

Allgemeinen Informationen zur LED-Technik

Bereits jetzt ist die LED dabei, die Glühlampe in etlichen *Spezialanwendungen* zu verdrängen. Die Vorteile gegenüber der herkömmlichen Glühlampe: Die LED verbraucht weniger Energie bei gleicher Lichtmenge, erzeugt weniger Wärme, ist unempfindlich gegenüber Erschütterungen, erreicht deutlich kürzere Schaltzeiten und hat, eine niedrige Sperrschicht-Temperatur vorausgesetzt, eine hohe Lebensdauer.

Ab 2007 kamen von vielen Herstellern LED-Lampen für die üblichen E27- und E14-[Glühlampensockel](#) auf den Markt. Allerdings erreichten viele maximal 300 Lumen Helligkeit, was etwa einer 20 Watt starken konventionellen Glühlampe entspricht. Neben der für viele Zwecke ungenügenden Helligkeit wurde auch oft die bläuliche („kalte“) Lichtfarbe kritisiert. Während die Lichtfarbe immer noch ein Problem darstellt, ist eine ausreichend starke Beleuchtung mittlerweile möglich. Seoul Semiconductor etwa gab Ende Februar 2008 die Entwicklung und Markteinführung ultraheller LEDs bekannt, die 900 Lumen bei 10 Watt leisten.^[12] Das kommt etwa einer Glühlampe mit 75 Watt, respektive Energiesparlampen mit 17 Watt gleich.

Die hohen Ströme (typisch 350 mA und mehr) als Konstantstrom verlangen spezielle Treiberbausteine ([Integrierte Schaltungen](#), [Schaltregler](#)) und elektronische Lösungen zur Ansteuerung. Der Betrieb mit [niederfrequenter PWM](#) genügt nicht allen Ansprüchen. Das thermische Management bekommt aufgrund der hohen Leistungen auf sehr kleiner Fläche (wenige mm²) und erforderlicher geringer Sperrschichttemperatur große Bedeutung – eine höhere Sperrschichttemperatur T_j (von englisch *junction*) hat eine Verminderung von Lebensdauer und Lichtleistung zur Folge. Eine „OSTAR LED“ nimmt beispielsweise bis zu 12 Watt auf^[13] (Lichtabgabe bis zu 1120 lm, Stand Januar 2009), was über thermische Substrate (beispielsweise Metallkernleiterplatte) und einen Kühlkörper an die Umgebung abgeführt werden muss.

Eine Studie der Universität Pittsburgh aus dem Jahr 2009 ^[14] verglich die Straßenbeleuchtung mit LEDs mit der mit [Natriumdampf-Hochdrucklampen](#) sowie mit [Halogen-Metaldampflampen](#). Das Ergebnis der Studie war, dass die LED-Beleuchtung einen ähnlichen Ressourcenverbrauch über die Lebensdauer erzeugt wie die beiden anderen Technologien, dass bei den LEDs aber noch viel Potential zur Optimierung bestehe. Daher empfehlen die Autoren mittelfristig einen kompletten Umstieg auf LEDs zur Straßenbeleuchtung.

Die effizientesten weißen LEDs erreichen derzeit (Stand Februar 2010) im optimalen Fall eine Lichtausbeute bis zu 208 Lumen/Watt ^[8] bzw. seit September 2010 bei 250 lm/W ^[9]. Das ist schon sehr viel, wenn man berücksichtigt, dass das theoretische Maximum (100 % Strahlungsleistung) bei 6600 K (relativ kalt wirkend) physikalisch nicht größer als ca. 350 lm/W sein kann. Die Lumenzahl ist stark von der Lichtfarbe abhängig, bei warmweißen LED liegt sie deutlich unter der von kaltweißen.

Ein weiterer Parameter ist die Leistung pro Einheit: je höher die Leistung einer einzelnen LED wird, desto schlechter ist ihr Wirkungsgrad. Das resultiert sowohl aus Quanteneffekten als auch aus einer höheren Temperatur des LED-Chips. Aus diesem Grund werden in vielen Anwendungen die LEDs nicht bei der vom Hersteller angegebenen Nennleistung, sondern darunter betrieben. Dadurch erhöht sich die Energieeffizienz und durch die reduzierte Temperatur verlängert sich die Lebensdauer der LED, gleichzeitig vereinfacht die geringere Abwärme die Kühlung und damit die Konstruktion der Leuchte. Allerdings kann es dadurch notwendig werden, mehr LEDs einzusetzen, um die gewünschte Lichtmenge zu erreichen, wodurch ggf. eine aufwändigere Optik notwendig wird.

Der Wirkungsgrad einer massengefertigten LED unterliegt einer gewissen Streuung. So wurden bereits vor Jahren einzelne LED-Labormuster mit hohem Wirkungsgrad im Labor hergestellt und bald darauf als Massenprodukt angekündigt. Mit dem sogenannten „Fluxbinning“ werden aus einer Produktion mehrere Klassen verschiedener Lichtströme selektiert und mit jeweils unterschiedlichen Preisen angeboten. Selbstverständlich wirbt ein Hersteller mit seiner höchsten Klasse. Wie klein der Anteil der besten Klasse an der Gesamtproduktion ist, erfährt man indirekt über den Preis und die Lieferbarkeit. Die angegebene Lichtausbeute bezieht sich einerseits auf die Anschlussschnittstelle eines LED-Bausteins, nicht auf eine LED-Lampe, bei der noch die Verluste durch das notwendige Vorschaltgerät mit 70 bis 95 % [Wirkungsgrad](#) dazukommen (dieser Wirkungsgrad wird sich Dank neuer (2010) gesetzlicher EU-Richtlinien merklich verbessern). Weitere Verluste entstehen durch eine (eventuell) weitere Optik in einer Lampe. Viele erhältliche LEDs liegen derzeit bei 30–80 Lumen/Watt. Die Lichtausbeute liegt damit über der von Glüh- und Halogenlampen mit circa 13 beziehungsweise 17 lm/W^[10] und teilweise unterhalb der von [Leuchtstofflampen](#), die etwa 50 bis 70 lm/W inklusive Vorschaltgerät und Abschattungs- und Reflexionsverlusten erreichen. Da durch die Messung in der Einheit Lumen die Eigenschaften des menschlichen Auges berücksichtigt werden (vgl. [Hellempfindlichkeitskurve](#)), erreichen LEDs in den Farben Grün bis Rot besonders hohe Werte, während beispielsweise blaue LEDs deutlich schlechter abschneiden. Im rein physikalischen Wirkungsgrad, also der Umwandlung von elektrischer Energie in Licht, sind blaue LEDs nicht zwangsläufig schlechter. Physikalische Wirkungsgrade sind derzeit bis über 30 % erreichbar, bezogen auf die eigentliche LED, ohne Verluste durch Vorschaltgeräte und ggf. Optik.

Mitte Dezember 2006 erreichte eine LED von [Nichia](#) in Labortests 150 lm/W (fast 22 % Wirkungsgrad). Das entspricht bereits der Effizienz von [Natriumdampf-Hochdrucklampen](#). Im September 2007 gelang es [Cree](#) im Labor, eine kaltweiße LED mit über 1000 lm bei einer Effizienz von 72 lm/W zu betreiben, die warmweiße Variante kam bei 52 lm/W immerhin noch auf 760 lm Lichtausbeute. Seit Mai 2009 ist eine LED von Nichia auf dem Markt mit einer angegebenen Lichtausbeute von 160 lm/W, allerdings nur geringer Gesamtleistung.

Im September 2009 begann Cree mit der Auslieferung einer weißen LED mit einer Lichtausbeute (Herstellerangaben) von 132 lm/W, die bei der maximalen Leistungsaufnahme von fast 10 W auf 105 lm/W abfällt, wobei für diesen Produktionstyp Lichtstromwerte bei 350 mA in den Leistungsklassen: 114 lm; 122 lm; 130 lm und 139 lm (=132lm/W) angeboten werden.^[11]

2007 galt für die Lichtausbeute handelsüblicher LED-Leuchten die Faustregel: Leistung der LED(s) multipliziert mit 4 ergibt die Leistung in Watt einer klassischen Glühlampe (5 % Wirkungsgrad). Seit 2009 eignet sich der Faktor 4 für den Vergleich mit Halogenlampen, die gegenüber Glühlampen um etwa 30 % effizienter sind. Die Leistungsfähigkeit neu in den Markt kommender Lösungen liegt darüber und nähert sich einem Faktor 10 gegenüber klassischen Glühlampen an. Cree berichtet in einer Pressemitteilung vom 3. Februar 2010^[8] über eine Labor-Prototyp-LED die 208 Lumen pro Watt bei Raumtemperatur erreicht. Die Farbtemperatur beträgt dabei 4579 K.