



Es werde Licht

Was Sie über LED-Lampen wissen müssen

Wollten Sie auch schon mal LED-Lampen kaufen und konnten mit den Daten auf der Verpackung nichts anfangen? Mit ein paar technischen Erklärungen wissen Sie, worauf Sie achten müssen.

Von Ulrike Kuhlmann

Wer früher eine neue Glühlampe brauchte, ging in den Laden und kaufte beispielsweise eine 60-Watt-Birne – die Watt-Zahl reichte zur Einordnung aus. Auf der Verpackung von LED-Lampen finden sich dagegen etliche weitere Angaben. Doch was bedeuten 600 Lumen bei einer solchen Lampe in der Praxis? Ist eine mit 5 Watt spezifizierte LED-Lampe für den geplanten Einsatz

okay oder wäre das 10-Watt-Modell besser? Wie hell leuchtet die Lampe wirklich, produziert sie eher kaltes oder warmes Licht, wie groß ist ihr Lichtkegel? In diesem Artikel erklären wir ein paar grundlegende Dinge rund um LEDs.

Zahlen und Daumenwerte

Auf der Verpackung von LED-Birnen – korrekt muss man von Lampen sprechen – finden sich meist Angaben zur elektrischen Leistungsaufnahme in Watt [W], zum Lichtstrom in Lumen [lm] und zur Farbtemperatur in Kelvin [K]. Zusätzlich wird der Abstrahlwinkel in Grad [°] und oft der Farbwiedergabeindex (Color Rendering Index, CRI) angegeben. Ist die Lampe dimmbar, findet sich auch dafür ein Symbol, meist ein Kreis mit einem Drehpfeil. Außerdem sollte die prognostizierte Lebensdauer und muss die Energieeffizienzklasse angegeben sein.

Wie hell eine LED-Lampe im Vergleich zur klassischen Glühlampe sein wird, lässt sich anhand der angegebenen Leistung abschätzen. So produziert eine Glühlampe zwischen 8 und 15 lm/W – als Daumenwert können Sie 10 lm/W annehmen, bei stärkeren Glühlampen etwas mehr. Eine 40-Watt-Birne wird also ungefähr 400 Lumen erzeugen.

Eine LED-Lampe schafft zwischen 80 und 120 lm/W; in unserem Test von Seite 66 lagen die smarten Modelle im klassischen Birnendesign mit E27-Fassung – sogenannte Retrofits – zwischen 80 und 90 lm/W. Werden solche LED-Lampen mit 10 Watt angesteuert, erzeugen sie wie die 60-Watt-Glühlampe einen Lichtstrom von rund 800 Lumen.

Die Helligkeit der beleuchteten Fläche hängt dabei von der Lampenform ab: Ein GU10-Strahler mit kleinem Abstrahlwinkel konzentriert die Lichtmenge auf einen kleineren Bereich. Der Strahler kann deshalb kleine Flächen bei gleicher Lumenzahl heller ausleuchten als das klassisch birnenförmige E27-Modell mit großem Abstrahlwinkel.

Falls man Sie im Fachhandel mit den verschiedenen Lichtbezeichnungen verwirrt: Der Lichtstrom (Lumen, kurz lm) umfasst die gesamte Lichtmenge, die eine Lampe in den Raum abgibt. Mit der Lichtstärke (Candela, kurz cd) bezieht man den Lichtstrom auf einen begrenzten Raumwinkel. Die Beleuchtungsstärke (Lux, kurz



So viele Kenndaten für eine einzige LED-Lampe! Beim Entschlüsseln helfen Faustregeln und Grundkenntnisse der LED-Technik.

lx) beschreibt den Lichtstrom, der auf eine bestimmte Fläche fällt.

Abstrahlcharakteristik

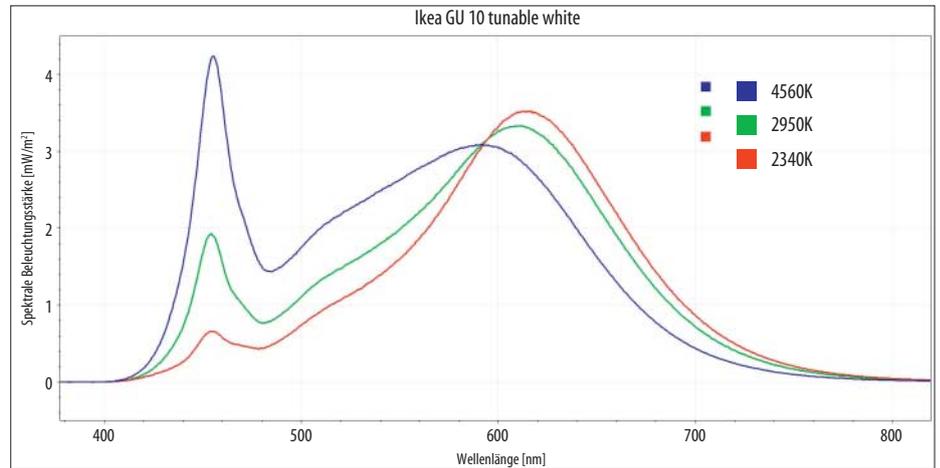
Wie unsere Messungen zeigen, leuchten die Retrofit-LED-Lampen in klassischer E27-Glühlampenform im Wesentlichen die Halbkugel vor der Lampe aus; auf und neben den Sockel fällt kaum Licht. Damit gleicht die Lichtverteilung dieser frei hängenden LED-Lampe nach unten einer klassischen Glühbirne, an die Decke wirft sie dagegen kaum Licht. Für Wandleuchten, die seitlich abstrahlen, eignen sich solche Lampen weniger.

Bei den klassischen E14-Kerzenmodellen bleibt der Bereich direkt über der Kerzenspitze ebenso dunkel wie an der Lampenfassung, die Abstrahlcharakteristik ähnelt einem Donut. Die GU10-Strahler leuchten wiederum kegelförmig in den Raum. Mit ihrem gerichteten Lichtstrahl kann man Akzente im Raum setzen oder gezielt Bilder und Objekte ausleuchten.

Die winzigen Dioden im Innern einer LED-Lampe sind punktförmige Lichtquellen, die jeweils einen Raumwinkel von maximal 2° ausleuchten. Für größere Abstrahlwinkel sitzen in den Lampen mehrere LEDs und Diffusoren, wie das Foto der aufgebrochenen Lampe zeigt. Bei der farbigen LED mischt ein kleiner Diffusor zunächst das Licht der farbigen LEDs, und die diffuse Außenhülle der Lampe verteilt dieses Licht möglichst gleichmäßig in den Raum. Für weiße Lampen genügt eine einzelne diffuse Außenhülle.

Der Lichtstrom umfasst das gesamte in den Raum abgestrahlte Licht. Um ihn zu ermitteln, nutzt man üblicherweise ein Goniophotometer, das die Lampe um den Sensor herumbewegt. Für unseren Test kam das LGS 650 von Instrument Systems zum Einsatz: Sein Schrittmotor bewegte die Lampe Stück für Stück um den Messkopf und drehte sie zusätzlich schrittweise um die eigene Achse. Mit dem LGS 650 sind Messungen mit 0,01 Grad Auflösung in einem Winkelbereich von +/- 160 Grad möglich; wir haben die Auflösung etwas reduziert, um die Messdauer zu verkürzen.

Während jeder Messung ermittelt das LGS 650 zugleich die elektrischen Kenndaten der Lampe. Bestückt man den Messkopf mit einem Fotometer, kann man sich mit einer kontinuierlichen Fahrt des Goniometers in wenigen Minuten einen ersten Überblick über den Lichtstrom verschaffen. Für die Farbdaten wie den



Das Kaltweiß (4560 K) zeigt das typische Spektrum einer blauen LED mit gelbem Phosphor. Je wärmer die Farbtemperatur wird, umso mehr tragen die warmweißen LEDs zum Gesamtlichtstrom bei.

CRI wurde der Messkopf stattdessen mit einem Spektroradiometer bestückt. Jede Messung dauerte damit rund eine Stunde.

Warmes oder kaltes Licht

LED-Lampen gibt es mit unterschiedlichem Farbweiß: Bei vielen ist die Farbtemperatur fest voreingestellt, bei anderen kann man sie über eine Fernbedienung oder bei smarten Lampen in einer App in vorgegebenen Schritten oder sogar stufenlos verändern.

Die Farbtemperatur wird in Kelvin angegeben; sie orientiert sich an der Farbe von erhitztem Eisen: Das Metall glüht zunächst rot und wechselt dann mit steigender Temperatur über Orange und Gelb ins helle Blau. Je bläulicher das Farbweiß, umso höher ist die Farbtemperatur (Correlated Color Temperature, CCT) – ab 6500 Kelvin spricht man von Kaltweiß.

Auch die Farbtemperatur des Tageslichts variiert: Der Morgen startet mit

einem warmen rötlichen Ton von etwa 3000 Kelvin, mittags wird das Maximum von 5500 bis 6500 Kelvin erreicht, abends wird das Licht wieder wärmer. So entscheidet die Farbtemperatur einer Lampe auch über deren Wirkung: Warmweiße LED-Lampen mit 2700 Kelvin wirken zumindest in unseren Breiten gemütlicher, weil sie das Abendlicht reproduzieren. Der Blauanteil im Licht synchronisiert zudem unsere innere Uhr: Die Produktion des Schlafhormons Melatonin wird durch kaltweißes Licht gehemmt. Deshalb gelten stark blau leuchtende Lampen und Smartphone-Displays als Einschlaf-Störer.

Lampen mit einstellbaren Farben und Farbtemperaturen nutzen verschiedenfarbige LEDs, die sie unabhängig voneinander ansteuern. In LED mit fest vorgegebenem Farbweiß stecken üblicherweise blaue Dioden, die mit einem gelben Phosphor beschichtet sind: Ein Teil des blauen



In der farbigen LED-Lampe sitzen blaue LED-Chips mit gelbem Phosphor, LEDs mit rotem Phosphor für das wärmere Licht und rein blaue LEDs. Die innere Diffusorkappe mischt das Licht der farbigen LEDs zusammen, die diffuse Lampenhülle verteilt das gesamte Licht gleichmäßig im Raum.



Das Licht der Retrofit-Lampen wurde mit dem Gonio-photometer LGS 650 von Instrument Systems von einem knapp 2,50 Meter entfernten aufgestellten Spektroradiometer erfasst.

Lichts wird in der Phosphorschicht konvertiert, die Mischung ergibt „weißes“ Licht.

Welche Farbe eine LED emittiert, legt das Material am Halbleiterübergang fest; üblich sind Arsenide, Phosphide und Nitride sowie Kombinationen daraus – für blaue Dioden etwa Indiumgalliumnitrid (InGaN). Blaue Dioden arbeiten besonders effizient, rote ebenfalls, grüne weniger. Deshalb nutzt man für einstellbare weiße Lampen entweder kaltweiße LEDs (blau mit gelbem Phosphor) und warmweiße (blau mit orangem Phosphor) oder eine Kombination aus kaltweißen und roten LEDs. Sollen alle möglichen Farben einstellbar sein, müssen RGB-LEDs her: Dann sitzen rote (R), grüne (G) und blaue (B) Dioden in einem gemeinsamen Gehäuse.

Das Spektrum auf Seite 75 zeigt die Mischverhältnisse bei unterschiedlichen Farbtemperaturen. Für die kaltweiße Farbtemperatur zeigt sich das typische Spektrum kaltweißer LEDs, die auch in Mobilgeräten verwendet werden, mit deutlicher Spitze bei 450 nm (Blauanteil) und breiterem Wellenberg um 570 nm

(Gelbanteil). Mit steigender Farbtemperatur verschiebt sich der Wellenberg zu größeren Wellenlängen um 615 nm (Rotanteil), der blaue Peak nimmt deutlich ab.

Wer mehrere Lampen beispielsweise über dem Tisch kombinieren will, braucht Lampen möglichst gleicher Farbtemperatur – die Kombination von Lampen verschiedener Hersteller verbietet sich dabei. Fällt das Licht auf ein weißes Tischtuch, wird man auch kleinere Abweichungen in der Farbtemperatur bemerken. Hier können smarte Lampen mit stufenlos einstellbarer Farbtemperatur helfen.

Anhand des Spektrums lässt sich auch ermitteln, wie natürlich Objekte unter der LED-Lampe aussehen. Der Kennwert heißt Color Rendering Index, kurz CRI: Eine Glühlampe erreicht das vom Sonnenlicht vorgegebene Optimum mit einem CRI von 100, unsere smarten LED-Lampen schaffen einen CRI zwischen 80 und 90. Im Licht von Lampen mit einem CRI unter 80 sehen farbige Objekte weniger kräftig aus als bei Tageslicht und Gesichter bekommen ungesunde Farbstiche. Grund: Im Lampenspektrum fehlen bestimmte Wellenlängen, wodurch die Far-

ben dieser Wellenlänge nicht reflektiert werden.

Zugleich arbeiten Lampen mit hohem CRI weniger effizient: Während der CRI ein möglichst gleichförmiges Spektrum erfordert, besitzt monochromatisches LED-Licht mit einem Wellenlängenpeak um 555 nm die höchste Energieeffizienz. Die Lampenhersteller müssen hier also stets einen Kompromiss finden.

Auch LEDs erzeugen Wärme

Viele Lampenausfälle entstehen durch unzureichende Wärmeabfuhr – auch wenn sich die Lampen außen kaum erwärmen, gehen bei der Umwandlung der elektrischen Energie in Licht im Halbleiter über 50 Prozent als Wärme verloren. Diese Wärme muss durch sorgfältiges thermisches Design von den einzelnen LED-Chips nach außen abgeführt werden. Steckt man LED-Lampen in geschlossene enge Leuchtschirme, droht Wärmestau und damit vorzeitiger Lampentod. Auch mit Dimmern funktionieren viele LED-Lampen nicht: Ihre interne Regelung versucht, die Netzspannung konstant zu halten, während der Dimmer die Energiezufuhr verändert. Selbst eine laut Verpackung dimmbare Lampe arbeitet nicht mit allen Dimmern zusammen.

Wichtig für eine konstante Lampenhelligkeit ist eine möglichst konstante Spannung an den Dioden: Eine Wandler-schaltung im Lampensockel erzeugt aus der Netzspannung die notwendige Gleichspannung; mit der Güte dieses Netzteils steigt die Stabilität der Helligkeit.

Die Leuchtstärke der Lampe hängt vom Strom durch die LEDs im Lampenkörper ab. Um die Helligkeit der einzelnen LEDs und damit die Farbmischung und die gesamte Lampenhelligkeit zu verändern, steuert die eingebaute Elektronik den Stromfluss. Das geschieht durch schnelles An- und Ausschalten per Pulsweitenmodulation (PWM): Je breiter der Puls innerhalb einer festen Schrittweite, desto heller leuchten die LEDs. Das trägt menschliche Auge nimmt lediglich die durchschnittliche Leuchtstärke wahr.

Die Taktfrequenz der PWM variiert je nach Hersteller – bei den zwölf smarten Lampen unseres Tests lag sie zwischen 600 und 1000 Hz. Je höher die Taktfrequenz und je größer das Tastverhältnis, umso geringer ist das Risiko, dass die Lampe flimmert. Auf den Lampenverpackungen findet man dazu leider keine Angaben. (uk@ct.de) **ct**

Helligkeitssteuerung per PWM: Je breiter der Puls innerhalb der festen Schrittweite (hier 1 ms entsprechend 1 kHz), umso heller leuchtet die Lampe.

