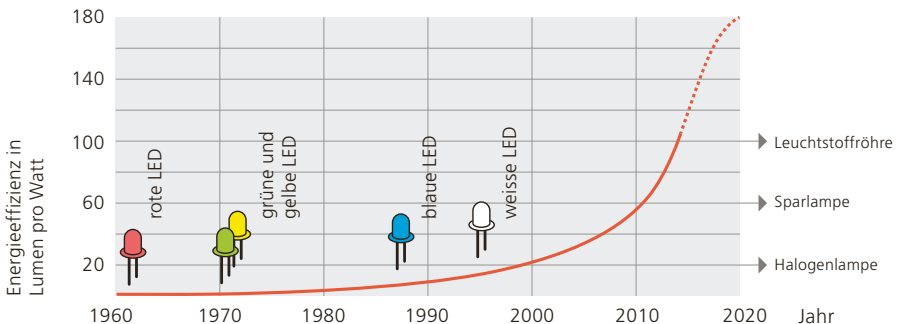
- Der Lichtstrahl von LEDs ist praktisch frei von Ultraviolett- und Infrarot-Licht. Deshalb wurden sie bereits früh – trotz der damals hohen Anschaffungspreise – in Museen und Lebensmittelläden eingesetzt. Der Alterungsprozess von Farbe auf Bildern oder auf Frischwaren ist unter LED-Licht deutlich reduziert, Bilder bleichen weniger aus und Wurstwaren bleiben länger frisch. Bei den Supermärkten ist LED heute bei jeder Erneuerung der Beleuchtung Standard.
- Mit LED-Technik kann man mit einer einzigen Leuchte jede beliebige Lichtfarbe und auch verschiedene Weisstöne von warm bis kalt erzeugen. Man spart sich teure und ineffiziente Filter und kann sehr viele Lichtwirkungen per Knopfdruck erzeugen. In Verkaufsgeschäften werden häufig farbvariable Strahler eingesetzt, um die Ware möglichst optimal erscheinen zu lassen.
- LED-Leuchten können sehr miniaturisiert gebaut und deshalb fast überall montiert werden. Das LED-Licht kann sehr präzise gerichtet werden, was zum Beispiel in der Strassenbeleuchtung von grossem Nutzen

ist, um unerwünschtes Streulicht an Häuserfassaden zu vermeiden. Die Strasse ist hell und die Schlaf suchenden Menschen werden nicht geblendet.

- LED lässt sich in der Helligkeit perfekt und verlustfrei anpassen: So gibt beispielsweise die LED-Bürostehleuchte genau so viel Licht, wie benötigt wird, eine Überdimensionierung kann verhindert werden.

LED kann zumindest einen grossen Nachteil haben. Durch die vielfältigen und vor allem auch sehr kleinen Konstruktionsmöglichkeiten und die sehr hohe Effizienz verleitet das neue Licht dazu, auch an zahlreichen Orten installiert zu werden, wo bisher überhaupt kein Licht war: im Schrank, in Nischen, im Handlauf der Treppe oder an der ganzen Fassade – überall wird LED installiert. Und dieses neue Licht kann noch so effizient sein, es braucht mehr Strom als kein Licht. Ein gewisser Teil des Effizienzgewinns durch LED wird also durch neue Anwendungen wieder verloren gehen – ein Rebound-Effekt, den man auch bei anderen Geräten feststellen kann. So sind zum Beispiel moderne Fernseher deutlich effizienter als alte – aber auch deutlich grösser und benötigen dadurch viel Energie.

ENTWICKLUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ UND FARBEN VON LEDs



# Energieetikette für Leuchtmittel

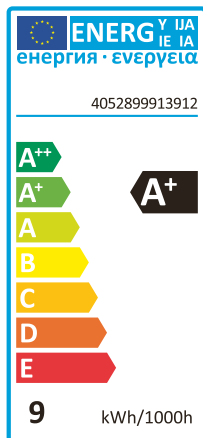
Leuchtmittel müssen in der EU und in der Schweiz mit einer Energieetikette versehen werden. Diese gibt Auskunft über den Energieverbrauch und die Energieeffizienz eines Leuchtmittels.

Sieben farbige Pfeile repräsentieren die Effizienzklassen: Der dunkelgrüne Pfeil steht dabei für die Klasse mit dem niedrigsten Energieverbrauch, der rote Pfeil für diejenige mit dem höchsten. Der schwarze Pfeil auf der rechten Seite der Etikette markiert die Klasse des jeweiligen Leuchtmittels. Bei der seit Anfang 2013 neu aufgelegten Etikette steht A++ für die beste, E für die schlechteste Energieeffizienzklasse.

Die Energieeffizienz eines Leuchtmittels gibt das Verhältnis zwischen der abgestrahlten Lichtmenge (Lichtstrom in Lumen) und der zugeführten elektrischen Leistung in Watt an. Je höher dieser Wert ist, desto effizienter ist das Leuchtmittel bzw. desto niedriger sein Energieverbrauch. Die Tabelle zeigt typische Leucht-

mittel, die alle dieselbe Lichtmenge abgeben und dabei unterschiedliche Leistungsaufnahmen bzw. Energieeffizienzwerte aufweisen. Die effizienteste LED-Lampe ist fast zehn Mal besser als die ineffiziente Glühlampe, die seit 2013 nicht mehr verkauft werden darf.

Der Gesetzgeber sieht vor, dass ab 2018 nur noch Leuchtmittel verkauft werden dürfen, die mindestens Klasse B aufweisen. Leuchtmittel, für die es dann keine wirtschaftliche Alternative gibt, werden von diesem Verbot ausgenommen sein. Zu diesen Ausnahmen wird die Halogenstablampe gehören, die in vielen indirekt strahlenden Stehleuchten eingesetzt wird und bis zum Jahr 2018 nicht durch eine wirtschaftliche LED-Lösung ersetzt werden kann.



Klasse	Leuchtmitteltyp	Leistung in Watt	Energieeffizienz in Lumen pro Watt
A++	LED-Lampen	7	114
A+	LED- und Leuchtstofflampen	11	73
A	Spar- und Leuchtstofflampen	15	53
B	Beste Halogenlampen	40	20
C	Gute Halogenlampen	50	16
D	Standard-Halogenlampen	60	13
E	(verbotene) Glühlampen	grösser 60	kleiner 13

Lichtstrom der hier aufgeführten Leuchtmittel: 800 Lumen



# Kennwerte auf der Lampenverpackung

Neben der Energieetikette müssen auf der Lampenverpackung weitere Kennwerte angegeben sein, die beim Kauf eines Leuchtmittels behilflich sind:

## 1 Leistungsaufnahme (Watt)

Die elektrische Leistung, die von der Steckdose bezogen wird. Bei der Vielfalt der neuen und unterschiedlich effizienten Leuchtmittel kann nicht mehr von der Leistung auf eine bestimmte Lichtmenge geschlossen werden.

## 2 Lichtstrom (Lumen)

Die vom Leuchtmittel in den Raum abgegebene Lichtmenge. Der Lichtstrom ist die richtige Basisgröße, um die Helligkeit von Leuchtmitteln zu vergleichen.

## 3 Lebensdauer (Stunden)

Die mittlere zu erwartende Lebensdauer, bis das Leuchtmittel defekt ist.

## 4 Farbtemperatur (Kelvin)

Bei LED- und Sparlampen wird zwischen warmweiss (Farbtemperatur 2700 bis 3000 Kelvin), neutralweiss (4000 Kelvin) und tageslichtweiss (6500 Kelvin) unterschieden.

## 5 Quecksilbergehalt (Milligramm)

Sparlampen enthalten geringe Mengen an Quecksilber. LED- und Halogenlampen sind frei von Quecksilber.

## 6 Farbwiedergabe Ra

Die Qualität des Lichts in Bezug auf Echtheit der beleuchteten Farben. Ein Ra-Wert von 80 ist für gutes Licht Voraussetzung. Sehr gute

LED-Lampen erreichen 85 bis 90, Halogenlampen sind mit 100 optimal.

## 7 Dimmbarkeit

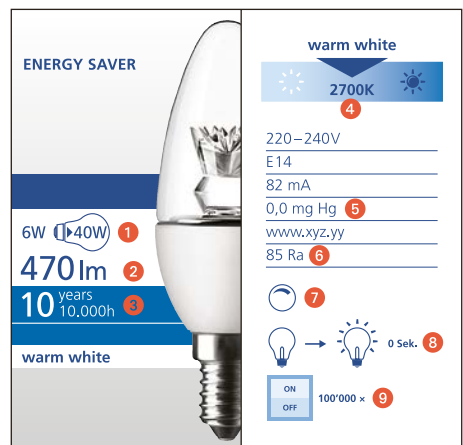
Halogenlampen lassen sich immer dimmen, bei LED-Lampen sind dimmbare Modelle als solche gekennzeichnet.

## 8 Aufstartzeit (Sekunden)

Zeit bis zum Erreichen der vollen Lichtstärke. Bei Sparlampen kann diese Zeit mehrere Minuten betragen, LED- und Halogenlampen starten sofort.

## 9 Schaltfestigkeit

Anzahl der möglichen Ein/Aus-Schaltungen, bis das Leuchtmittel defekt ist. Sehr gute Werte liegen über 100'000 Ein/Aus-Schaltungen. Niedrige Werte von etwa 5000 können die angegebene Lebensdauer bei intensiverem Gebrauch deutlich senken.



Vergleiche Nummern mit der Verpackung

# Leuchtmittlersatz

Mit dem Verbot der Glühlampen sind die preiswerten Halogenlampen in den meisten Fällen zu Standardlampen geworden. Langfristig rentiert sich aber der Kauf der etwas teureren LED-Lampen durch die grossen Einsparungen an Stromkosten. Beim Ersatz einer Halogenlampe durch ein effizienteres Leuchtmittel können drei Fälle unterschieden werden:

## KLASSISCHE LAMPEN

**1** Eine **Halogenlampe in klassischer Birnenform** kann sowohl durch eine Sparlampe als auch durch eine LED-Lampe ersetzt werden. Alle Leuchtmittel weisen in der Regel ein so genanntes Edisongewinde mit 27 oder 14 Millimeter Durchmesser auf (E27 oder E14). LED-Lampen sind bezüglich Lichtqualität und Energieeffizienz den Sparlampen heute deutlich überlegen, sind jedoch zurzeit teurer und noch nicht in allen Leistungsklassen im Angebot.



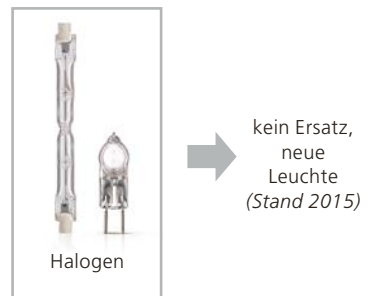
## SPOTS

**2** Eine **Halogen-Spotlampe** kann sinnvoller Weise nur durch LED ersetzt werden. Es gibt Modelle für 230 Volt und solche für 12 Volt. Die kleinen 230-Volt-Spots haben meist den Sockeltyp GU10 (10 Millimeter Stiftabstand), grössere Spots das Edisongewinde E27. Auch die 12-Volt-Halogenspots (Sockel GU 5.3 = 5.3 Millimeter Stiftabstand) können durch entsprechende LED-Spots ersetzt werden.



## STIFTLAMPEN

**3** Für **Halogen-Stiftlampen** gibt es zurzeit keinen LED-Ersatz. Aus technischen Gründen wird ein entsprechendes Ersatzprodukt auch in naher Zukunft nicht erhältlich sein. Will man also eine effiziente Stehleuchte ohne Halogenleuchtmittel, dann muss man eine neue Leuchte kaufen, die speziell für die Anforderungen der LED-Technik konzipiert wurde. Es gibt bereits zahlreiche LED-Leuchten mit fest verbauten LEDs, die sehr grosse Lichtmengen abgeben.



## Das grosse Fragezeichen vor dem Verkaufsregal

Das riesige Angebot an Leuchtmitteln im Verkaufsregal stellt für die meisten Kunden eine Herausforderung dar. Neben dem Entscheid zum Leuchtmitteltyp (Halogen-, Spar- oder LED-Lampen) stellt sich die Frage, welche Leistung man benötigt, um mit welchem Leuchtmittel, welche Helligkeit zu erreichen. Die Tabelle zeigt, dass die Leistungen der Leuchtmitteltypen sehr unterschiedlich sind und der Lichtstrom für die Wahl entscheidend ist. So kann man eine Lichtmenge von 806 Lumen

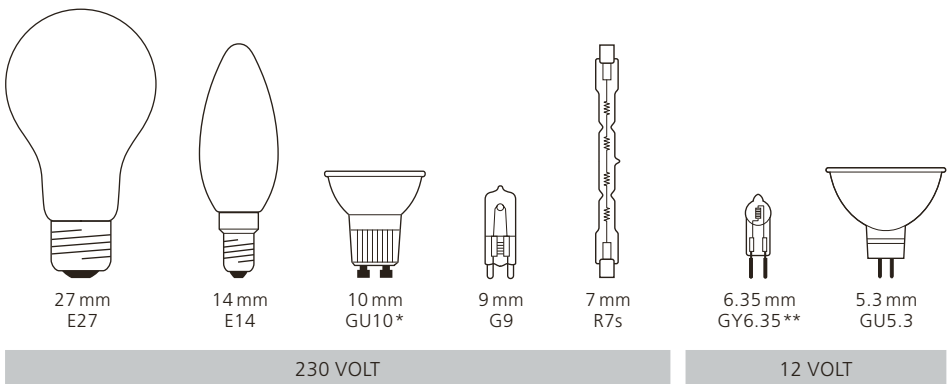
mit einer 60-Watt-Glühlampe, einer 48-Watt-Halogenlampe, einer 12-Watt-Sparlampe oder einer 8-Watt-LED-Lampe erzeugen. Bei den LED-Lampen ist zudem je nach Fabrikat und technischem Stand das Verhältnis zwischen elektrischer Anschlussleistung und abgebenem Lichtstrom unterschiedlich. Die von den Glühlampen bekannten Wattzahlen sind für die neuen Leuchtmitteltypen nicht standardisiert und man muss sich häufig für eine hellere oder eine weniger helle Ersatzlampe entscheiden. Am besten orientiert man sich am Lichtstrom bzw. an der Lumenzahl.

Lichtstrom*	Glühlampe	Halogen	Sparlampe	LED
1521 lm	100 W	80 W	20 W	15 bis 20 W
1055 lm	75 W	60 W	15 W	10 bis 15 W
806 lm	60 W	48 W	12 W	8 bis 12 W
470 lm	40 W	32 W	8 W	6 bis 8 W
249 lm	25 W	20 W	5 W	3 bis 5 W
136 lm	15 W	12 W	3 W	2 bis 3 W
<b>Einsparung</b>		<b>-20%</b>	<b>-80%</b>	<b>-80 bis -90%</b>

\* Referenzlichtströme für LED-Lampen

Es gibt verschiedenen Gewinde oder Sockel für die einzelnen Leuchtmitteltypen. Zudem können die Leuchtmittel verschiedene Formen

haben. Die häufigsten Typen sind in der Abbildung dargestellt, Sockel und Formen können auch andere Kombinationen aufweisen.



\* auch E27 und E14 \*\* kleine Leistungen, mit Sockel G4

# Lampen und Leuchten

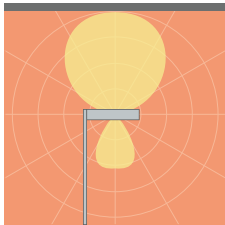
Im täglichen Sprachgebrauch wird häufig der Ausdruck «Lampe» statt des korrekten Begriffs «Leuchte» verwendet. Mit der Leuchte ist das Ensemble von Leuchtmittel, Gehäuse, Reflektor und integrierter Elektronik gemeint. Die Lampe meint das Leuchtmittel, umgangssprachlich auch «Birne» genannt. Mit dem Eintritt ins LED-Zeitalter verschwindet das auswechselbare Leuchtmittel mehr und mehr. Leuchtdioden werden zum integralen Bestandteil einer ganzen Leuchte. Die hohe Lebensdauer der LEDs macht einen Leuchtmittelwechsel künftig überflüssig.

Es werden verschiedene Arten von Leuchten unterschieden, die für unterschiedliche Zwecke

zur Anwendung kommen. Der Reflektor der Leuchten sorgt dafür, dass das abgegebene Licht in die gewünschte Richtung strahlt und nicht blendet. Für jede Leuchte gibt es eine Lichtverteilkurve (Kurve mit gleicher Lichtstärke, analog zu Höhenlinien in topografischen Karten), an der man die Abstrahleigenschaften ablesen kann.

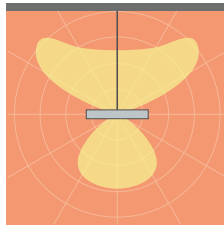
Analog zur Energieetikette bei den Leuchtmitteln, wird auch für Leuchten die Energieeffizienz in Lumen pro Watt (lm/W) angegeben, wobei Werte ab 70 lm/W als gut und solche ab 100 lm/W als sehr gut bezeichnet werden können. Die besten (nach Minergie zertifizierten) Leuchten findet man unter [www.toplicht.ch](http://www.toplicht.ch)

## TYPOLOGIE DER LEUCHTEN MIT LICHTVERTEILKURVEN



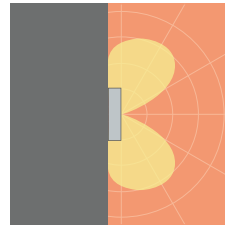
**Stehleuchte**

60–100 W / 5000–12'000 lm\*



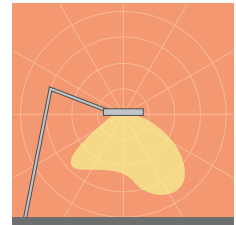
**Pendelleuchte**

20–100 W / 1500–12'000 lm\*



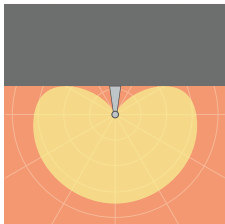
**Wandleuchte**

10–40 W / 700–4000 lm\*



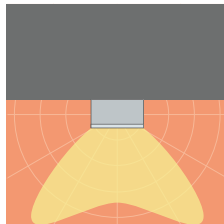
**Tischleuchte**

5–20 W / 350–2000 lm\*



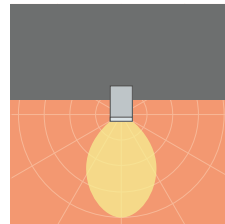
**Lichtleiste**

20–100 W / 1500–12'000 lm\*



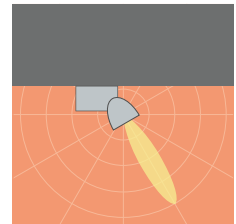
**Deckenleuchte**

20–100 W / 1500–12'000 lm\*



**Downlighter**

10–40 W / 700–4000 lm\*



**Spot**

4–30 W / 200–3000 lm\*

\* Leistungsbereich / Lichtstrombereich

# Beurteilung einer Raumbeleuchtung

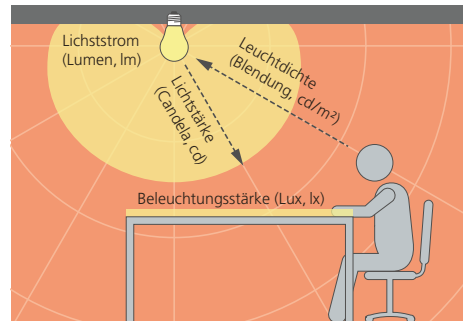
Die drei wichtigsten Beurteilungsgrößen einer Raumbeleuchtung sind die Beleuchtungsstärke, die installierte elektrische Leistung und die Blendung.

Die **Beleuchtungsstärke** gibt an, wie hell eine Fläche (z.B. auf dem Tisch, dem Boden oder an einer Wand) sein soll. Je nach Sehaufgabe sind verschiedene Beleuchtungsstärken notwendig. Für die Messung wird ein Luxmeter (Lux = lateinisch für Licht) verwendet. Das Gerät wird an verschiedenen Stellen im Raum auf die Tische oder den Boden gelegt und der Sensor in Richtung der Decke gerichtet. Der Mittelwert der verschiedenen Messwerte ergibt die mittlere Beleuchtungsstärke im Raum.

Die **installierte Leistung** ist die Summe aller elektrischen Leistungen der Lampen und Leuchten im Raum. Sie wird zur Beurteilung meist als spezifische Leistung pro Quadratmeter Raumfläche ( $W/m^2$ ) angegeben. In Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke und der Art des verwendeten Leuchtmittels ergeben sich für einen normal hellen Raum ( $36\text{ m}^2$  Grundfläche) die in der Tabelle dargestellten benötigten installierten Leistungen.

Für die Beurteilung der **Blendung** gelten folgende Kriterien:

- Punktförmige Lichtquellen (z.B. Spots) sollen so angeordnet werden, dass der Lichtstrahl nie direkt ins Gesichtsfeld der Personen in einem Raum zeigt.
- Bei sehr gut entblendeten Leuchten hat der Betrachter aus normaler Position keinen direkten Blickkontakt zum Leuchtmittel.
- Auch Leuchten mit Milchglas- oder prismatischen Abdeckungen können gut entblendet sein: Je grösser die leuchtende Fläche einer Leuchte, desto geringer ist ihre Blendung.



Zusammenhang zwischen der Beleuchtungsstärke und den Leuchten- und Lampenkennwerten Lumen und Candela sowie der Blendung

Anwendung	Beleuchtungsstärke (Lux)	Installierte Leistung ( $W/m^2$ )		
		LED	Leuchtstoff	Halogen
Boutique, Shop	700	7 bis 14	21	84
Büro, Schulzimmer	500	5 bis 10	15	60
Werkstatt, Aufenthaltsraum	300	3 bis 6	9	36
Restaurant, Treppenhaus	200	2 bis 4	6	24
Korridor, WC, Lager	100	1 bis 2	3	12



## Räume effizient beleuchten

### Beleuchtung im Büro

Für eine gute Bürobeleuchtung sind folgende Aspekte wichtig:

- Die Arbeitsflächen sollen eine minimale Beleuchtungsstärke von 500 Lux aufweisen und die Lichtverteilung auf den Tischen soll möglichst gleichmässig sein. Ausserhalb der Arbeitstische genügen 300 Lux.
- Die Leuchten sollten so konstruiert und positioniert werden, dass keine störende Direktblendung am Arbeitsplatz entsteht. Leuchten ohne Blendschutz sind für Büroarbeit ungeeignet.
- Als Berechnungsgrundlage für eine effiziente Bürobeleuchtung können 6 bis 10 W/m<sup>2</sup> Grundfläche angenommen werden (je nach Leuchtentyp und Raumhelligkeit).

Ein 3-Personen-Büro mit 36 m<sup>2</sup> Grundfläche benötigt also Leuchten mit einer Gesamtleistung von 216 bis 360 Watt.

- Die Helligkeit von Wänden und Mobiliar hat einen grossen Einfluss auf die benötigte Lichtmenge. In dunklen Räumen (dunkle Möbel, Sichtbeton, farbige Wände) werden 50 Prozent mehr künstliches Licht benötigt als in hellen Räumen (helle Möbel, weisse Wände und Decken).

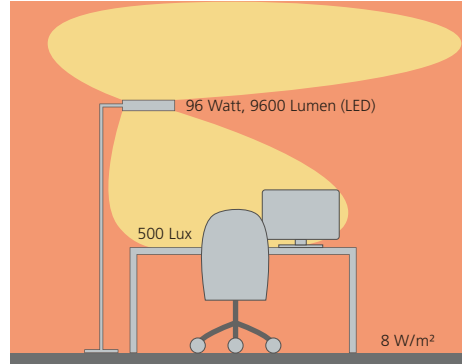
*\* Annahmen für die Zahlenwerte in den Grafiken:*

- Raumgrösse:  $L \times B \times H = 6 \times 6 \times 3$  Meter
- durchschnittliche Raumhelligkeit
- Beispielhafte Kennwerte für gute LED-Leuchten, reale Werte können abweichen

## Drei typische Beleuchtungsmöglichkeiten für Arbeitsplätze\*

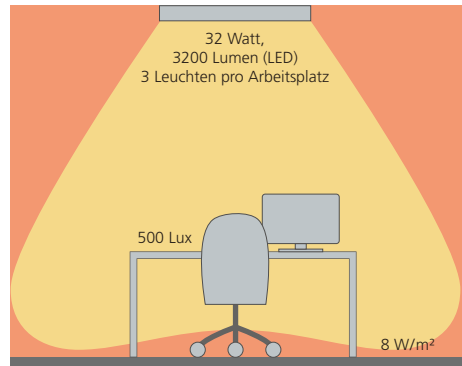
### Stehleuchten

Die Leuchten werden arbeitsplatzorientiert aufgestellt und können je nach Leistung und Möblierung ein bis vier Arbeitsplätze beleuchten. Eine effiziente Einzelplatz-Bürostehleuchte hat eine Leistung zwischen 80 und 100 Watt. Viele Stehleuchten haben eingebaute Lichtsensoren, die das künstliche Licht in Abhängigkeit von Personenanwesenheit automatisch ein- und ausschalten beziehungsweise bei genügend Tageslicht die Lampen dimmen.



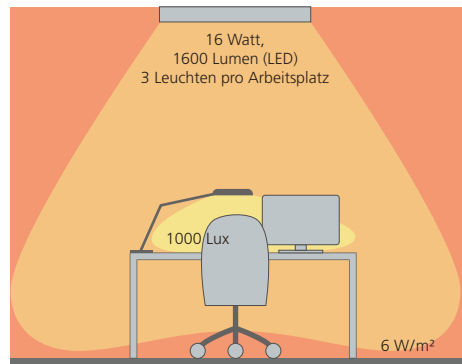
### Deckenleuchten (oder Pendelleuchten)

Die Leuchten werden unabhängig von den Arbeitsplätzen an der Decke nach einem definierten Raster montiert. Die Beleuchtungsstärke ist meist im ganzen Raum gleichmässig verteilt. Je nach Leuchtenleistung, Raumgeometrie und Belegungsdichte sind ein bis drei Leuchten pro Arbeitsplatz nötig. Oft werden zusätzliche Präsenzmelder montiert, die das Kunstlicht bei Abwesenheit von Personen oder bei genügend Tageslicht automatisch abschalten.



### Tisch- und Deckenleuchten

Die Kombination von Tisch- und Deckenleuchten ist eine sehr effiziente Lichtlösung. Die Deckenleuchten bringen die Grundbeleuchtung mit ca. 300 Lux und die Tischleuchten auf den Arbeitsflächen das notwendige Zusatzlicht. Diese Lösung ist vor allem für ältere Arbeitnehmer ideal, denn mit Tischleuchten kann mit wenig Leistung sehr viel Licht (1000 Lux) am richtigen Ort bereitgestellt werden. Eine moderne LED-Tischleuchte benötigt nur 10 bis 15 Watt Anschlussleistung.





N5 Kochloft, Worb

## Beleuchtung im Restaurant

Bei der Restaurantbeleuchtung sind folgende Punkte zu beachten:

- Die durchschnittlich benötigte Beleuchtungsstärke beträgt 200 Lux. Mit effizienten LED-Leuchten lässt sich diese Helligkeit mit 3 bis 4 W/m<sup>2</sup> Restaurantfläche erzielen. Mit herkömmlichen Halogenlampen liegt die Anschlussleistung um Faktor 5 bis 10 höher!
- Das Hauptkriterium einer Restaurantbeleuchtung ist nicht die mittlere Beleuchtungsstärke, sondern die optimale Beleuchtung der Esstische und die Gesamtlichtstimmung im Raum. Wichtig ist vor allem, dass die Gäste durch die Beleuchtung nicht geblendet werden.
- Die Anforderung an eine optimale Beleuchtung der Esstische und eine flexible Positio-

nierung der Tische stehen sich oft unvereinbar gegenüber. Optimal wäre, wenn Tische und Leuchten miteinander umplatziert werden könnten.

- Die Umrüstung einer konventionellen Halogen-Beleuchtung auf eine effiziente LED-Beleuchtung amortisiert sich schnell: In einem 100 m<sup>2</sup> grossen Restaurant können pro Jahr schnell mehr als 1000 Franken Stromkosten eingespart werden.

\* Annahmen für die Zahlenwerte in den Grafiken:

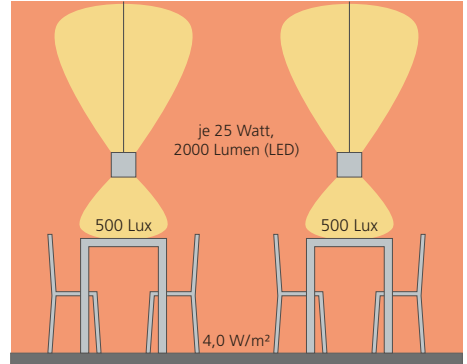
- Raumgrösse:  $L \times B \times H = 6 \times 6 \times 3$  Meter
- durchschnittliche Raumhelligkeit
- beispielhafte Kennwerte für gute LED-Leuchten, reale Werte können abweichen



## Drei typische Beleuchtungsmöglichkeiten für Restaurants\*

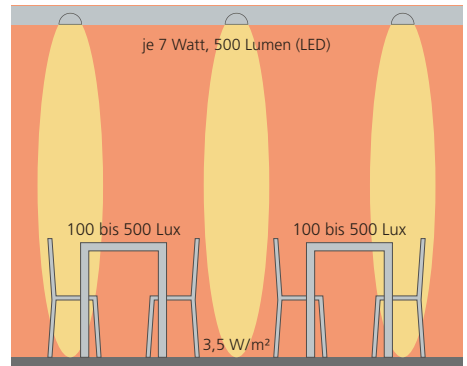
### Pendelleuchten

Jeder Tisch hat eine eigene Leuchte und ist gleichmässig hell beleuchtet, der Hintergrund bleibt eher dunkel. Je nach Abstrahlung (direktes oder direkt-indirektes Licht) entsteht eine andere Lichtwirkung. Die Leuchten sollen so gehängt werden, dass niemand geblendet und gleichzeitig der Blick zum Tischnachbarn nicht beeinträchtigt wird. (Montagehöhe: 60 bis 80 cm über dem Tisch). Eine LED-Leuchte mit einer Leistung von 15 bis 25 W (2000 Lumen) beleuchtet ein 4-Personen-Tisch optimal.



### Deckeneinbauspots

Die Spots werden unabhängig von den Tischen nach einem Raster an der Decke montiert. Diese verbreitete Lichtlösung ermöglicht eine flexible Positionierung der Esstische. Da die einzelnen Tische aber unterschiedlich hell beleuchtet werden, ist diese Installation für die Gäste (die «zufällig» im Dunkeln sitzen) eher ungünstig. Mit 50 LED-Spots à 7 Watt (500 Lumen) kann eine 100 m<sup>2</sup> grosse Restaurantfläche mit durchschnittlich 200 Lux beleuchtet werden.



### Deckenleuchte

Eine gleichmässige Beleuchtungsstärke bei gleichzeitiger Flexibilität der Tischanordnung kann man mit breit strahlenden Deckenleuchten erreichen. Der Lichteindruck bringt hier weniger Ambiente, was aber nicht negativ sein muss. Für eine gute Atmosphäre bei frei strahlenden Deckenleuchten ist hauptsächlich die Innenarchitektur verantwortlich und weniger die Leuchtauswahl. Mit fünf LED-Leuchten à 70 Watt (5600 Lumen) lassen sich 100 m<sup>2</sup> Restaurantfläche mit rund 200 Lux beleuchten.

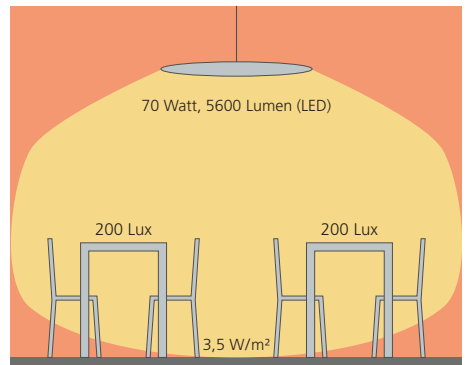




Foto: Micha Reichsteiner, Worb

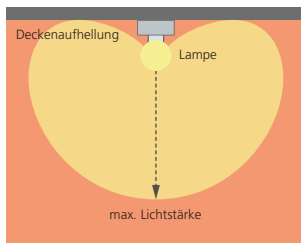
Eicher Holzwaren AG, Schwarzenegg

## Beleuchtung von Werkstätten, Hallen und Lagern

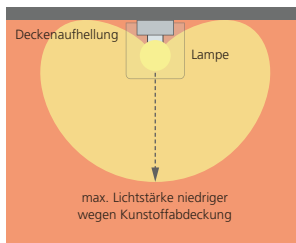
In grossflächigen Räumen wie Werkhallen, Hallen, Lagern, Garagen oder einfachen Verkaufsflächen werden meist Decken- oder Pendelleuchten eingesetzt. Je nach Anwendung sind die Leuchten freistrahlend, mit

einer Kunststoffabdeckung geschützt oder mit einem einfachen Reflektor versehen. Bis vor kurzem waren diese Leuchten meist mit Leuchtstoffröhren bestückt.

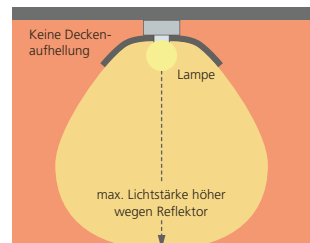
### DREI TYPEN VON DECKENLEUCHTEN MIT LICHTVERTEILKURVEN



*Deckenleuchte freistrahlend*



*Geschlossene Deckenleuchte*



*Deckenleuchte mit Reflektor*

Die Erneuerung der vorhandenen Beleuchtung durch eine LED-Lösung kann bis zu 50 Prozent der Energiekosten sparen. Dabei sind zwei Vorgehensweisen zu unterscheiden:

### Ersatz der Leuchtmittel

Die Leuchtstoffröhren werden durch LED-Röhren ersetzt, die in dieselben Sockel passen wie die herkömmlichen Röhren (Typ «G13» für die Röhren mit 26 mm Durchmesser und Typ «G5» für Röhren mit 16 mm Durchmesser). Bei alten Leuchten mit konventionellen Vorschaltgeräten muss neben der Lampe zusätzlich der Starter ersetzt werden. Bei Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten muss in einigen Fällen das Vorschaltgerät ersetzt werden. Hier ist eine fachmännische Beratung notwendig. LED-Röhren haben gegenüber den herkömmlichen Leuchtstofflampen etwa die halbe Anschlussleistung (z.B. 25 statt 58 Watt) und strahlen in der Regel nur in den unteren Halbraum, so dass das unnötige Licht gegen die Decke entfällt.

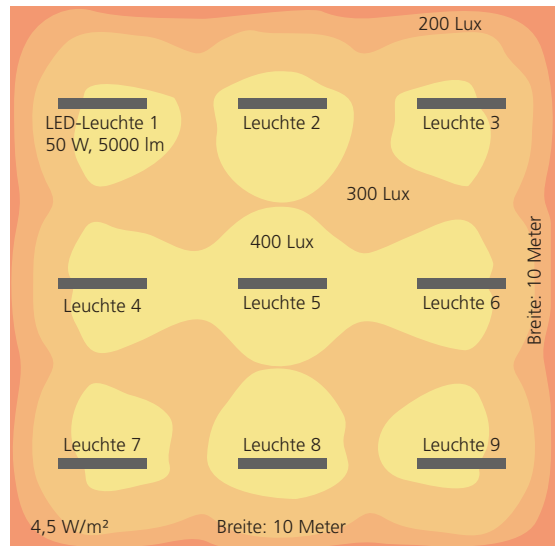
### Ersatz der Leuchten

Die gesamte Leuchte wird entfernt und an gleicher Stelle eine komplette LED-Leuchte mit fest verbauten LEDs installiert. Gegenüber dem Leuchtmittlersatz durch LED-Röhren hat diese Variante den Vorteil, dass sie technisch besser abgestimmt und konstruktiv stabiler ist, was weniger Unterhaltsaufwand bedeutet. Die Kosten einer neuen LED-Leuchte sind höher als der Ersatz durch LED-Röhren, auf lange Sicht kann diese Lösung jedoch wirtschaftlicher sein.

### Anordnung der Leuchten im Raum

Die Leuchten werden meist in einem symmetrischen Raster mit gleichen Abständen an der Decke montiert. Dadurch wird eine relativ gleichmässige Verteilung der Beleuchtungsstärke über den ganzen Raum erzeugt (siehe Grundriss mit Isolux-Kurven). Gegen die Wände hin fällt die Beleuchtungsstärke etwas ab. Je nach Positionierung von Regalen oder Werkmaschinen am Boden kann eine Verschattung auftreten, so dass zusätzliche Arbeitsplatz- oder Regalleuchten installiert werden müssen.

Für eine mittlere Beleuchtungsstärke von 350 Lux benötigt man in einem 100 m<sup>2</sup> grossen und drei Meter hohen Raum neun effiziente LED-Leuchten à 50 Watt (bzw. 5000 Lumen). Das entspricht einer installierten Leistung von rund 4,5 W/m<sup>2</sup>. Bei einer tieferen Beleuchtungsstärke sinkt die Anschlussleistung proportional.



Grundriss einer Werkstatt mit Leuchten und Isolux-Kurven

## Beleuchtung von Verkehrsflächen

Neben der richtigen Dimensionierung der Beleuchtung in den Hauptnutzflächen eines Gebäudes (also Büro, Restaurant, Werkstatt etc.) ist in den Verkehrsflächen (Korridore, Treppenhäuser, WCs etc.) neben der richtigen Installation vor allem die Begrenzung der Betriebszeiten ein wesentliches Thema. Diese Beleuchtungsanlagen sind meist auch dann noch in Betrieb, wenn sich kein Mensch mehr in den Räumen aufhält. Mittels Zeitschaltuhren und Bewegungsmeldern lassen sich die Betriebszeiten und damit der Energieverbrauch zum Teil massiv reduzieren.

### Korridorbeleuchtung

Die Leuchten sind meist mittig (z.B. nach unten strahlende Downlighter), am Rand zwischen Wand und Decke (Lichtband) oder an der Wand montiert. Die notwendige Beleuchtungsstärke von 100 Lux am Boden erreicht man mit effizienten LED-Leuchten und einer installierten

Leistung von 2,5 W/m<sup>2</sup> Bodenfläche. Ein zehn Meter langer und 1,5 Meter breiter Korridor benötigt also z.B. drei Decken- oder Wandleuchten à 12 Watt.

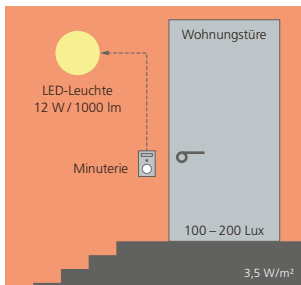
### Treppenhausbeleuchtung

In einem normalen Treppenhaus sind pro Stockwerk zwei gute LED-Leuchten à 12 Watt ausreichend für eine gute Ausleuchtung. Als Lichtsteuerung können Minuterien (für die manuelle Einschaltung und programmierbare Abschaltung, z.B. nach zwei Minuten) oder Bewegungsmelder (automatische Ein- und Ausschaltung bei Anwesenheit von Personen) eingesetzt werden. Bewegungsmelder können auch direkt in die Leuchte integriert sein – so spart man sich die Verkabelung des Sensors. Mit einer Schwarmfunktion können geregelte Leuchten untereinander kommunizieren, so dass die Leuchte im 1. OG «weiss», wenn sich jemand im EG befindet und so das Licht bereits vorzeitig einschalten kann.

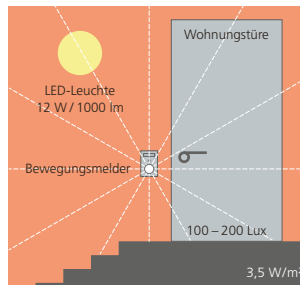


Grundriss eines Korridors mit Leuchten und Isolux-Kurven

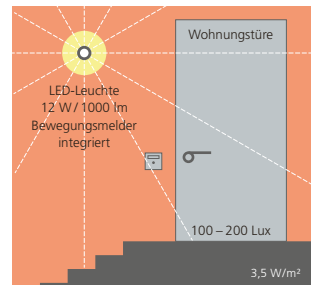
### DREI VARIANTEN VON LICHTSTEUERUNGEN IN TREPPENHÄUSERN



Minuterie (Zeitschaltuhr)



Bewegungsmelder neben Tür



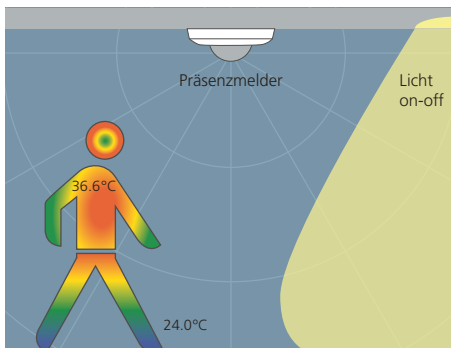
Bewegungsmelder in der Leuchte

## Licht regeln oder dimmen

### Bewegungsmelder

Präsenz- oder Bewegungsmelder schalten das Licht automatisch ein und aus – abhängig davon, ob Personen anwesend sind oder nicht.

Aufgrund ihrer Funktionsweise werden die verwendeten Regler auch Passiv-Infrarot-Sensoren (PIR) genannt. Sie funktionieren wie eine einfache Infrarotkamera und reagieren auf die Abwärme von sich bewegenden Personen. Damit die Sensoren Personen von anderen Wärmequellen (z.B. Heizkörpern oder Lampen) unterscheiden können, reagieren sie nur, wenn sich das Wärmebild verändertert – d.h., wenn sich z.B. ein Mensch bewegt. PIRs werden an Decken, Wänden oder als Ersatz von Lichtschaltern eingebaut.



Funktionsprinzip eines Präsenzmelders

Um ein zu schnelles Abschalten der Beleuchtung zu vermeiden, wird eine Nachlaufzeit von typischerweise zehn Minuten programmiert. Bei LED-Leuchten und präziser Positionierung der Sensoren kann die Nachlaufzeit auf zwei bis fünf Minuten verkürzt werden.

Bei der Montage ist darauf zu achten, dass die Sensoren nur «sehen», was direkten «Blickkontakt» hat. Möbel, Pflanzen und Stell-

wände behindern den Erfassungsbereich der Sensoren, so dass die Präsenzerfassung eingeschränkt wird.

Die meisten Präsenzmelder haben neben der Personenerfassung zusätzlich einen Tageslichtsensor eingebaut, der das künstliche Licht bei genügend Tageslicht automatisch abschaltet. Zu beachten ist, dass diese Tageslichterfassung schwierig einzustellen ist und in der Praxis leider häufig nur unbefriedigend funktioniert.

### Dimmer

Grundsätzlich lassen sich alle Lampentypen (Halogen-, Spar- und LED-Lampen) dimmen.

- Bei Halogenlampen funktioniert das Dimmen ohne zusätzliche Steuerleitung über so genannte Phasenanschnitt- oder Phasenabschnittdimmer.
- Spar- und Leuchtstofflampen benötigen ein zusätzliches Kabel, das das notwendige elektronische Betriebsgerät in der Leuchte regeln kann. Meist kommen so genannte «DALI»-Regler zur Anwendung.
- Bei LED-Ersatz-Lampen gibt es zwei Typen: solche, die sich mit herkömmlichen Halogenlampen-Dimmern betreiben lassen, und andere, die nicht dimmbar sind. Bei dimmbaren LED-Lampen ist zu beachten, dass nicht jeder Dimmer mit jeder LED-Lampe funktioniert. Die Anbieter führen Listen, in denen die möglichen Kombinationen von LED-Lampe und Dimmer aufgeführt sind. Beim Kauf einer dimmbaren LED-Lampe sollte man sich ein Rückgaberecht ausbedingen, falls der installierte Dimmer nicht mit der neuen LED-Lampe kompatibel sein sollte.

## Beleuchtungersatz im Kleinbetrieb

Viele Restaurants, Läden und Gewerbebetriebe werden immer noch mit ineffizienten Halogen-Spot-Lampen beleuchtet. Da die Räume häufig nur wenig Tageslichtnutzung aufweisen und die Beleuchtung deshalb den ganzen Tag in Betrieb ist, sind auch die Aufwendungen für die Wechsel der defekten Lampen nicht zu vernachlässigen. Trotz der höheren Anschaffungskosten für die LED-Lampen ist der Ersatz

von bisherigen Halogenlampen durch LEDs in vielen Kleinbetrieben sehr wirtschaftlich.

Die nachstehende Tabelle zeigt am Beispiel des Austauschs von konventionellen Halogenspots durch Retrofit-LED-Spots (LED-Lampe mit identischem Gewinde bzw. Stecksockel) in einem Restaurant die Wirtschaftlichkeit der LED-Lösung auf.

### WIRTSCHAFTLICHKEITSRECHNUNG FÜR BELEUCHTUNGSERSATZ IN EINEM RESTAURANT

		Ist-Zustand	Soll-Zustand
Allgemeine Angaben	Leuchtmittel	Halogen-Spots	LED-Spots
	Leistung pro Lampe	50 Watt	7 Watt
	Lichtstrom pro Lampe	400 Lumen	400 Lumen
	Kaufpreis pro Lampe	CHF 5.–	CHF 15.–
	Lebensdauer der Lampen	1 Jahr	15 Jahre
	Anzahl Lampen (Brennstellen)	50	50
Energiekosten	Jährliche Brenndauer	3000 Stunden	3000 Stunden
	Jährlicher Energieverbrauch	7500 kWh	1050 kWh
	Mittlerer Strompreis	CHF 0.20 / kWh	CHF 0.20 / kWh
	Jährliche Energiekosten	CHF 1500.–	CHF 210.–
Lampenkosten*		<b>CHF 250.–</b>	<b>CHF 750.–</b>
Gesamtkosten		<b>CHF 1750.–</b>	<b>CHF 960.–</b>
Einsparung			<b>5 Monate</b>

\* Bei LED einmalig, bei Halogen jährlich

Das Beispiel-Restaurant hat eine Fläche von 100m<sup>2</sup> und es sind etwa 50 Spotlampen installiert. Bei einer herkömmlichen Halogenbeleuchtung und einer jährlichen Betriebszeit von 3000 Stunden ergeben sich Energiekosten für die Beleuchtung von jährlich 1500 Franken. Dazu kommen die Ersatzkosten für neue Lampen (bei Halogen etwa 1 Ersatz pro Jahr) und der Aufwand für den Wechsel. Ersetzt man nun die Halogenspots durch LEDs, sinken die jährlichen Energiekosten auf gerade noch 210 Franken. Und obwohl die Investition für

die LED-Lampen etwa dreimal so hoch ist wie bei Halogen, amortisiert sich diese Investition durch die niedrigeren Energiekosten in weniger als einem halben Jahr.

Das obige Rechenbeispiel lässt sich auf zahlreiche andere Nutzungen, wie kleine Läden oder Gewerbebetriebe (z.B. Coiffeur-Salons) übertragen. Ihre Betreiber sind sich der hohen Energiekosten durch ihre Halogenlampen und der enorm guten Wirtschaftlichkeit bei LED-Ersatz meist nicht bewusst.



