

LTG

Lichttechnische Gesellschaft Österreichs

LED

REVOLUTION IN DER LICHTTECHNIK?

www.ltg.at





DIE LICHEMITTIERENDE DIODE – kurz LED genannt – wird oft als das Allheilmittel licht- und energietechnischer Probleme angepriesen. Große Firmen, deren Namen noch vor einigen Jahren wohl niemand mit Beleuchtungstechnik in Verbindung gebracht hätte, widmen sich diesem Thema – ebenso wie etablierte lichttechnische Unternehmen und auch viele neue Startup-Firmen.

Da sich die LED und deren zugehörigen Komponenten sehr rasch weiterentwickeln, versucht diese Broschüre einen Ausblick auf die künftigen Entwicklungen auf Basis des heutigen Wissensstandes zu geben. Alle angegebenen Informationen und Aussagen beziehen sich daher auf einen Status Quo vom Frühjahr 2012.

Es scheint, als stünde die Beleuchtungstechnik vor einer Revolution, vergleichbar der Einführung des Personal Computers im täglichen Leben.

Was sind die Fakten, des beinahe mythischen Leuchtmittel LED?

Impressum: Medieninhaber und Herausgeber: Lichttechnische Gesellschaft Österreichs (LTG), Arbeitskreis öffentliche Beleuchtung und Energieverbrauch (AKÖB). Grafik & Layout: krahphix – Peter Uhl. Fotos: zur Verfügung gestellt von Mitgliedern der LTG und pixelio.de (O. Fischer, Michael Grabscheit, Astrid Maria Kauertz, Rainer Sturm, Henrik G. Vogel, Tobias Zeller).

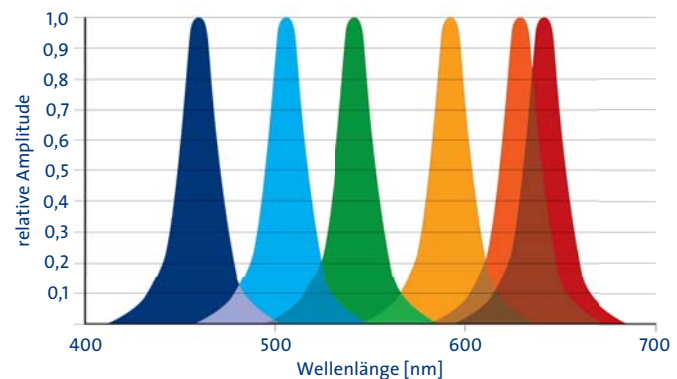
© LTG, Wien 2012 – alle Rechte vorbehalten.

Fakten zur LED

DIE LED ist als Halbleiterbauteil in der Elektronikindustrie seit mehreren Jahrzehnten als Statusanzeige sowie als Sender zur analogen oder digitalen Signalübertragung etabliert. Auch bei Verkehrssignalanlagen (Ampeln etc.) hat die LED mittlerweile ihre Vorzüge unter Beweis gestellt.

DAS LICHT DER LED entsteht in einem Halbleiterkristall durch Wechselwirkung positiver und negativer Ladungen.

DAS LICHT ist annähernd monochrom, d.h. es wird von jedem Halbleiterkristall immer nur Licht einer Farbe erzeugt. Die spektrale Bandbreite dieser Emission beträgt im Allgemeinen etwa 30 nm. Abhängig vom Halbleitermaterial stehen – grob eingeteilt – die Farben Rot, Bernstein, Gelb, Grün und Blau zur Verfügung.



UNTER LABORBEDINGUNGEN erreichten weiße LED im Frühjahr 2012 eine Energieeffizienz von bis zu 150 Lumen/Watt. Im praktischen Betrieb erreichen Straßenleuchten mit LED bis zu ca. 100 Lumen/Watt.

ETWA 65%–80% der von der LED aufgenommenen elektrischen Leistung wird in Wärme umgewandelt. Auch wenn diese Wärmeverluste deutlich geringer als beispielsweise bei einer Glühlampe sind (bei der ca. 95% der aufgenommenen Energie in Wärme umgewandelt wird), müssen diese Wärmeverluste über Kühlflächen vom Halbleiterchip abgeführt werden. Bei einer Chipfläche von 1 mm² und einer Verlustleistung von 1 W ergibt sich eine Leistungsdichte von bis zu 1.000 kW/m² (= 1 MW/m²)¹.

BEDINGT DURCH die kleine Lichtaustrittsfläche der LED tritt an dieser eine extrem hohe Leuchtdichte von bis zu über 10.000.000 cd/m² auf, weshalb auf die Vermeidung allfälliger Blendung (direkter Blick in den Chip) besonders zu achten ist.

LED REAGIEREN wie praktisch alle Halbleiter empfindlich auf elektrostatische Entladungen.

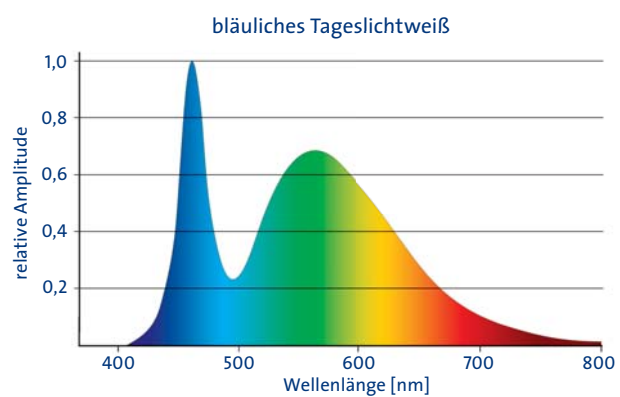
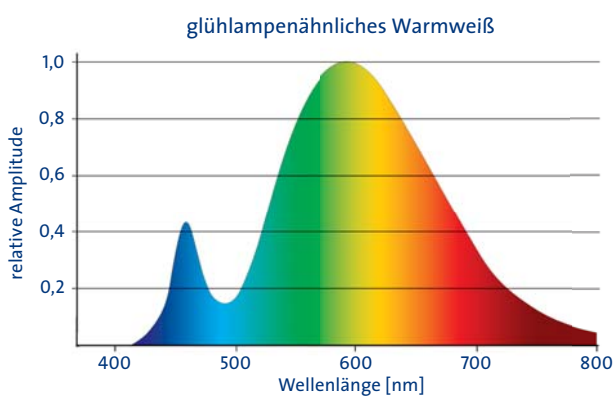
LED SIND nahezu unempfindlich gegenüber Erschütterungen und Vibrationen

¹ Zum Vergleich: Ein elektrischer Heizkörper hat eine Leistungsdichte von etwa 2 bis 4 kW/m².

FÜR DIE ERZEUGUNG von weißem Licht mit LED gibt es zwei verschiedene Technologien:

- Erzeugung durch Umwandlung (Konversion) der Strahlung einer blauen LED mittels einer Phosphorschicht

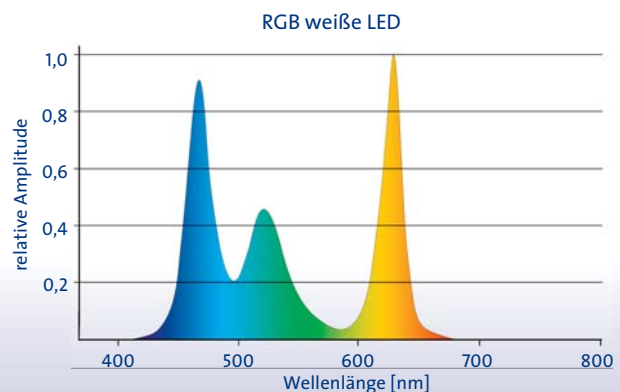
Diese Technologie wird vielfach bei jenen weißen LED eingesetzt, die in der Allgemeinbeleuchtung Verwendung finden. Zusammensetzung und Dicke der Phosphorschicht sind maßgeblich für den Wirkungsgrad der LED und deren Lichtfarbe (rötliches, glühlampenähnliches Warmweiß oder bläuliches, „kaltes“ Tageslichtweiß)



- Erzeugung durch Mischung der Farben Rot, Grün und Blau (RGB-Technik)

Durch Variation der Anteile der einzelnen Farben gestattet diese Technik einen problemlosen Farbwechsel und wird deshalb gerne in der Effekt- und Bühnenbeleuchtung angewendet.

Nachteilig ist das unterschiedliche Temperatur- und Alterungsverhalten der verschiedenfarbigen LED, wodurch die Nachjustierung eines einmal eingestellten „Weiß-Wertes“ erforderlich wird. Da derart erzeugtes Licht nicht alle Spektralfarben gleichermaßen enthält, wirkt sich das nachteilig auf die Farbwiedergabe aus.



WEISSES LED-LICHT ist technologiebedingt frei von UV- und Infrarotstrahlung.

IN DER ALLGEMEINBELEUCHTUNG werden heute weiße LED mit Farbtemperaturen von 3.000K (warmweiß) über 4.000K (neutralweiß) bis 6.500K (tageslichtweiß) eingesetzt. Bedingt durch die dabei üblicherweise verwendete Konversion zur Erzeugung des weißen Lichts sind LED mit höherer (bläulicher) Farbtemperatur (neutralweiß oder tageslichtweiß) effizienter als warmweiße (rötlichere) LED.²

DER FARBWIEDERGABEINDEX (ein Maß dafür, wie „naturgetreu“ Farben wiedergegeben werden) weißer LED liegt im Allgemeinen zwischen 60 und 90 (ähnlich wie bei guten Leuchtstofflampen) – wobei ein höherer (besserer) Farbwiedergabeindex eine Verringerung der Energieeffizienz bewirkt. Im Vergleich dazu besitzt eine Glühbirne einen Farbwiedergabeindex von 100.

DIE LED BEVORZUGT – wie praktisch alle Halbleiter – kühle Temperaturen. Je höher die Chiptemperatur ist, desto geringer sind Lichtausbeute und Lebensdauer. Bei optimalem Thermomanagement kann eine wirtschaftliche Lebensdauer des Halbleiterchips von 50.000 Betriebsstunden und darüber erreicht werden. Meist ist das erforderliche elektronische Vorschaltgerät (Treiber) der limitierende Faktor.

DIE LED KANN GEPULST (also rasch geschaltet), moduliert oder konstant leuchtend betrieben werden. Dabei ist jedoch auf einen stromstabilisierten Betrieb zu achten, da es anderenfalls auf Grund von physikalischen Effekten zur Zerstörung des Halbleiterchips kommen kann.

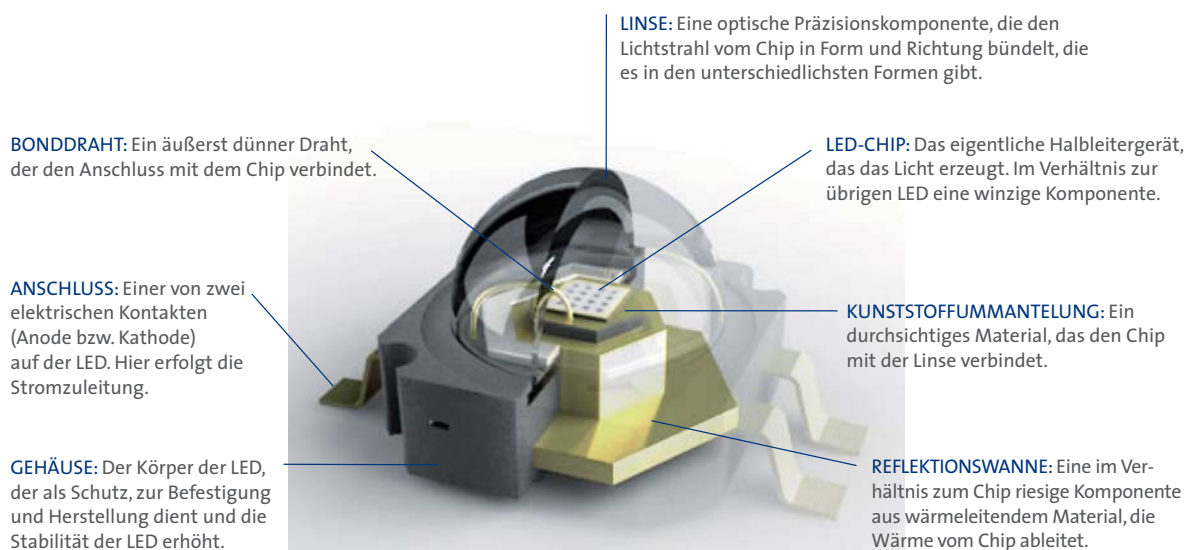
DER LICHTSTROM einer LED ist durch Änderung der Höhe (Amplitude) des Betriebsstromes problemlos über einen Bereich von etwa 10% bis 100% einstellbar. Die sogenannte Dimmung (Helligkeitsregelung) erfolgt jedoch im Allgemeinen durch Pulsweitenmodulierung der LED (unterschiedlich lange Ein- und Ausschaltzeiten).

DIE EINWIRKUNG von Luftfeuchtigkeit, Kondensat etc. können zu einer drastischen Reduktion der Lebensdauer der LED führen. Feuchtigkeit am Halbleiterchip selbst zerstört diesen durch Kurzschluss.



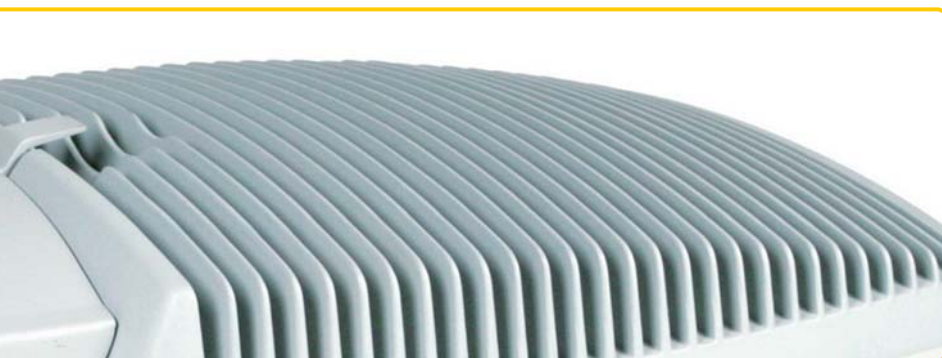
² Unter Energieeffizienz versteht man das Verhältnis der abgegebenen Lichtmenge zur aufgewandten elektrischen Energie. Sie wird in Lumen/Watt angegeben und auch als Lichtausbeute bezeichnet. Je größer diese Verhältniszahl ist, umso energieeffizienter ist die Lichtquelle.

Konstruktion und Betrieb von Leuchten mit LED



Thermomanagement

- ✦ Entscheidend für die Lichtausbeute der LED und deren Erhaltung über eine möglichst lange Nutzungsdauer ist ein gutes Thermomanagement. Die Erhaltung der Kühlwirkung über die Lebensdauer ist essentiell. Eng stehende Kühlrippen verschmutzen rascher, was zu abnehmender Kühlwirkung und folglich Lebensdauerückgang durch höhere Betriebstemperaturen führt. Aktive Kühlung (Lüfter) stellt ein zusätzliches Ausfallrisiko dar.



- ✦ Um eine gute thermische Stabilisierung sicherzustellen, ist nach heutigem Entwicklungsstand jenen Leuchten der Vorzug zu geben, deren metallenes Gehäuse mit den Kühlflächen der LED-Module (idealerweise fix) verbunden sind.

Lichtlenkung

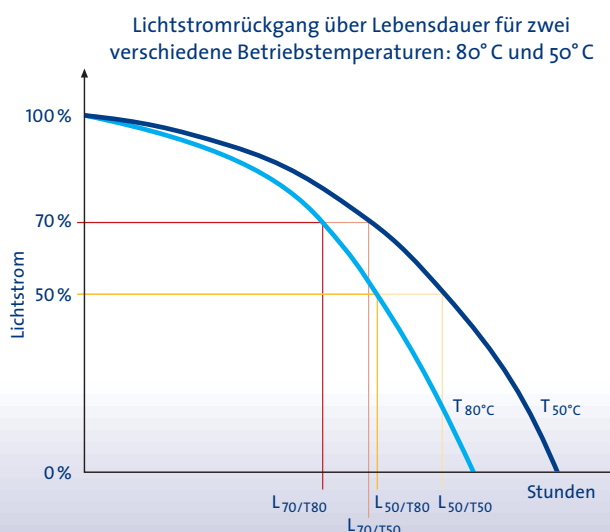
- ☼ So wie auch bei konventionellen Leuchten liegt in der Lichtlenkung das größte Effizienzpotenzial. Die Anforderungen an die Lichtlenkung unterscheiden sich jedoch von jenen von Entladungslampen, da das Licht nicht an einem Punkt sondern meist in einer Vielzahl rasterförmig angeordneter LED erzeugt wird.
- ☼ Durch die Kleinheit der Lichtaustrittsfläche und durch die technologischen Möglichkeiten (in die LED integrierte Linsen und Spiegel) ist bei der LED meist eine weitaus gezieltere Lichtlenkung möglich, als bei herkömmlichen Leuchtmitteln.
- ☼ Um Blendung durch die hohe Leuchtdichte einzelner LED zu vermeiden, bedarf es vermehrt konstruktiver Vorkehrungen.
- ☼ Unerwünschtes Streulicht kann deutlich reduziert werden. Auf die Einhaltung der Normvorgaben (z.B. Surroundfaktor, zur Umfelderkennung im urbanen Raum) ist jedoch zu achten!



Hochwertige LED-Optik

Lichtstromrückgang

- ☼ LED zeigen bei korrektem Betrieb eine extrem niedrige Ausfallsrate. Aber wie bei allen Leuchtmitteln verringert sich die Lichtausbeute im Laufe der Nutzungsdauer (Rückgang bis auf 70% nach 50.000 Betriebsstunden). Das bedeutet bei normkonformen Betrieb einer Beleuchtungsanlage entweder eine deutliche Überdimensionierung (mit entsprechend höheren Energiekosten) zu Beginn oder die Verwendung einer elektronisch geregelten Lichtstromkompensation, durch welche der ausgesandte Lichtstrom über die Betriebszeit annähernd konstant gehalten wird (jedoch bei steigendem Energiebedarf). Letzteres empfiehlt sich sowohl aus wirtschaftlichen wie auch aus umweltrelevanten Aspekten.





Wartung & Instandhaltung

- ☀ Auch Leuchten in LED-Technik sind nicht wartungsfrei. Ebenso wie bei konventionellen Leuchten ist aus Gründen der Verschmutzung eine Reinigung (insbesondere der Kühlflächen) erforderlich. Das Leuchteninnere sollte durch ein hochwertiges Dichtungssystem verschlossen sein.
- ☀ Der Leuchtmitteltausch ist seltener, zumeist ist das elektronische Vorschaltgerät früher zu ersetzen als die LED. Bei einer Gesamtnutzungsdauer der Leuchten von 30–40 Jahren kommt es voraussichtlich zu selteneren, aber dafür zu höheren Instandsetzungskosten gegenüber Leuchten mit konventionellen Leuchtmitteln.
- ☀ Im Gegensatz zu konventionellen Entladungslampen fehlt noch eine Normierung für das „Leuchtmittel LED“ (Größe, Stecker, Befestigung, Vorschaltgeräte etc.). Entsprechende Normvorhaben sind derzeit sowohl auf europäischer wie auch internationaler Ebene in Arbeit (Zhaga). Aktuell ist beim Einsatz LED-basierter Leuchten jedenfalls die Verfügbarkeit von Ersatzteilen für die geplante Nutzungsdauer sicherzustellen.

Retrofit-Lösungen

- ☀ LED Lampen mit Schraubsockel als Ersatz für herkömmliche Leuchtmittel in konventionellen Leuchten sind – ungeachtet der erforderlichen Überprüfung auf Zulassung zum Betrieb – hinsichtlich Lichtlenkung und Wärmeabfuhr zumeist problematisch.
- ☀ Die Vorteile der LED (wie gezielte Lichtlenkung, hohe Effizienz etc.) werden bei derartigen Lösungen nicht ausgenutzt, da die Lichtlenksysteme der alten Leuchten nicht auf den Einsatz der LED-Leuchtmittel abgestimmt sind.
- ☀ LED-Retrofit-Lösungen sind im Vergleich zu modernen Leuchten (mit herkömmlichen Leuchtmitteln oder mit LED) bei normkonformer Straßenbeleuchtung unwirtschaftlich.



LED-Retrofit-Lösungen

Wirtschaftlichkeit bei Einsatz von LED in der Straßenbeleuchtung

Wie oben dargestellt, erreichen LED-Leuchten im praktischen Betrieb heute eine Energieeffizienz von bis zu 100 Lumen/Watt. Im Gegensatz zu den veralteten, noch immer im Einsatz befindlichen Quecksilberdampf-Hochdrucklampen ist daher mit LED-Leuchten eine Effizienzsteigerung erreichbar. Im Bezug auf herkömmliche, aktuelle Leuchtmittel (Natriumdampf-Hochdrucklampen oder Metallhalogen-Dampflampen) ist jedoch festzustellen, dass deren Energieeffizienz ähnlich hoch ist. Daher ist nur bei entsprechend effektivem Betrieb der LED (Lichtlenkung, Dimmung etc.) eine nennenswerte Energieeinsparung gegenüber herkömmlichen, aktuellen Leuchtmitteln erzielbar.

Soll der Ersatz einer bestehenden Leuchte ausschließlich über die Energieeinsparung finanziert werden, kann unter Zugrundelegung heute marktüblicher Konditionen (beispielsweise 15 ct/kWh, 4 % jährliche Verzinsung), bezogen auf die Lebensdauer der LED von 50.000 Stunden (entspricht bei einer Brenndauer von 4.100 h/Jahr ca. 12 Jahren) von folgender Faustformel ausgegangen werden:

Pro Kilowattstunde (kWh) Einsparung können ca. 1,41 Euro investiert werden.

Das bedeutet, jede jährlich eingesparte Kilowattstunde bringt, hochgerechnet auf die typischen Lebensdauer der LED (12 Jahre), eine finanzielle Ersparnis von ca. 1,41 Euro (alle Beträge inkl. Ust.).

Beispiel

Bei einem Lichtpunkt mit einer alten, unwirtschaftlichen 80 W Quecksilberdampf-Hochdrucklampe (Systemleistung ca. 90 W) wird, unter Beibehaltung der bisherigen Beleuchtungsqualität, die komplette Leuchte durch eine LED-Leuchte mit einer Systemleistung von 24 W ersetzt. Die Energieeinsparung beträgt bei 4.100 Brennstunden 270,60 kWh pro Jahr. Dies entspricht einer jährlichen CO₂-Reduktion von ca. 0,087 t/Jahr/Leuchte.

Entsprechend der Faustformel ergibt sich daraus innerhalb von 12 Jahren, also am Ende der wirtschaftlich sinnvollen Lebensdauer der LED, eine finanzielle Einsparung von 380,- Euro. Dieser Betrag steht somit, unter der Voraussetzung eines 1:1 Leuchtentausches – bei ausschließlicher Finanzierung durch Energieeinsparung – für Investitionen (pro Leuchte) zur Verfügung. Ist die erzielbare Energieeinsparung geringer, reduziert sich auch der Anteil der über diese Energieeinsparung finanzierbar ist. Ist der Anlagenbestand nicht normkonform oder ist es notwendig, die Anlagengeometrie zu verändern, sind mit den sich daraus ergebenden Parametern neue Berechnungen der Wirtschaftlichkeit durchzuführen.

Wie das Beispiel zeigt, ist ausschließlich aufgrund der Energieeinsparung die Wirtschaftlichkeit einer LED-Lösung aus heutiger Sicht genau zu analysieren.



Erst durch wirkungsvolle Ausnutzung der Eigenschaften der LED wie effiziente Lichtlenkung, Einsatz von modernen Steuerungstechnologien und damit verbunden die Möglichkeit des stufenlosen Anpassens der Helligkeit etc. sind gegenüber herkömmlichen Leuchtmitteln und Leuchten wirtschaftliche Vorteile möglich.

Auch in Bereichen, in denen Wartungsarbeiten aufgrund der Zugänglichkeit bzw. des großen Verkehrsaufkommens hohe Kosten verursachen, ist der Einsatz von LED-Lösungen durch die zu erwartende Langlebigkeit wirtschaftlich sinnvoll.



Entscheidend für den rentablen Einsatz von LED-Lösungen sind unter anderem auch die tatsächlich erzielbare Lebensdauer, die tatsächlich notwendigen Reinigungs- und Wartungskosten sowie die Kosten für die Wiederbeschaffung einzelner Komponenten (Austausch von elektronischen Vorschaltgeräten oder defekter LED), die derzeit nur vorausschauend geplant werden können.

AUSDRÜCKLICH soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass alleine aus Kosten- oder Energieeinspargründen ein Abweichen von den Normenvorgaben für die Straßenbeleuchtung nicht zulässig ist. Durch die Verwendung von LED und entsprechenden Leuchten kann jedoch die normgerechte Umsetzung einer Straßenbeleuchtung effizient, wirtschaftlich, modern und zeitgemäß erfolgen.



Resümee



Leuchten mit LED stellen auch in der Straßenbeleuchtung die Technologie der Zukunft dar. Die rasante technologische Entwicklung und die Dynamik des Marktes lassen aus heutiger Sicht kaum seriöse Prognosen zu. Das Potenzial zur Effizienzsteigerung in der Lichterzeugung scheint jedenfalls vorhanden.

Die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von LED-Leuchten ist im Einzelfall einer kritischen Prüfung zu unterziehen. Letztlich bestimmt nicht die Energieeffizienz (Lumen/Watt) einer Leuchte, sondern die Gesamtleistung der Anlage (kW/km zu beleuchtender Straße) die Wirtschaftlichkeit einer Straßenbeleuchtungsanlage. Somit ist auch die Lichtverteilung und die für eine normgemäße Beleuchtung notwendige Anzahl der Lichtpunkte pro Kilometer von wesentlicher Bedeutung für die Errichtungs-, Energie- und Instandhaltungskosten.

Einfache Dimmbarkeit und Unempfindlichkeit gegen hohe Schalzhäufigkeiten eröffnen große Möglichkeiten energiesparender und wirtschaftlicher Beleuchtungslösungen wie beispielsweise Anpassung an das örtliche Verkehrsgeschehen oder Einbindung verkehrsrelevanter Notwendigkeiten.





LTG

Ziel der Lichttechnischen Gesellschaft Österreichs (LTG) ist die Pflege und Förderung der gesamten Lichttechnik in Theorie und Praxis, insbesondere der Forschung, des Unterrichts, der Berufsausbildung und der Normung auf diesem Gebiet sowie der zwischenstaatliche Zusammenarbeit auf lichttechnischem Gebiet – vor allem mit den Lichttechnischen Gesellschaften von Deutschland (LiTG), den Niederlanden (NSvV) und der Schweiz (SLG).

Die LTG ist Mitglied der CIE (Commission Internationale de l'Eclairage/Internationale Beleuchtungskommission), die als weltweit organisierte Interessensvertretung der Lichttechnik einschlägige internationale Richtlinien und Empfehlungen erarbeitet.

Mitglieder der LTG sind in Österreich ansässige und auf dem lichttechnischen Sektor tätige Industrie- und Handelsunternehmen, Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVUs), Behörden, Gemeinden, Zivilingenieure, Lichtplaner, Elektroplaner und alle Lichtkonsumenten. Jeder Interessierte kann Mitglied werden und an den Veranstaltungen teilnehmen.

www.ltg.at

E-Mail: akoeb@ltg.at
www.ltg-aussenbeleuchtung.at



Arbeitskreis
Öffentliche
Beleuchtung