

BELEUCHTUNG

IM HAUSHALT

- WISSENSWERTES ÜBER LICHT
- EINKAUFSHILFE
- TIPPS FÜR UMSTIEG, VERWENDUNG UND ENTSORGUNG





INHALT

03 BELEUCHTUNG IM HAUSHALT

04 WISSENSWERTES ÜBER LICHT

- 04 Lichtmenge und Effizienz
- 05 Raumwirkung und Lichtfarbe

06 WISSENSWERTES ÜBER LAMPEN

- 06 Helligkeitssteuerung
- 06 Nutzungsdauer und Haltbarkeit

07 EIN PRIVATES LICHTKONZEPT

- 07 Lichtfunktionen
- 08 Licht im Raum
- 08 Licht im Zeitverlauf
- 09 Licht für besondere Umgebungen
- 10 Smarte Beleuchtung

11 MODERNE LICHTQUELLEN

- 11 Gesetzliche Rahmenbedingungen: Die Ökodesign- und RoHS-Richtlinie
- 12 Leuchtdioden (LED)

14 KONVENTIONELLE LEUCHTMITTEL DURCH LED-LEUCHTEN ERSETZEN – WIE GELINGT DER UMSTIEG?

- 15 Ersatz durch Retrofitlampen
- 16 Integrierte LED-Leuchten
- 16 Exkurs: Leuchtstoffröhren durch LED-Röhren ersetzen

17 EINKAUFSHILFE

18 MODERNE LEUCHTMITTEL UMWELTGERECHT ENTSORGEN

19 WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN



© Fotolia.com: Pavel Loevsky

Licht im Haushalt begleitet unseren Alltag. Die Beleuchtung ermöglicht uns ein hohes Maß an Lebensqualität. Auch an den besonderen und stimmungsvollen Momenten des Lebens hat das Licht seinen Anteil. Schließlich beeinflusst eine angemessen beleuchtete Wohnumgebung ebenso, ob wir uns zu Hause sicher und geborgen fühlen. Die Beleuchtung unseres Haushalts ist aber auch mit Aufwand verbunden. Bereits beim Kauf der Leuchten und Lampen müssen Entscheidungen über die Art der Leuchte und des Beleuchtungssystems getroffen werden. Mit der vorliegenden Broschüre informiert Sie die Sächsische

Energieagentur – SAENA GmbH rund um das Thema Beleuchtung im Haushalt. Sie erfahren etwas über die verschiedenen Funktionen und Qualitäten von Licht im Haushalt und die Möglichkeiten moderner Lichtquellen durch Lichtkonzepte und smarte Beleuchtung. Praktische Tipps helfen Ihnen beim Umstieg von herkömmlichen Leuchtmitteln auf LEDs und wie Sie beim Einkauf die passende Leuchtquelle finden. Natürlich bekommen Sie auch Informationen, wie moderne Leuchtmittel umweltgerecht entsorgt werden müssen.

→ 4 WISSENSWERTES ÜBER LICHT

Lichtmenge und Effizienz

Die **Menge des Lichtes** bestimmt, wie hell der Raum erscheint. Die Menge des erzeugten Lichtes wird anhand der Größe **Lichtstrom** in der Einheit **Lumen** (lm) angegeben. Moderne Leuchtmittel benötigen wesentlich weniger elektrische Energie, um Licht zu erzeugen (z. B. 4 W für ca. 470 lm anstatt 40 W bei einer Glühlampe). Die verschiedenen modernen Lichtquellen unterscheiden sich bei gleicher elektrischer Leistung aber wiederum in der Menge des erzeugten Lichtes – selbst bei ähnlicher Bauform, beispielsweise LED mit Sockel E27 als Retrofitlampe. Um die gleiche Raumhelligkeit zu erzielen, ist es daher sinnvoll, die Auswahl eines neuen Leuchtmittels anhand der Lichtmenge vorzunehmen, statt wie gewohnt anhand der Leistung.

Der Wirkungsgrad oder die **Effizienz** beschreibt, wie viel Licht eine Lichtquelle relativ zur verbrauchten elektrischen Leistung erzeugt. Die Effizienz wird in der Einheit **Lumen pro Watt** (lm / W) angegeben. Je größer der Wert, umso effizienter wird Licht erzeugt. Oft wird auch der spezielle Begriff **Lichtausbeute** verwendet. Es lohnt sich daher die Effizienz einer Lampe vor dem Kauf nicht nur grob anhand der Energieeffizienzklasse, sondern mittels der angegebenen Lichtausbeute zu vergleichen. So haben Sie das Sparpotential bei der Beleuchtung in Ihrem Haushalt umfassend im Griff.

Für viele energieverbrauchende Produkte gelten einheitliche Energieeffizienzklassen von A bis G. Für Beleuchtungsprodukte gelten seit 2021 die folgenden Energieeffizienzklassen*:

Energieeffizienzklasse	Gesamt-Lichtausbeute (lm/W)
A	≥ 210
B	185 – 209
C	160 – 184
D	135 – 159
E	110 – 134
F	85 – 109
G	< 85

* Früher als Lichtquellen der Klasse A++ auf dem Markt befindlichen Produkte erreichen zukünftig eine Energieeffizienzklasse von bestenfalls D/E.

Die Verpackung aller modernen Lampen und Leuchten liefert Ihnen Informationen zu Lichtstrom und Effizienzklasse (→ siehe Kapitel „Einkaufshilfe“).



EFFIZIENZ EINER LICHTQUELLE ERMITTELN

$$\text{Effizienz (Lichtausbeute)} = \frac{\text{Lichtmenge (Lichtstrom in Lumen)}}{\text{elektrische Leistung (Watt)}}$$

Errechnen Sie einfach vor dem Kauf im Geschäft die Effizienz aus „Lichtstrom“ (Lumen) und „elektrischer Leistung“ (Watt).

Raumwirkung und Lichtfarbe

Die **farbliche Wirkung** des „weißen“ Lichtes bewirkt eine bestimmte Lichtstimmung, sie lässt die Farben des Raumes und der Gegenstände erstrahlen. Weißes Licht lässt sich anhand seiner Färbung charakterisieren. Eine Kerzenflamme erzeugt ein rötlich bis gelblich gefärbtes Licht. Das Sonnenlicht zur Mittagszeit hingegen weist einen höheren Blauanteil auf. Zur einfachen Beschreibung ordnet man Lichtquellen nach ihrer **Lichtfarbe** in drei Bereiche ein. Es werden „gelblich-weiße“ (warmweiß, ww) und „bläulich-weiße“ (tageslichtweiß, tw) Lichtfarben unterschieden. Der Bereich dazwischen wird keiner Farbe zugewiesen, sondern als „neutral-weiß“ (nw) beschrieben.

LICHTFARBEN MODERNER HAUSHALTSLAMPEN

Lichtfarbe	Beispiel	Lichtfarb- bezeichnung	Farbtemperatur (T_c in Kelvin)
gelblich-weiß		warm-weiß (ww)	< 3.500 K
weiß ohne bestimmten Farbeindruck		neutral-weiß (nw)	3.500 K – 5.300 K
bläulich-weiß		tageslicht-weiß (tw)	> 5.300 K

Die **Farbtemperatur** in Kelvin (K) ist das physikalische Maß für die Lichtfarbe. Anhand der Farbtemperatur lassen sich auch Abstufungen der Lichtfarbe innerhalb der drei großen Farbbereiche vornehmen. Genauere Angaben der Lichtfarbe können nützlich sein, wenn im Haushalt verschiedene Lampen in einem Raum abgestimmt werden sollen (> weiteres siehe Kapitel „Ein privates Lichtkonzept“).

Die Wahl der Lichtquelle bestimmt auch, ob Gegenstände in ihrer „natürlichen“ Farbe erscheinen oder ob der gewohnte Farbeindruck durch das künstliche Licht verändert wird. Diese Eigenschaft des Lichtes wird als **Farbwiedergabe** bezeichnet. Zum Messen werden Testfarben mit dem Farbeindruck unter Glühlampenlicht bzw. Sonnenlicht verglichen. Wie stark der Eindruck bei den Testfarben verändert ist, gibt der allgemeine **Farbwiedergabeindex Ra** zwischen 0 (kein Farbeindruck) und 100 (keine Farbveränderung) an. Leuchtmittel für den Haushalt sollten eine sehr gute Farbwiedergabe aufweisen ($\geq Ra 80$), wobei Ra keine lineare Prozentskala ist. Entscheidend für die Raumwirkung sind neben der Lichtquelle vor allem die sichtbaren Flächen im Raum, da sie die Lichtstimmung durch ihren Farbeindruck sogar stärker als die Lichtfarbe prägen können. Außerdem spielt auch die Verteilung des Lichtes im Raum eine große Rolle. Die Lichtfarbe und die Qualität der Farbwiedergabe werden bei den meisten Lampen durch einen dreistelligen Zifferncode angegeben. Die erste Zahl kennzeichnet den Farbwiedergabeindex und die folgenden zwei Ziffern die Farbtemperatur (z. B. 827: Farbwiedergabe $Ra > 80$ mit Farbtemperatur 2.700 K).

Helligkeitssteuerung

Zum Ändern der Lichtstimmung wird gern die Helligkeit im Raum verändert. Glühlampen ließen sich leicht mit eingebauten elektronischen Dimmern durch Absenken der Spannung regulieren. Dadurch wurde der Glühfaden kälter, die Lichtmenge und die Farbtemperatur sank, ebenso die Effizienz der Lichterzeugung.

Moderne, effiziente Lichtquellen wie LEDs vertragen sich oft nicht mehr mit herkömmlichen Dimmern. Diese Lichtquellen benötigen eine elektronische Stromversorgung, deren Funktionsprinzip dem Prinzip dieser Dimmer widerspricht. Außerdem benötigt der Dimmer eine minimale Lampenleistung, die bei modernen Lichtquellen leicht unterschritten wird (z. B. 5 W LED statt 60 W Glühlampe). Ist eine Helligkeitsreduzierung mit dem „alten“ Dimmer dennoch gewünscht, müssen effiziente Lampen eingesetzt werden, die ausdrücklich als dimmbar gekennzeichnet sind und deren gesamter Anschlusswert je Dimmer die minimale Leistung deutlich nicht unterschreitet. Die absolute Verbrauchsreduzierung durch das Dimmen fällt wegen der bereits äußerst niedrigen Leistungsaufnahme der Lampe im Vollbetrieb gering aus. Der Komfortfaktor Helligkeitssteuerung tritt in den Vordergrund. Es gibt inzwischen auch effiziente Lampen und Leuchten, die mit einer bereits integrierten Steuerung gedimmt werden können. Übrigens erhöht das Dimmen von LED die Lichtausbeute – im Gegensatz zu allen Arten von Glühlampen. Unter den dimmbaren LED-Leuchten gibt es außerdem Modelle, die eine Veränderung der Farbtemperatur künstlich nachbilden.

Nutzungsdauer und Haltbarkeit

Bei einfachen Glühlampen war die **Nutzungsdauer** gleichbedeutend mit ihrer Haltbarkeit: nach der Nutzungsdauer von 1.000 Stunden war der Lichtstrom auf 80 % des Anfangswertes abgefallen und die Lampen fielen infolge der durchgebrannten Glühwendel vollständig aus.

Moderne, effiziente Lichtquellen überleben viel länger. Der Lichtstrom kann sich während der Lebensdauer stärker verringern, ohne dass die Lichtquelle ausfällt. Um diese modernen Lampen vergleichen zu können, benötigt es eine klare Definition der Nutzungsdauer.

Aufgrund des komplexen Aufbaus kann zwischen dem Ausfall der ersten bis zum Ausfall der letzten Lampe einer Testmenge eine große Zeitspanne liegen. Wegen der zeitlichen Streuung wird daher ein Mittelwert aus einer großen Anzahl von Testlampen angegeben. Einzelne Exemplare können auch stark von den Nennwerten abweichen.

Das bestimmende Maß für die Nutzungsdauer ist der kontinuierliche Rückgang der abgegebenen Lichtmenge durch die Alterung im Laufe der Nutzungszeit. Spätestens wenn der Lichtstrom 70 % des Anfangswertes unterschreitet, ist die wirtschaftliche Nutzlebensdauer erreicht und die Lampe sollte gewechselt werden. Bei der Nutzung im Haushalt wird das Licht pro Tag im Durchschnitt nicht sehr lange betrieben, so dass z. B. eine Nutzungsdauer von 10.000 h bei 2 h Betriebszeit pro Tag erst nach 13 Jahren erreicht wird.



NUTZUNGSDAUER MODERNER LICHTQUELLEN

Die Nutzungsdauer beinhaltet bei modernen Lampen sowohl Totalausfall als auch geringer werdende Lichtmenge. Es wird ermittelt, wann die durchschnittliche Lichtleistung der Lampen um einen bestimmten Anteil zurückgegangen ist (typisch sind z. B. –30% bezogen auf den Neuwert lt. Verpackung). Weiterhin wird bestimmt, nach wie vielen Stunden ein Anteil der Lampen komplett ausgefallen ist (typisch sind z. B. 50%).

Lichtfunktionen

Im Haushalt wird Licht für verschiedenste Situationen und Funktionen gebraucht. So kann beispielsweise die großflächige **Raumbeleuchtung** von der Beleuchtung zur **Orientierung** auf bekannten Wegen in Flur und auf Treppen unterschieden werden. Für besonders sehintensive Tätigkeiten wird die **Beleuchtung einzelner Bereiche** eines Raumes benötigt. Darüber hinaus sollen gelegentlich aus dekorativen oder stimmungsbezogenen Gründen **Lichtakzente** in Form einer gesonderten Effektbeleuchtung gesetzt werden.

Aus den verschiedenen Ansprüchen resultieren unterschiedlichste Anforderungen an die Beleuchtung. Licht ist an verschiedenen Stellen in unterschiedlicher Menge und farblicher Qualität gefordert. All diese Funktionen können nicht optimal von einer einzelnen Lichtquelle erfüllt werden. Die verschiedenen Leuchten erfüllen ihre Funktion am besten, wenn sie nutzbringend auf einander abgestimmt werden.

Ein privates Lichtkonzept kann Ihnen jedoch nicht nur bei der **Lichtabstimmung** in Ihrem Haushalt helfen. Es unterstützt Sie auch bei der Beurteilung, an welchen Stellen **Sparpotential** bei der Beleuchtung herrscht oder noch nicht optimal ausgeschöpft wurde. Ein privates Lichtkonzept für Ihren Haushalt entsteht ohne besondere Anstrengungen, wenn Sie sich kurz mit den unten stehenden Fragen beschäftigen. Die Ausführungen in dieser Broschüre geben Ihnen Anregungen zur Beantwortung.

- An welchen Stellen wird wie viel Licht benötigt?
- Wie häufig wird das Licht für welche Funktion gebraucht?
- Welche farbliche Lichtqualität ist an welcher Stelle notwendig?
- Welches moderne Leuchtmittel kann diese Funktion optimal und effizient erfüllen?



Licht im Raum

Praktisch wird für jeden Raum im Haushalt eine Beleuchtung benötigt, so dass er auch bei fehlendem Tageslicht betreten werden kann (Allgemeinbeleuchtung). Je nach gewünschter Helligkeit und Größe des Raumes können oft **Anzahl und Anordnung** der Leuchten, in jedem Fall aber die **Lichtmenge** (Lichtstrom) der einzelnen Lampen passend ausgewählt werden. Oft wird bei dieser Art der Beleuchtung vor allem die Effizienz das bedeutsamste Kriterium sein.

In den häufig oder länger genutzten Räumen (Aufenthaltsbereiche) ist ein angenehmes Licht wichtig. Indirektes Licht schützt vor störender Blendung. Es lässt auch den Raum in seiner Gesamtheit gut zur Geltung kommen. Grundsätzlich gilt, je mehr verschiedene Funktionen in einem Raum mit der Beleuchtung abgedeckt werden sollen, umso größer sollten die **Variationsmöglichkeiten** durch verschiedene Lampen und Leuchten sein.

Wichtig ist auch die Lichtfarbe. Wird die Beleuchtung als Ersatz oder Ergänzung zum **Tageslicht** benötigt, sollten neutral-weiße oder tageslicht-weiße Lampen verwendet werden. Der höhere Blauanteil in diesen Lichtfarben wirkt zudem anregend und kann daher konzentrierte **Arbeit** unterstützen. Für die abendliche Beleuchtung wird oft eine warm-weiße Lichtfarbe als angenehm empfunden. Der erhöhte Rotanteil wirkt entspannend und eignet sich daher für die Beleuchtung in der abendlichen **Freizeit** besonders. Soll ein Raum nur wenig beleuchtet werden, eignen sich ebenfalls warm-weiße Lichtquellen besser als Lampen mit neutraler oder tageslicht-weißer Lichtfarbe. Kleine Lichtmengen werden in warmweißer Lichtfarbe allgemein als angenehmer empfunden. Daher sind für neutral-weiß beleuchtete Räume, wie etwa Arbeitszimmer, größere Helligkeiten durch größere Lichtmengen (Lichtströme) zum angenehmen Sehen empfohlen. Die Ansprüche der Farbwiedergabe bei der Beleuchtung zur Orientierung und bei der Allgemeinbeleuchtung werden von nahezu allen typischen Lichtquellen für den Haushalt erfüllt. Für einige Tätigkeiten müssen jedoch kleine Details von Objekten gesehen werden.

Oft ist dabei deren Farbe ein zentrales Kriterium. Für diese Tätigkeiten ist neben der ausreichenden Lichtmenge auch eine sehr gute Farbwiedergabe gefordert. Dies trifft häufig auf die Schreibtischbeleuchtung zu. Einzelne Bereiche für besondere Tätigkeiten sind zudem in Bad und Küche oder beim Lesen und für Handarbeiten zu beleuchten.

Licht im Zeitverlauf

Bei der Beleuchtung sind im Tagesverlauf die oben angesprochenen Aspekte der Lichtfarbe zu berücksichtigen. Der Blauanteil im Licht beeinflusst die innere Uhr. Fehlt er, ermüden wir schneller. Im Zeitverlauf eines Tages oder Abends kann sich bei **wechselnden Aktivitäten** der Lichtbedarf verändern. Die Lichtverwendung beeinflusst den Energieverbrauch und damit die Lichtkosten. Neben dem Gebrauch besonders effizienter Lampen ist daher eine **bedarfsangepasste Lichtmenge** wichtig. In den häufig frequentierten Räumen können Sie so nicht nur zusätzlich sparen, sondern auch situativ angepasste Lichtstimmungen erzeugen. Verschiedene größere und kleinere Leuchten im Raum mit unterschiedlicher Lichtmenge (Lichtstrom) ermöglichen auf einfache Weise Ihr eigenes **adaptives Lichtmanagement**. So können Sie jederzeit entscheiden, ob eine große Lichtmenge über längere Zeit benötigt wird oder einzelne Leuchten häufiger ein- und ausgeschaltet werden. Für häufige kurze Aufenthalte in einem Raum ist manchmal eine dauerhaft leuchtende Lichtquelle kleiner Leistung ausreichend. Effizient erzeugte geringe Lichtmengen ermöglichen eine ausreichende Orientierung, so dass die „große“ Raumbeleuchtung nicht eingeschaltet werden muss.

Schließlich sind vielfach Einflüsse aus dem Zeitverlauf des eigenen Lebens zu berücksichtigen. Je älter der Mensch, desto höher ist der Bedarf an Helligkeit, damit die Beleuchtung als angenehm empfunden wird. Sollen daher Lampen größerer Lichtleistung verwendet werden, ist neben der Effizienz auch die Blendung zu berücksichtigen.

Im **Verlauf des Lebens** nimmt bei den meisten Menschen auch die Empfindlichkeit gegenüber Blendung zu. Daher kann es manchmal notwendig werden, die größeren Lichtmengen durch indirekt strahlende oder stärker abgeschirmte Leuchten im Raum zu verteilen.



Licht für besondere Umgebungen

Nicht alle Leuchten können in Feuchträumen und Außenbereichen verwendet werden. Zu den Feuchträumen gehören neben dem Badezimmer regelmäßig auch Bereiche rund um offene Wasseranschlüsse, wie etwa in der Küche. Nur eigens dafür vorgesehene Leuchten dürfen in diesen Bereichen installiert und betrieben werden. Sie sollten gegen Feuchtigkeit und Wasser geschützt sein. Das zentrale Kriterium ist die sogenannte IP-Kennzeichnung der Schutzart. Der Fachhandel und Installationsfachleute beraten hierzu. Leuchten im Freien sind häufig großen Belastungen durch die Witterung ausgesetzt. Sie müssen daher sowohl gegen das Eindringen von Wasser, als auch gegen Beschä-

digung durch Staub und Fremdkörper geschützt sein. Hochwertige Außenleuchten zeichnen sich durch langlebige und korrosionsbeständige Materialien aus. Vor allem im Freien besteht häufig der Wunsch des automatischen Schaltens von Leuchten mittels Bewegungs- oder Anwesenheitsmelder.

Hierfür muss die verwendete Lichtquelle schaltfest sein und möglichst sofort Licht liefern. Das gilt auch für eine derart automatisierte Treppenhaus- oder Flurbeleuchtung.

Smarte Beleuchtung

Zunehmend kommen Lampen und Leuchten auf den Markt, die mit dem Begriff „**Smart Home**“ werben. Diese sind in der Lage, sich flexibel den unterschiedlichen Bedürfnissen und Wünschen der Nutzer anzupassen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um Digitalisierung und Vernetzung für Beleuchtungssysteme zu nutzen. Die unterschiedlichen Ausprägungen reichen von smarten Steckdosen, über einzelne ferngesteuerte Lampen bis hin zu komplett vernetzten Geräten und Installationen in den Haushalten. Sprachsteuerung der Farbe und Helligkeit, automatisiertes Ein-, Ausschalten und Dimmen sind typische Beispiele. Vor Beginn der Planung sollte festgelegt werden, ob die Beleuchtung für einzelne Räume, Wohnungen oder Häuser mit Garten vernetzt werden soll.

Eine Einstiegslösung ist die **Steuerung** von Lampen bzw. Leuchten per Infrarot. Über eine Fernbedienung können Helligkeit und Lichtfarbe verändert werden. Bei dieser Lösung funktioniert die Kommunikation nur in eine Richtung, d. h. der aktuelle Status der Leuchte wird nicht angezeigt. Auch bedarf es dabei eine Nähe zur Lichtquelle mit Sichtkontakt. Eine weitere Möglichkeit ist die Steuerung über Funk, z. B. Bluetooth. Die Steuerung läuft über eine App mit Kommunikation in beide Richtungen. Teilweise können auch Zeitschaltfunktionen programmiert und Bewegungsmelder integriert werden. Durch die geringe Reichweite von Bluetooth kann die Lampe nur aus der Nähe gesteuert werden.

Die Steuerung des Lichtsystems über WLAN und eine Basisstation bietet eine Lösung für die **intelligente Beleuchtung** ganzer Häuser. Der Internet-Router steht in Verbindung zur Basisstation, über welche per Funk die Steuerbefehle vom Smartphone zum Endgerät gelangen. Bei dieser Lösung können nicht nur die Leuchten, sondern auch andere Smart Home fähige Endgeräte, wie Jalousien, Heizung oder Lüftung, integriert werden. Alternativ gibt es auch die Möglichkeit, nicht-intelligente Lampen über intelligente Steckdosen und Unterputzschalter zu erweitern.



Im Bereich der smarten Beleuchtung gibt es viele Möglichkeiten und Lösungen mit unterschiedlichem Ausmaß an Vernetzung. Neben der Beleuchtung von Wohnräumen können auch Anwendungen, wie z. B. Schrankbeleuchtungen oder an das Fernsehprogramm automatisch angepasste TV-Hintergrundbeleuchtungen, Teil eines Smart Home Konzepts sein. Zu beachten ist, dass durch den ständigen Stand-By Modus der Geräte zusätzlich Energie verbraucht wird.

Gesetzliche Rahmenbedingungen: Die Ökodesign- und RoHS-Richtlinie

Die **Neufassung der Ökodesignrichtlinie (2019/2020/EU)** zielt auf die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte ab, so auch die Beleuchtung. Das bedeutet, dass Produkte, welche die festgelegten Anforderungen nicht erfüllen, nach und nach vom Markt genommen werden. So dürfen bereits seit 2021 keine Kompaktleuchtstofflampen mit eingebauten Vorschaltgerät, die sogenannten Energiesparlampen, verkauft werden.

In Kombination mit einer Fortentwicklung der RoHS-Richtlinie (2011/65/EU), welche auf die Beschränkung der Verwendung von gefährlichen Stoffen abzielt, dürfen aufgrund ihres Quecksilbergehaltes ab September 2023 deutlich weniger Lampentypen in den Verkehr gebracht werden. Dazu zählen weitere Energiesparlampen sowie Leuchtstoff- und Halogenlampen. Als langfristige und effiziente Alternative zu den herkömmlichen Leuchtmitteln gilt die LED-Leuchte.

AKTUELLE AUSPHASUNG KONVENTIONELLER LICHTQUELLEN

	25.02.2023 RoHS*	25.08.2023 RoHS*	01.09.2023 Ökodesign- Verordnung	
Kompaktleuchtstofflampen (ohne integriertes Vorschaltgerät)	Phase out			
Kreisförmige Leuchtstofflampen T5	Phase out			
Lineare Leuchtstofflampen T5	Phase out	Phase out		
Lineare Leuchtstofflampen T8	Phase out	Phase out		
* EU-Richtlinie 2011/65/EU zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten. (Restriction of (the use of certain) Hazardous Substances in electrical and electronic Equipment)				
Hochvolt-Halogenlampen (G9)			Phase out	
Niedervolt-Halogenlampen (G4, GY6,35)			Phase out	

Leuchtdioden (LED)

LED-Leuchten (LED = Leuchtdiode) sind die modernsten und effizientesten Lichtquellen auf dem Markt. Sie bieten ein nahezu universelles Einsatzpotential in der Haushaltsbeleuchtung. LEDs sind langlebig (LED-Retrofitlampen vielfach \gg 15.000 h, Leuchten mit fest integrierten LED bis 50.000 h oder mehr) und können das Licht sehr effizient erzeugen. Sie benötigen ein elektronisches Vorschaltgerät zum sicheren Betrieb.



LICHTERZEUGUNG IN EINER LED

Leuchtdioden sind wenige Millimeter kleine Lichtquellen. Sie sind aus sehr dünnen Schichten unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeit aufgebaut (Halbleiterkristall). Licht entsteht am Übergang zwischen zwei der Schichten, wenn elektrischer Strom fließt. Dafür werden um die eigentliche Leuchtdiode herum viele Bauteile benötigt. Sie regeln beispielsweise die Stromzufuhr und verteilen das erzeugte Licht. In jeder LED entsteht neben Licht auch Wärme, die nach außen abgeleitet werden muss, damit die Leuchtdiode nicht überhitzt und zerstört wird.



© Adobe Stock: stockphoto-graf, Kuzmick,
Thinkstock: Askold Romanov
iStock: Yastrebinsky

Leuchtdioden werden für die Beleuchtung im Haushalt als LED-Retrofitlampen mit integrierter Vorschalt-Elektronik zum Austausch gegen weniger effiziente Lampen angeboten. Diese LED-Leuchten sehen den früheren Glühlampen ähnlich.

Es werden verschiedene Lichtfarben mit sehr guter Farbwiedergabe angeboten (vorwiegend ww, nw). Es gibt matte Kolben, die das meiste Licht von der Fassung weg abstrahlen, oder klare Kolben mit LED, die wie die Wendel bei Glühlampen angeordnet sind, sogenannte Filament-LED-Leuchten. Sie verfügen meist über eine klassische Schraubfassung (E14 oder E27) und eignen sich zum Einsatz in vorhandenen Leuchten. LED-Leuchten werden aber auch mit einer Vielzahl anderer Fassungsstypen und Formen, beispielsweise zum Ersatz von Reflektorlampen oder Leuchtstoffröhren, angeboten. Trotz gleicher Bauform und Nennleistung kann sich die Effizienz der angebotenen Modelle deutlich unterscheiden. Hier lohnt ein Vergleich der Lichtausbeute einzelner Produkte vor dem Kauf (\rightarrow siehe Kapitel „Wissenswertes über Licht“).

Darüber hinaus sind LEDs in modernen Leuchten als fest verbaute Einheit enthalten. Bei diesen Leuchten kann die Lichtquelle nicht einzeln gewechselt werden. Leuchten mit fest integrierten LEDs weisen eine noch bessere Effizienz auf als LED-Retrofitlampen und haben oft auch eine deutlich längere Nutzungsdauer. Außerdem lassen integrierte LEDs eine Vielzahl neuer Bauformen zu, für die Retrofitlampen zu groß sind. LEDs gibt es auch mit sehr kleinen Lichtmengen. Daher ermöglichen sie effiziente Lichtlösungen als Orientierungs- oder Nachtlicht, als indirekte Beleuchtung, z. B. durch LED Streifen, sowohl im Innen- als auch Außenbereich. LED-Leuchten enthalten zwar keine gefährlich giftigen Stoffe wie Quecksilber, sie sollten dennoch als Elektronik-Schrott bei den dafür vorgesehenen Sammelstellen entsorgt werden, um die wertvollen Stoffe verwerten zu können (\rightarrow siehe Kapitel: „Moderne Leuchtmittel umweltgerecht entsorgen“).

BETREIBEN VON LED-LEUCHTEN

LED-Leuchten sind für normale Umgebungsbedingungen (25 °C Temperatur, 60 % Luftfeuchtigkeit, keine Fremdstoffe) ausgelegt. Sie besitzen eingebaute elektronische Vorschaltgeräte. Die Lebensdauer verkürzt sich, wenn LEDs zu heiß betrieben werden. Dauerhaft hohe Feuchtigkeit kann zum Frühausfall führen, ebenso das Auftreten von Ammoniak, Halogen- oder Schwefelverbindungen. Zu hohe Umgebungstemperaturen können auftreten, wenn LED-Leuchten in kleine, geschlossene Leuchten eingesetzt werden. Auch Glühlampen für Backöfen als Speziallampen wurden aus diesem Grund vom Glühlampenverbot ausgenommen. Bei LED-Leuchten und LED-Leuchten sind die Vorgaben des Herstellers für den Einsatzbereich zu beachten.



RETROFITLAMPEN

Oft wird der Begriff Retrofitlampe verwendet. Es handelt sich dabei nicht um eine neue Technologie, sondern bezeichnet Lampen, die – meist problemlos – in alten Leuchten anstelle der ursprünglich eingesetzten Lampen in den gängigen Sockeln (z. B. E27, E14 oder GU10) verwendet werden können. Dabei sparen sie erheblich Energie, da gerade die modernen, energieeffizienten Technologien wie LED hierfür eingesetzt werden.

Für den problemlosen Ersatz muss allerdings die Kennzeichnung und Bauart der Retrofitlampen beachtet werden. So können nur wenige Retrofitlampen herkömmlich gedimmt werden. Der Lichtstrom der Retrofitlampe sollte der gleichen Lichtstromklasse entsprechen (> siehe Abschnitt: Lichtmenge und Effizienz) wie die Ursprungslampe. Manche Retrofit-Typen haben eine andere Lichtverteilung als das alte Original, was das Licht im Raum verändern kann. Bei manchen Produkten (z. B. als Ersatz für Leuchtstofflampen T8) soll sogar die Leuchte verändert werden, damit diese funktionieren. Die Modifikation darf nur von einer Elektrofachkraft durchgeführt werden, die dafür auch die Verantwortung übernimmt. Daher sollte sich jeder vor dem Kauf eines bestimmten Produktes genau informieren bzw. fachkundig beraten lassen.



14

KONVENTIONELLE LEUCHTMITTEL DURCH LED-LEUCHTEN ERSETZEN – WIE GELINGT DER UMSTIEG?

Die langfristige Lösung für Beleuchtung in Haushalten ist die LED. Im Einsatz sind dennoch oft noch weitere Leuchtmittel. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick mit Tipps zum Umstieg auf LED Beleuchtung gegeben.



LEUCHTSTOFFLAMPEN

bestehen vereinfacht aus einem Glasrohr, gefüllt mit einer geringen Menge Quecksilbergas. Fließt elektrischer Strom durch das Gas im Rohr, leuchtet eine weiße Beschichtung auf der Innenseite des Glasrohres. Leuchtstoffröhren dienen häufig als Arbeitsbeleuchtung oder zur Beleuchtung in Funktionsräumen, wo eine großflächige und gleichmäßige Beleuchtung erforderlich ist. Auf Grund der Fortschreibung der RoHS-Richtlinie sind diese Leuchtmittel von der Ausphasung betroffen, sodass auch die weit verbreiteten Modelle T8 und T5 ab 2023 vom Markt verschwinden.



ENERGIESPARLAMPEN

sind die Kompaktform der Leuchtstofflampe, insbesondere für den Gebrauch im Haushalt. Sie haben üblicherweise ein Vorschaltgerät integriert. Ähnlich der Leuchtstofflampe verschwinden die letzten Bauformen der Energiesparlampe 2023 vom Markt.



HALOGENLAMPEN

sind Spezialformen von Glühlampen. In ihrem Glaskolben ist ein besonderes Gasgemisch mit geringen Mengen von Halogensalzen enthalten, das die Schwärzung des Kolbens durch verdampftes Wolfram von der Glühwendel verhindert. Dadurch kann der Draht heißer glühen (verbesserte Lichtausbeute) und die Lampe hält auch etwa doppelt so lange wie klassische Glühlampen. Im Vergleich zu modernen Leuchtmitteln benötigen sie zur Licht-erzeugung jedoch mehr Strom, weshalb die meisten Halogenlampen 2023 ausgephast werden, da sie die dann geltenden Energieeffizienzanforderungen nicht mehr einhalten. Halogenlampen für Spezialanwendungen, beispielsweise für den Einsatz im Backofen, sind davon nicht betroffen.



Ersatz durch Retrofitlampen

→ SCHRITT 1:

DIE RICHTIGE HELLIGKEIT AUSWÄHLEN

Da bei Glühlampen die Wattzahl der wichtigste Indikator für die Helligkeit war, muss zunächst herausgefunden werden, welche Menge Licht benötigt wird. Wie bereits in Kapitel „Lichtmenge und Effizienz“ erwähnt, wird die Helligkeit der Beleuchtung über die Lumenzahl beschrieben. Sofern nur die Wattangabe der alten Glühlampe bekannt ist, kann man mit Hilfe folgender Tabelle auf die entsprechende Lumenzahl schließen, die benötigt wird wenn die Helligkeit gleich bleiben soll.

Lichtmengenklasse (Lichtstrom)	Alte „Leistungsklasse“ bei Glühlampen
 100 lm	15 W
200 lm	25 W
400 lm	40 W
 700 lm	60 W
900 lm	75 W
1.300 lm	100 W
 2.200 lm	150 W

→ SCHRITT 2:

DIE RICHTIGE FASSUNG AUSWÄHLEN

Um eine Glühbirne durch eine LED Retrofitlampe zu ersetzen, muss nachgeschaut werden, welche Fassung die alte Lampe hat. Gängige Fassungen sind E27, E14, GU10, GU5.3 und G4.



→ SCHRITT 3:

DIE GEWÜNSCHTE/PASSENDE FORM AUSWÄHLEN

LED-Leuchten gibt es in verschiedenen Formen, wie klassische Birne, Globusform, Kerze und Spotbeleuchtung sowie als Röhre. Die Form beeinflusst wiederum die Lichtwirkung der Lampe. Während eine Spotbeleuchtung ein gebündeltes Licht in eine Richtung und manche Röhren ihr Licht nur nach einer Seite abgeben, strahlen die anderen Formen in viele Richtungen ab und erzeugen eine flächigere Ausleuchtung. Sofern der Ersatz in einer vorhandenen Leuchte erfolgt, ist oft die Form des LED-Leuchtmittels bereits vorgegeben.



→ **SCHRITT 4:****DIE GEEIGNETE/ANSPRECHENDE FARBTEMPERATUR AUSWÄHLEN**

Im Gegensatz zur Beleuchtung mit Glühlampen kann bei LEDs zwischen einer großen Bandbreite von Farbtemperaturen ausgewählt werden. Die „warme“ Farbtemperatur einer Glühlampe liegt bei ca. 2700 Kelvin, LEDs gibt es auch mit deutlich höheren, „kälteren“ Farbtemperaturen. Der gewünschte Einsatzzweck im Haushalt, beispielsweise Arbeitsbereich in der Küche versus Couch im Wohnzimmer, sollte berücksichtigt werden.

→ **SCHRITT 5:****DIE RICHTIGE PRODUKTEIGENSCHAFT AUSWÄHLEN**

Auch unter den LED-Leuchten gibt es gewisse Unterschiede, z. B. kann zwischen mattem und transparentem Glas gewählt werden. Außerdem sind nicht alle LEDs dimmbar – wenn diese Funktion gewünscht ist, sollte auf die Kennzeichnung auf der Verpackung geachtet werden.

Integrierte LED-Leuchten

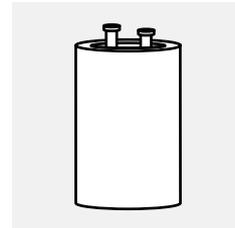
Im gewerblichen Bereich werden Leuchten mit fest integrierten LEDs auf Grund ihrer höheren Effizienz und längeren Lebensdauer gegenüber dem Wechsel von Lampen bevorzugt. Bei der Anschaffung neuer LED-Leuchten lohnt sich durchaus die Überlegung, bewusst auf einen möglichen Lampenwechsel zu verzichten, falls sich die geplante Nutzungsdauer der Leuchte und die Leuchtmittellebensdauer annähern. Die Leuchtmittellebensdauer von LEDs liegt inzwischen über 50.000 Betriebsstunden. Das kann bei haushaltsüblicher Nutzung 35 Jahre und mehr bedeuten. Integrierte LEDs weisen außerdem eine höhere Lichtausbeute auf als austauschbare Lampen. Eine integrierte Lichtlenkung kann mehr Licht aus der Leuchte liefern, was die Beleuchtungseffizienz zusätzlich steigert. Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung sind die gesamten Lebensdauerkosten und nicht nur der Anschaffungspreis der Leuchte entscheidend. Laut der Ökodesign-Verordnung muss sichergestellt werden, dass Lichtquellen und separate Betriebsgeräte mit allgemein verfügbaren Werkzeugen ohne dauerhafte

Beschädigung des umgebenden Produkts ausgetauscht werden können. Ist dies nicht erfüllt, müssen die integrierten LED-Leuchten alle Anforderungen der Ökodesign-Verordnung an Lichtquellen erfüllen.

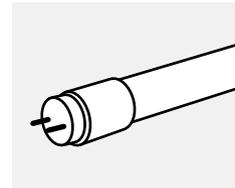
Exkurs: Leuchtstoffröhren durch LED-Röhren ersetzen

Leuchtstoffröhren können nicht eins zu eins gegen beliebige LED-Röhren ausgetauscht werden. Unter Berücksichtigung der folgenden Aspekte ist eine Umrüstung aber meist leicht selbst durchzuführen.

Bevor ein Ersatzleuchtmittel angeschafft wird, muss geprüft werden, welche Art von Vorschaltgerät die alte Leuchtstoffröhre verwendet. Der wesentliche Unterschied, der auf den ersten Blick auffällt, ist dabei der vorhandene oder nicht vorhandene Starter.



> **A.** Ist ein Starter eingebaut, muss dieser durch einen Ersatzstarter (Überbrücker, Dummy) ersetzt werden, da LED-Röhren keinen Starter mehr benötigen. Dieser sollte mit der neuen LED-Röhre mitgeliefert werden.

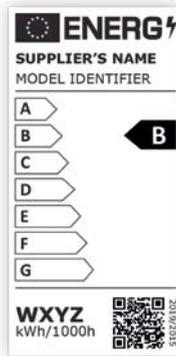
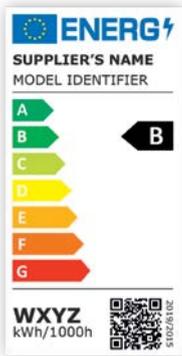


> **B.** Ist kein Starter eingebaut, handelt es sich im Normalfall bereits um ein elektronisches Vorschaltgerät (EVG). In diesem Fall muss beim Kauf der LED-Röhre darauf geachtet werden, dass diese EVG-kompatibel ist.

Achtung: Auch für den Einsatz von LEDs in einer Tandemschaltung (Betrieb zweier Leuchtstofflampen in Reihenschaltung an einem Vorschaltgerät) muss eine besondere Kennzeichnung für die Eignung vorhanden sein!

In einer Verordnung der Europäischen Gemeinschaft ist festgelegt, dass auf jeder Verpackung einer zum Gebrauch im Haushalt vorgesehenen Lampe sichtbar und auffällig ein Energielabel anzubringen ist. Die neuen Label, welche Energieeffizienzklassen auf einer Skala von A bis G ausweisen, enthalten außerdem einen QR-Code, welcher zur Produktdatenbank EPREL leitet. Dort kann der Verbraucher zusätzliche Informationen und detaillierte Beschreibungen zu den Produkten einsehen.

KENZEICHNUNG VON LAMPEN UND LEUCHTEN NACH DER DELEGIERTEN VERORDNUNG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES 2019/2015/ EU VOM 11. MÄRZ 2019 IN BEZUG AUF DIE ENERGIEVERBRAUCHSKENZEICHNUNG VON LICHTQUELLEN



Delegierte Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates 2019/2015/ EU vom 11. März 2019 in Bezug auf die Energieverbrauchskennzeichnung von Lichtquellen

Die meisten modernen Lampen geben in der Regel zusätzlich weitere Informationen auf der Verpackung oder in der Beschreibung im Handel an. Über all diese Angaben finden Sie die Lampe, die für den vorgesehenen Einsatz am besten geeignet ist und Ihrem persönlichen Geschmack entspricht:

- **Lichtstrom (in Lumen), Nennleistung (in Watt) und Nutzungsdauer (in Stunden)** (> siehe Kapitel „Wissenswertes über Licht“)
- **Farbwiedergabe als allgemeiner Farbwiedergabeindex R_a** (> siehe Kapitel „Wissenswertes über Licht“)

- **Farbtemperatur (Angabe der Lichtfarbe, auch in Kelvin)** (> siehe Kapitel „Wissenswertes über Licht“)
- **Angaben zur Dimmbarkeit (sind auf Energiesparlampen und LED-Leuchten keine Hinweise verzeichnet, sind diese Modelle nicht dimmbar)**
- **Angaben zur Fassung (Sockelform und -größe, z. B. E27)**
- **Baugröße der Lampe (Länge und Breite bzw. Durchmesser, jeweils in mm)**
- **Flimmerfreiheit: Da mit der Einführung von LEDs wieder die Bedeutung von Flimmern (zeitliche Schwankungen der Helligkeit (Leuchtdichte)) steigt, sollten sich empfindliche Menschen spezifisch im Fachhandel beraten lassen. In der Ökodesign-Verordnung sind verbindliche Grenzwerte genannt und Hersteller müssen Angaben zur Lichtwelligkeit ihrer Leuchtmittel veröffentlichen.**

Eine klassische Glühlampe war ca. 10 cm lang und hatte einen Durchmesser von 6 cm. Moderne LED-Retrofitlampen entsprechen meist den Größen der Glühlampen der gleichen Lichtstromklasse. Häufig werden auch Umrechnungen in Leistungsklassen von Glühlampen (z. B. 40 W Glühlampe) angegeben. Diese Angaben sind nur ein vager Hinweis. Eine passende Lampe erhalten Sie, wenn Sie nach dem Lichtstrom und der Effizienz auswählen (> siehe Kapitel „Wissenswertes über Licht“).

Neben den technischen Anforderungen tragen auch die Kosten zur Entscheidung über den Kauf einer Lampe bei. Da die LEDs eine lange Lebensdauer vorweisen, zählt nur ein Bruchteil der Anschaffungskosten zu den jährlichen Lichtkosten. Die Höhe hängt von der genauen Lebensdauer der LEDs, dem jährlichen Lichtbedarf und den Strompreisen ab.

→ 18 MODERNE LEUCHTMITTEL UMWELTGERECHT ENTSORGEN

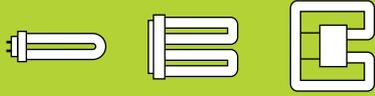
Glüh- und Halogenlampen können problemlos im Hausmüll entsorgt werden. Alle Energiesparlampen, Leuchtstofflampen, LED-Leuchten sowie Speziallampen, die nicht zweifelsfrei Glühlampen sind, dürfen nicht über den Hausmüll entsorgt werden. Das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) verbietet die Entsorgung von allen Geräten mit elektronischen Bauteilen über den Restmüll. Das trifft sowohl auf LED-Leuchten als auch Energiesparlampen zu (> siehe Kapitel „Konventionelle Leuchtmittel durch LED-Leuchten ersetzen“). Energiesparlampen und Leuchtstofflampen enthalten aufgrund ihres Funktionsprinzips Quecksilber.

Daher gelten für diese Lampentypen zusätzlich Auflagen aus dem Umweltschutz, sie müssen als Sondermüll behandelt und entsorgt werden. Für private Verbraucher und Haushalte bedeutet die richtige Entsorgung moderner Leuchtmittel lediglich einen kleinen Aufwand. Die Entsorgung ausgedienter Leuchtmittel ist für Sie kostenfrei. In Deutschland stehen zur Rückgabe mehrere tausend Sammelstellen zur Verfügung. Sie können Leuchtmittel in gekennzeichneten Sammelbehältern entsorgen:

- in vielen Verkaufsstellen (z. B. Fachhandel und Supermärkte)
- an kommunalen Sammelstellen (z. B. Recyclinghof oder in einem Schadstoffcenter)
- bei vielen Elektroinstallationsbetrieben.

Eine breite Übersicht zu vielen tausend Sammelstellen bietet Ihnen die Internetseite www.lightcycle.de. Dort finden Sie garantiert auch in Ihrer Nähe eine für Sie günstig erreichbare Sammelstelle. Informationen über kommunale Sammelstellen erfahren Sie außerdem unkompliziert bei Ihrer Stadt oder Gemeinde. In vielen Orten gibt es zudem mobile Sammelstellen, die im Jahresverlauf auch in Ihrer unmittelbaren Wohnumgebung ausgediente Lampen annehmen.

MODERNE LICHTQUELLEN FÜR DEN HAUSHALT, DIE IN GEKENNZEICHNETEN SAMMELBEHÄLTERN ENTSORGT WERDEN MÜSSEN

LED-Leuchten		diverse Formen und Sockel (> 25 Bauformen)
Leuchtstofflampen		stabförmig (> 15 Bauformen)
Leuchtstofflampen (nicht stabförmig)		diverse Formen (> 5 Bauformen)
Kompakt-Leuchtstofflampen (CFL-ni)		diverse Formen mit Stecksockel (> 25 Bauformen)
Energiesparlampen (CFL-i)		diverse Formen mit Schraubsockel (> 25 Bauformen)

Die delegierte Verordnung 2019/2015/EU reguliert die Anforderungen zur Kennzeichnung von Lichtquellen, wenn diese in Verkehr gebracht werden.

Außerdem wird darin festgelegt, welche Informationen in die neue EU-Produktdatenbank E-PREL (EU Product Database for Energy Labelling) einzupflegen sind. Über den QR-Code des Energielabels der Lichtquelle gelangen Sie auf das Produktdatenblatt in der EPREL-Datenbank. Hier finden Sie Informationen, Herstellerdaten, Modellkennung, technische Parameter sowie Energieeffizienzklasse, und können so Modelle vergleichen und die geeignete effiziente Lichtquellen auswählen.

Die delegierte Verordnung 2019/2015/EU der Kommission vom 11. März 2019 zur Ergänzung der Verordnung 2017/1369/EU des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf die Energieverbrauchskennzeichnung von Lichtquellen finden Sie unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02019R2015-20210901&from=EN>

Die Verordnung 2019/2020/EU der Kommission vom 1. Oktober 2019 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen und separate Betriebsgeräte gemäß der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates finden Sie unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R2020&from=DE>

Die Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten finden Sie unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011L0065&from=DE>

- Informationen zum Thema Lichtquellen und Lichtverwendung mit vielen Anregungen finden Sie auf der Seite www.licht.de
- Auf der Internetseite www.lightcycle.de finden Sie umfassende Informationen zum Umgang mit ausgedienten und gebrochenen Leuchtstofflampen/Energiesparlampen und LED-Leuchten.
- Auf unserer Internetseite www.saena.de bieten wir Ihnen viele nützliche Anregungen rund um den Energieverbrauch im Haushalt, unter anderem auch zu Heizkosten, Stromverbrauch, Heizkosten und Mobilität.



IMPRESSUM

Herausgeber

Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH
Pirnaische Straße 9 · 01069 Dresden
Telefon: 0351 4910-3179
Email: info@saena.de · Internet: www.saena.de

Fachliche Redaktion

Ing-Büro für Lichttechnik
Dipl.-Ing. Hans-Georg Schmidt
13585 Berlin

Gestaltung/Layout

Heimrich & Hannot GmbH, Dresden

7. aktualisierte Auflage 2022

© Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH
alle Rechte vorbehalten.

Bildnachweis

(Titel) Fotolia.com: virtua73; (S. 3) Fotolia.com: Pavel Losevsky; (S. 7) Fotolia.com: Andreas Bouloubassis;
(S.9) Fotolia.com: Eray; (S. 10) AdobeStock.com: StockPhotoPro; (S. 13) AdobeStock.com: Kara;
(S. 13) iStockphoto: stocksnapper; (S. 14) AdobeStock.com: photka