

BELEUCHTUNG

Leuchten auf Energiesparkurs

LEDs sind dank steigender Effizienz und geringem Stromverbrauch die Lichtquellen der Zukunft.

Berit Wessler und Christopher Wiesmann

Dank künstlichem Licht sind wir zwar unabhängig vom Tageslicht geworden. Heutzutage entfallen aber rund 20 Prozent des weltweiten Stromverbrauchs auf die Beleuchtung. Lichtemittierende Dioden mit ihrer langen Lebensdauer, guten Farbwiedergabe und einer rasant steigenden Effizienz bieten nicht nur in puncto Design vielfältige Möglichkeiten, sondern sie verbrauchen auch deutlich weniger Energie als Glüh- oder Halogenlampen.

Seit der Erfindung der Glühbirne ist künstliches Licht zu einem selbstverständlichen Teil unseres Lebens geworden. Diese Erfindung machte uns unabhängig vom Tageslicht und schuf damit die Voraussetzung für das Industriezeitalter und unseren heutigen Lebensstandard. Der Preis für diese Flexibilität besteht darin, dass heutzutage fast 20 % des weltweiten Stromverbrauchs auf die Beleuchtung entfallen [1]. Dies entspricht dem gesamten Stromverbrauch der Europäischen Union oder der weltweiten Energieproduktion durch Kernkraftwerke im Jahr 2006. Mehr als zwei Drittel dieser Energie verbrauchen Glüh- und Halogenlampen bzw. Quecksilberdampflampen, für die bereits heute deutlich bessere Alternativen verfügbar sind. Erstere sind in Haushalten weit verbreitet, letztere haben einen Anteil von knapp 30 % in der Straßenbeleuchtung. Glühlampen verbrauchen über 35 % der für Beleuchtung aufgewandten Energie, obwohl sie weniger als 10 % der weltweit benötigten Lichtmenge erzeugen. Deswegen hat die Europäische Kommission das schrittweise Verbot der Glühlampen ab 2009 in Kraft gesetzt. Schon heute ließe sich mit existierenden effizienten Leuchtmitteln, z. B. Energiesparlampen, rund ein Drittel der Energie für Beleuchtung einsparen. Die verfügbaren Alternativen stehen allerdings hinsichtlich ihrer Lichtqualität in der Kritik.

Lichtquellen basierend auf Halbleitern, die lichtemittierenden Dioden (LEDs), stehen an der Schwelle, die nächste Ära der Beleuchtung einzuläuten: die Festkörperbeleuchtung. Sie erfüllen wie keine andere Lichtquelle die technischen Erfordernisse unserer Zeit: hohe Energieeffizienz, große Farbvielfalt, eine Lebensdauer bis zu 50 000 Stunden sowie vielfältige Designmöglichkeiten. Die perfekte Ergänzung zu diesen Punktlichtquellen sind LEDs aus organischen Halbleitermaterialien (OLEDs), die als flächige und diffuse Lichtquellen eine völlig neue Art der Beleuchtung



ermöglichen.¹⁾ Die Lichterzeugungseffizienz von LEDs und OLEDs hat sich verglichen mit herkömmlichen Lichtquellen rasant entwickelt (Abb. 1). Daher können sie bestehende Lösungen künftig überflügeln. LEDs bieten aber weitere Vorteile: Sie sind im Gegensatz zu Energiesparlampen frei von Quecksilber und lassen sich augenblicklich an- und ausschalten. Ihre gerichtete Abstrahlung erlaubt es, das Licht genau dorthin zu bringen, wo es gebraucht wird. Das reduziert den Energieaufwand erheblich und minimiert die Lichtverschmutzung. Ein eindrucksvolles Beispiel dafür ist die Straßenbeleuchtung (Abb. 2). Die LED-Straßenlampe verbraucht im Betrieb weniger als halb so viel Energie wie die herkömmliche Natriumdampflampe. Darüber hinaus erhöhen die LEDs durch ihr weißes Licht die Sicherheit im Straßenverkehr.

Während Glühlampen Licht über thermische Strahlung erzeugen, nutzt man in LEDs spezielle Halbleitereigenschaften (vgl. den Artikel von A. Laubsch et

LEDs bieten viele energiesparende Möglichkeiten für die moderne Raumbeleuchtung.

1) vgl. das Schwerpunktheft zur Organischen Elektronik, Physik Journal, Mai 2008, ab S. 29

KOMPAKT

- Die hervorragenden Eigenschaften von LEDs – z. B. hohe Energieeffizienz und Lebensdauer, große Farbvielfalt, gerichtete Abstrahlung – prädestinieren sie für einen umfassenden Einsatz im Alltag.
- LEDs lassen auch in den nächsten Jahren einen Effizienzzuwachs erwarten.
- Durch hocheffiziente LEDs kombiniert mit intelligenten Lichtmanagementsystemen könnte der weltweite Energieverbrauch für Beleuchtung drastisch sinken.

Dr. Berit Wessler und Dr. Christopher Wiesmann, OSRAM Opto Semiconductors GmbH, Leibnizstr. 4, 93055 Regensburg

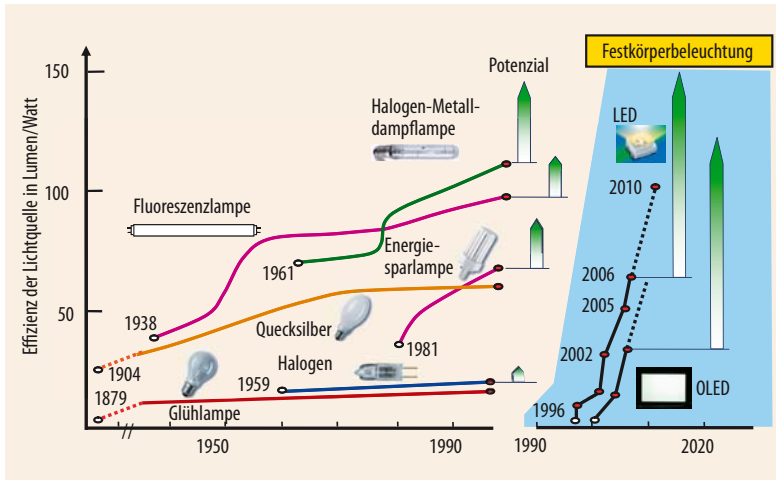


Abb. 1 Während sich die Effizienz herkömmlicher Leuchtmittel in den letzten Jahrzehnten nur allmählich erhöht hat, haben sich LEDs und OLEDs rasant entwickelt.

2) Kaltweiß entspricht einer zum Planckschen Strahler korrelierten Farbtemperatur von ≥ 5000 K.

3) Für die Definition der Kenngrößen vgl. das Glossar auf S. 22.

al.). Die Effizienz von kaltweißen LEDs²⁾ liegt heute typischerweise bei bis zu 100 lm/W, wobei in der Forschung bereits 160 lm/W erreicht wurden.³⁾ In Zukunft sind Effizienzen bis 180 lm/W zu erwarten. Da LEDs in allen Farben erhältlich sind, lassen sich durch entsprechende elektronische Ansteuerung farblich veränderbare Lichtquellen realisieren, die auf die Tageszeit oder Bedürfnisse individuell einzustellen sind.

Verschiedene Faktoren bestimmen die Effizienz einer LED (Abb. 3): Die elektrische Effizienz liegt unter 100 Prozent, da aufgrund von ohmschen Verlusten an den Kontakten oder innerhalb der Halbleiterschichten nicht alle Ladungsträger den pn-Übergang erreichen. Diese Ladungsträger rekombinieren am pn-Übergang strahlend oder nichtstrahlend. Das Verhältnis dieser beiden Raten hängt von der Materialqualität sowie dem Halbleiterschichtaufbau ab und bestimmt die interne Quanteneffizienz der LED. Die unterschiedlichen Brechungsindizes von Halbleiter und Umgebung führen zu Totalreflexion, sodass weniger Licht den Chip verlässt. Das Dünnschichtprinzip von OSRAM Opto Semiconductors, das 2007 mit dem Deutschen Zukunftspreis ausgezeichnet wurde, umgeht dieses Problem und ermöglicht eine Extraktionseffizienz von 75 %. Bei Weißdioden entstehen zusätzlich Verluste durch die Umwandlung von blauem zu gelbem Licht. Die erwartete Effizienz von 180 lm/W ist nur zu erreichen, wenn man jeden dieser Faktoren nah an die physikalische Grenze bringt.

Um abzuschätzen, welche Energieeinsparung durch Festkörperbeleuchtung möglich wäre, ist die Effizienz des gesamten Leuchtmittels zu betrachten und nicht ausschließlich die LED-Komponente. Zu einem solchen Leuchtmittel gehören auch elektronische Vorschaltgeräte, ein Gehäuse und eine Optik, die mit Verlusten behaftet sind. Im Betrieb steigt zudem die Temperatur des LED-Chips. Rund ein Drittel der elektrischen Leistung wandelt sich in Licht um, die restlichen zwei Drittel erwärmen den Chip. Bei einer Glühlampe liegt die Lichtausbeute sogar bei nur drei bis fünf Prozent. Mit steigender Temperatur nimmt aber die Effizienz der LED aufgrund von nichtstrahlender Rekombination von Ladungsträgern ab. Daher ist es notwendig, die entstehende Wärme so gut wie möglich abzuführen. Die LEDs werden dazu aktiv gekühlt oder auf Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit aufgebracht, die diese Wärme effizient abführen. So erreichen typische LED-Leuchtmittel heutzutage eine Systemeffizienz von 50 lm/W.

Warm und farbecht

Da Licht für Wohlbefinden sorgt und in der Raumgestaltung eine wesentliche Rolle spielt, ist neben der Effizienz insbesondere die Qualität des Lichtes entscheidend. Während Leuchtstoffröhren mit ihrem eher kalten Licht in vielen Industriegebäuden zu finden sind, bieten sich in privaten Haushalten wegen ihres warmen Lichtes die Glühlampen an. Mit weißen LEDs lässt sich durch verschiedene Leuchtstoffe ein breiter Farbtemperaturbereich von sehr kaltem bis zu warmem Licht erzeugen. Da aufgrund des höheren Rotanteils der Energieverlust zwischen blauem und konvertiertem Licht größer ist, erreichen warmweiße LEDs verglichen mit kaltweißen jedoch eine geringere Effizienz von aktuell bis zu 75 lm/W.

Für die Lichtqualität spielt auch die Farbwiedergabe eine entscheidende Rolle. Die Farbenvielfalt unserer Umwelt sollte unter künstlichem Licht so erscheinen wie unter Tageslicht. Aufgrund ihrer thermischen Strahlung, die dem Sonnenlicht vergleichbar ist, erreicht eine konventionelle Glühlampe eine sehr hohe Farbwiedergabe. Die effizienten Energiesparlampen hingegen haben deutlich schlechtere Farbwiedergabewerte, weswegen sie oft in der Kritik stehen. Mit

Abb. 2 Die herkömmliche 250-W-Natriumdampflampe (links) verbraucht mehr als doppelt so viel Energie wie die 108-W-LED-Strassenleuchte (rechts).



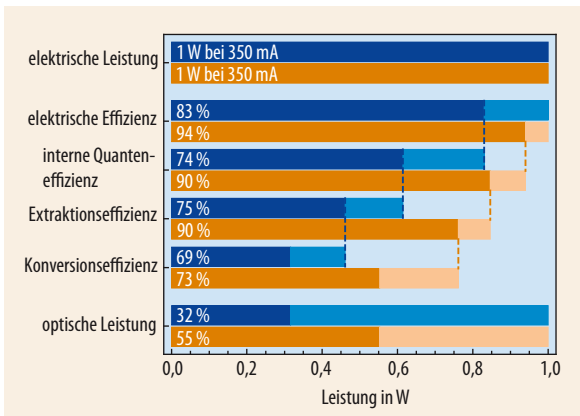


Abb. 3 Gegenüber einer derzeitigen LED mit 100 lm/W (blau) werden sich die einzelnen Effizienzen einer künftigen LED mit 180 lm/W (orange) deutlich verbessern, so muss z. B. die Extraktionseffizienz von 75 auf 90 Prozent steigen.

LEDs lässt sich indessen beides realisieren: eine hohe Energieeffizienz und eine gute Farbwiedergabe. Auch in diesem Fall ist aber aufgrund des benötigten Rotanteils im Spektrum die höhere Qualität mit Effizienzeinbußen gegenüber Lösungen mit schlechter Farbwiedergabe verbunden.

Gesparte Energie

Heute liegt die durchschnittliche Effizienz aller eingesetzten Leuchtmittel bei 50 lm/W [1]. Der private Bereich ist dabei das Schlusslicht: Dort beträgt die mittlere Effizienz nur 22 lm/W. Durch heute bereits verfügbare effizientere Leuchtmittel ließe sich eine Energieeinsparung von etwa 30 % erreichen (Abb. 4). Unter der Annahme, dass LED-Leuchtmittel in einigen Jahren eine durchschnittliche Effizienz von 100 lm/W haben, sind weitere Einsparungen möglich. Durch Kombination dieser hocheffizienten Leuchtmittel mit intelligenten Lichtmanagementsystemen könnte bis 2030 der Energieverbrauch für Beleuchtung um zusätzlich bis zu 30 % sinken. In Lichtmanagementsystemen erfassen Sensoren die Tageslichtsituation und die Anwesenheit von Personen im Raum. So ist es z. B. möglich, das Licht in Bürogebäuden an Fenstersitzplätzen oder auch auf wenig genutzten Fluren stark zu dimmen, um Energie zu sparen. Eine Studie von 2008 zeigte eindrucksvoll, dass selbst bei einem um jährlich 2,4 % steigenden Bedarf [1] LEDs in Kombination mit einem intelligenten Lichtmanagement 2030 weniger Strom verbrauchen werden als die heutige Beleuchtung (Abb. 4) [2]. Durch LED-Beleuchtung ließen sich 1300 TWh Strom bzw. 650 Millionen Tonnen CO₂ jährlich einsparen. Das entspricht etwa der Menge, die sich aus zwei Milliarden Fässern Öl erzeugen lässt. Auch andere anerkannte Studien gehen von einer Reduktion des Stromverbrauches durch Festkörperbeleuchtung in dieser Höhe aus [3]. Besonders hohes Einsparpotenzial gibt es in Bürogebäuden, wo etwa ein Viertel der Energie für Beleuchtung anfällt.

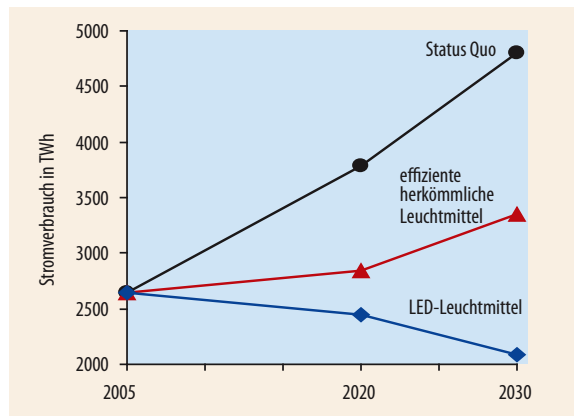


Abb. 4 Setzt man den heutigen Leuchtmittelmix voraus (schwarz), dürfte der weltweite Stromverbrauch für Beleuchtung in den nächsten 20 Jahren stark steigen. Effiziente, schon existierende Leuchtmittel (rot) würden zu einem schwächeren Zuwachs führen, während zukünftige LED-Leuchtmittel (blau) deutlich weniger Energie verbrauchen als heutige Leuchtmittel [2].

In der Regel fließt in die Berechnung von möglichen Energieeinsparungen lediglich die Nutzungsphase ein. OSRAM Opto Semiconductors hat kürzlich eine Studie erstellt, die den gesamten Lebenszyklus eines LED-Leuchtmittels im Vergleich zu Glühlampen und Energiesparlampen unter die Lupe nimmt.⁴⁾ Rohstoffe, Produktion und Recycling sind dabei berücksichtigt. Das Ergebnis zeigt: Schon heute ist die LED in puncto Energieeffizienz gleich auf mit den Energiesparlampen, in Zukunft wird sie die Nase vorn haben. Weniger als 2 % des gesamten Energieaufwands ist für die Produktion des Leuchtmittels nötig. Qualitativ hochwertige und energiesparende LED-Leuchtmittel sind die Lichtquellen der Zukunft, und so kündigt sich in der Allgemeinbeleuchtung nun ein Paradigmenwechsel von den Glüh- und Entladungslampen zum Halbleiterlicht an.

4) vgl. www.osram-os.com/life-cycle-assessment

Literatur

- [1] Light's Labour's Lost, Int. Energy Agency (2006), www.iea.org/textbase/nppdf/free/2006/light2006.pdf
- [2] Ad-hoc Advisory Group Report, ICT for Energy Efficiency, European Commission (2008), http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/consultations/advisory_group_reports/ad-hoc_advisory_group_report.pdf
- [3] McKinsey & Company, Pathways to a Low-Carbon Economy, (2009), www.mckinsey.com/client-service/ccsi/pathways_low_carbon_economy.asp

DIE AUTOREN

Berit Wessler hat nach ihrem Chemiestudium in Bielefeld, Santa Barbara (Kalifornien) und Bonn und nach ihrer Promotion 2001 bei der Siemens Corporate Technology in München begonnen. Seit 2007 leitet sie das Innovations Management bei OSRAM Opto Semiconductors und ist verantwortlich für die Bewertung von Technologietrends im Bereich der Optoelektronik.



Christopher Wiesmann ist seit 2009 im Innovations Management bei OSRAM OS tätig. Nach seinem Physikstudium an der Universität Regensburg hat er sich in seiner Promotion bei OSRAM OS mit der Lichtauskopplung aus LEDs beschäftigt.