

## **LEDs und weißes Licht: Gedanken für Entscheidungsträger**

Philips GmbH, UB Lighting, Professional Lighting Solutions, Jörg Kupferschlaeger

### ***Vom künstlichen weißen zum gelben Licht und jetzt wieder zurück zum weißem Licht in der Außenbeleuchtung?***

In den Jahren vor 1960 beherrschte vor allem die Beleuchtung mit Leuchtstofflampen und Quecksilberdampf-Hochdruckentladungslampen unsere Straßen.

Leuchtstofflampen besitzen eine recht hohe Lichtausbeute von ca. 70 lm/W. Zudem liefern sie angenehm weißes Licht. Es gibt langlebige Leuchtmittel zu einem einigermaßen günstigen Preis. Aufgrund ihrer Bauform und Größe ist trotz der hohen Lampenlichtausbeute eine effiziente Lichtnutzung jedoch kaum möglich. „Um die Leuchten herum ist es hell, die Straßen bleiben dunkel.“ So verwundert es auch nicht, dass eigentlich kein Leuchtenhersteller mehr eine moderne Leuchte für diese Leuchtmittel hat.

Quecksilberdampf-Hochdruckentladungslampen (HPL, HQL) sind für professionelle Leuchtmittel ineffizient. Ihre Lichtausbeute liegt unter den Mindesteffizienzen die von der Europäischen Union ab 2015 gefordert werden. Daher werden sie 2015 das CE Zeichen verlieren und dürfen ab diesem Zeitpunkt in die EU nicht mehr in den Verkehr gebracht werden.

Auf Basis der zuvor beschriebenen Nachteile haben seit den 60ziger Jahren viele Kommunen und Gemeinden begonnen ihre Beleuchtung auf Natriumdampf-Hochdruckentladungslampen (z.B. Philips MASTER SON/-T PIA Plus) umzustellen. Zu dieser Zeit der richtige Schritt, denn Natriumdampf-Hochdruckentladungslampen haben eine hohe Lichtausbeute von bis zu 100 lm/W, eine lange Lebensdauer, einen geringen Lichtstromrückgang und ihr Licht lässt sich besonders bei den Lampen in Röhrenform (T-Lampen) gut lenken. Ihr typisches gelb-oranges Licht erschwert allerdings die Unterscheidung von Farben.

An die unnatürliche Farbtönung unserer Städte bei Nacht haben viele Bürger in Ermangelung einer Alternative mittlerweile gewöhnt. Es gibt allerdings auch einige Kommunen, die sich vor diesem Hintergrund bewusst gegen eine Umstellung von weißem auf gelbes Licht entschieden haben.

Das menschliche Auge hat sich in Tausenden von Jahren der Evolution an das weiße Licht der Sonne angepasst. So verwundert es nicht, dass künstliches weißes Licht gegenüber gelbem Licht einige klare Vorteile bietet.

Zunächst einmal schafft es ein helleres und natürlicheres Ambiente. In verschiedenen Tests wurde nachgewiesen, dass die große Mehrheit der Menschen es als angenehmer empfindet und daher bevorzugt. Durch die größere Helligkeit steigt auch allgemein das Gefühl der Sicherheit. Da Gesichter und andere Details einfacher erkennbar sind, ist weißes Licht auch für die Verbrechensprävention von Vorteil.

Die subjektiv höhere Helligkeit lässt sich mit unserem Sehvermögen bei geringer Beleuchtungsintensität erklären. Die Netzhaut unserer Augen enthält Stäbchen und Zapfen. Die Zapfen dienen der Farberkennung, die Stäbchen sind auf das Sehen bei schwacher Beleuchtung spezialisiert und unterstützen auch das periphere Sehen. Die Zapfen sind für das so genannte photopische Sehen verantwortlich, das im Allgemeinen mit einer hohen Beleuchtungsintensität (Tageslicht) verbunden ist. Die Stäbchen hingegen sind

für das skotopische Sehen zuständig, das mit schwacher Beleuchtung (nachts) einhergeht. Der Zwischenbereich, wenn man so will, die Übergangsphase zwischen dem von Stäbchen und Zapfen abgedeckten Lichtbereich, wird als mesopisches Sehen (Dämmerungssehen) bezeichnet. In der Dämmerung ist die Beleuchtungsintensität deutlich niedriger als tagsüber, aber doch höher als in völliger Dunkelheit. Diese Bedingungen treffen genau auf nächtliche innerstädtische Straßen zu. Die Zapfen weisen ein Absorptionsmaximum von etwa 555 nm auf, liegen also eher im gelben Farbspektrum. Bei den Stäbchen liegt das Absorptionsmaximum bei etwa 507nm, also eher im blauen Farbspektrum. Eine Lichtquelle im blauen Spektralbereich wird also eher von den Stäbchen wahrgenommen, die bei schwacher Beleuchtung (Dämmerung) aktiver sind. Genau das ist mit subjektiv höherer Helligkeit gemeint. Die Lichtquelle gibt nicht unbedingt insgesamt mehr Licht ab, sondern sie gibt eine größere Lichtmenge mit einer Wellenlänge ab, die vom Auge wahrgenommen werden kann. Dies ist die Wirkung von Weißlicht.

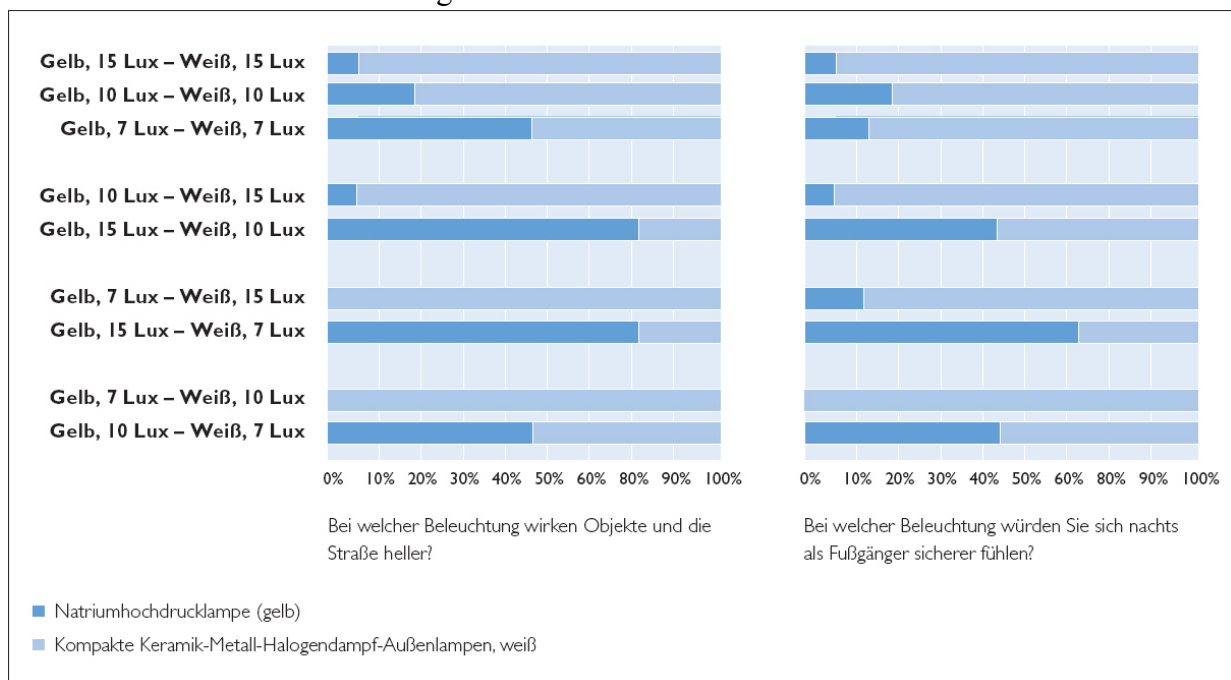


Abbildung 1: Subjektive Helligkeit und Sicherheit im Vergleich (Lighting Research Center in Troy, New York, 2006/2007. Weitere Informationen in der Dokumentation: Weißes Licht -taucht die Stadt nachts in ein neues Licht, Philips)

Das Licht modernen Metallhalogenlampen-Hochdruckentladungslampen (z.B. Philips MASTER CityWhite CDO-ET/TT und Philips CosmoPolis CPO-TW, HIT) und auch von LEDs kann dem natürlichen Licht der Sonne deutlich näher kommen. Dabei steht es wohl nicht zur Diskussion, ob die Zukunft der Straßenbeleuchtung der LED gehört. Schlussfolgerung: Weißes künstliches Licht wird sich erneut durchsetzen!

## Die rasante Entwicklung der LEDs und Ihrer Anwendungen

Schon 1962 waren erste rote GaAsP (Galliumarsenidphosphid) Lumineszenzdioden (Nick Holonyak, GE) kommerziell erhältlich. Leistung und abgegebener Lichtstrom waren jedoch äußerst gering. Ihr Preis lag zu dieser Zeit bei 260 US Dollar. Die auch als „low-power“ LEDs bezeichneten Lumineszenzdioden fanden in den kommenden Jahren milliardenfach Anwendung als Kontroll-, Signal- und Anzeigen LEDs in elektrischen Geräten, Armaturenbrettern von Kraftfahrzeugen usw. Zur „Beleuchtung“ waren sie noch nicht geeignet. 1992 wurde erstmals blaues Licht mit SiC (Siliziumkarbid) LEDs erzeugt.

Mit zunehmender Leistungsfähigkeit und der Einführung digitaler Steuerungen für farbige LEDs eröffnete sich in den folgenden Jahren eine ganz neue Dimension für die architektonische Beleuchtung. Anstrahlungen konnten nun mit gesättigten Farben realisiert werden. Hohe lichttechnische Verluste (bis zu 90%), wie sie von farbigen Scheiben in Kombination mit Hochdruckentladungslampen verursacht werden, sind heute nicht mehr nötig. Leuchten mit LEDs in RGB (Rot-Grün-Blau) bzw. AWB (Amber-Weiß-Blau) erlauben in Kombination mit einer Steuerung eine nahezu beliebige Varianz der Farben und sogar Farbtemperaturen von warmweiß bis kaltweiß. Hilfreich für die Weiterentwicklung der LEDs ist aber auch ihr Einsatz in Fernsehern (LCD) und in der Fahrzeugindustrie. Bei letzterer kommen immer mehr LEDs in Blinkern, Rück- und Bremsleuchten sowie Tagfahrlichtern zum Einsatz. Die Anforderungen an das Produkt sind durchaus ähnlich derer in der Außenbeleuchtung.

Mitte Dezember 2006 erreichte eine LED von Nichia in Labortests 150 lm/W. Kommerziell im Endprodukt nutzbar, erzielen Leuchten mit LEDs heute eine Systemlichtausbeute (inkl. Verluste der Betriebsgeräte) von rund 80-90 lm/W. Der Einsatz von LEDs für Markierungs- und Effektbeleuchtungen aber auch bei Anstrahlungen ist bereits Standard. Für große Lichtleistungen werden aber zurzeit noch sehr viele LEDs benötigt. Ihr Preis liegt zwar auch für „high-power“ LEDs bei weitem nicht mehr bei dem zuvor genannten Preis, dennoch liegen die Leuchtenpreise bei ca. 2-5 fachen dessen von Leuchten mit Hochdruckentladungslampen. Dies wird sich zweifelsohne in den kommenden Jahren schnell ändern. Die LEDs werden sich also extrem schnell im Beleuchtungsmarkt etablieren. Vielleicht ähnlich schnell wie die Verbreitung des LCD-Fernsehers.

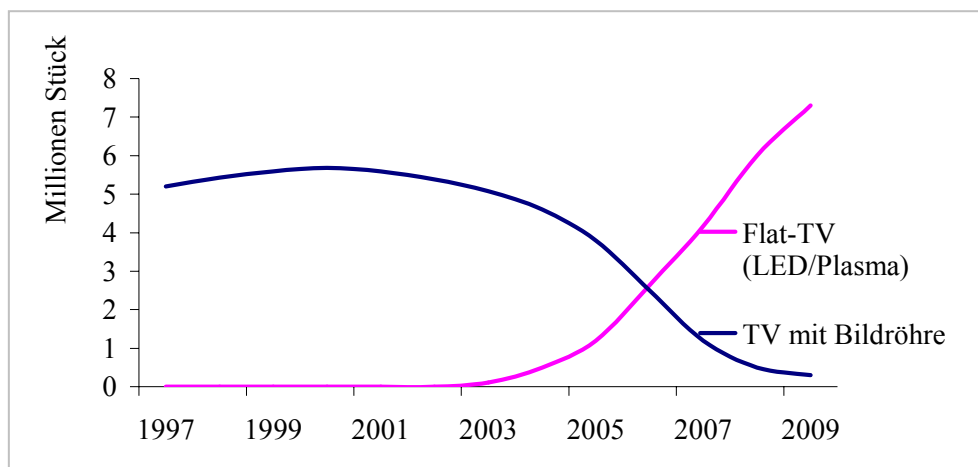


Abbildung 2: In nur wenigen Jahren haben LCD/Plasma TV die klassischen Bildröhrenfernseher bei den Verkaufszahlen abgelöst.

## **Worin liegen die Vorteile der LED Technologie?**

Neben der Effizienz, die sich bereits heute nahe der von modernen Hochdruckentladungslampen (Natriumdampf-/Metallhalogendampf-) einordnet, sind es auch Faktoren wie

- die kleine Baugröße, die große Spielräume im Design von Leuchten eröffnet,
- die lange Lebensdauer, welche die Wartungskosten senkt,
- eine effektive Erzeugung von gesättigten Farben für brillante Anstrahlungen und Markierungseffekte,
- die einfache Möglichkeit der Steuerung und Dimmung,
- die Unanfälligkeit gegenüber Vibrationen und und und.

Als wesentlicher Vorteil für die Straßenbeleuchtung ist aber, insbesondere vor dem Hintergrund der CO<sub>2</sub> Einsparziele vieler Kommunen und Gemeinden bzw. unserer Bundesregierung, das erhebliche Energieeinsparpotential von LEDs in den Vordergrund zu rücken. Dies gilt insbesondere auch auf Basis der gezielteren Lichtlenkung. Besonders gut zeigt dies das folgende Beispiel: Eine Altanlage mit ca. 35m Lichtpunktabstand bestückt mit je zwei Quecksilberdampf Lampen 80W (Energieverbrauch ca. 178 W/h) und einem Lichtstrom von in Summe 8.000 lm in einer alten Leuchte mit opaler Abdeckung wurde durch LED Leuchten mit 25W Leistungsaufnahme und einem Lichtstrom von 1.400 lm saniert. Obwohl die Lichtmenge auf weniger als ein Fünftel zurückgegangen ist, konnte die mittlere Beleuchtungsstärke (E<sub>m</sub>) nahezu gleich gehalten werden. Die minimale Beleuchtungsstärke ist aber zehnmal höher als vorher. Dies kann nur durch eine effektive Lichtlenkung abgestimmt auf die Anwendung erreicht werden. Fazit: Bei einer Einsparung von rund 85% wurde die Beleuchtungsqualität sogar verbessert. Anmerkung: Beide Beleuchtungslösungen erfüllen die Forderungen der DIN 13201 nicht. Erreicht werden könnte ohnehin nur die unterste Beleuchtungsstärkeklasse S6 mit einer mittleren Beleuchtungsstärke von 2 Lux und einer minimalen Beleuchtungsstärke von mindestens 0,6 Lux. Allerdings nähert man sich den oben genannten Forderungen durch die Installation der LED-Leuchten an.

### LED-Beleuchtung Metzgeshauser Weg

> Sanierungsbedarf der 25 Aufsatzleuchten Typ 3533 der Firma Vulkan aus 1984. Bestückung je 2 x 80 W HME, 178 W, **8.000 lm**

> Sanierung nach Abstimmung mit der Stadt Wülfrath mit Philips CitySpirit, 22 Hochleistungs-LEDs mit Konstantlichtregelung, 25 W, **1.400 lm**

### Vergleichsmessung

Messwerte Bestand

Messwerte	lx				L16
11,95	0,23	0,06	0,1	9,7	
3,28	0,2	0,05	0,16	2,68	
0,63	0,15	0,04	0,14	0,05	

Messwerte nach Sanierung

Messwerte	lx				L12
3,16	2,09	0,421	3,2	6,45	
2,21	1,45	0,728	2,43	4,02	
0,41	0,58	0,48	0,82	0,6	



	Bestand	Neu
<b>E<sub>mittel</sub> in Lux</b>	1,96	1,94
<b>E<sub>min</sub> in Lux</b>	0,04	0,41
<b>E<sub>max</sub> in Lux</b>	11,95	6,45

Minderverbrauch 15.620 kWh/a → 625 kWh je Leuchte und Jahr

**Energieeinsparung > 85%**

Abbildung 3: Weniger als ein Fünftel Licht, gleiche mittlere Beleuchtungsstärke, viel bessere Gleichmäßigkeit, 85% Einsparung. Das ist effiziente Lichtlenkung!!!!

## Neue Möglichkeiten eröffnen sich. Eine wirklich grüne Lösung: > 40% Energieeinsparung ggü. SON

Wie zuvor beschrieben spielt die Lichtlenkung eine besonders große Rolle für die Effizienz einer Beleuchtungsanlage. Desto kleiner die Lichtquelle desto besser lässt sich das Licht lenken. So können schon heute LED Leuchten mit einer niedrigeren Systemleistung als die moderner Leuchten mit Natriumdampf-Hochdruckentladungslampen die gleichen lichttechnischen Ergebnisse erzielen, obwohl die Lampenlichtausbeute vielleicht noch etwas niedriger ist. Bedenkt man allerdings, dass sich die Lichtausbeute der LEDs in den kommenden 10 Jahren vermutlich noch verdoppeln wird, macht schon heute ein Einsatz von

LED Leuchten energetisch Sinn. Denn erwirbt man heute eine Leuchte für Natriumdampf-Hochdruckentladungslampen entscheidet man sich gemäß der Anlage und einer lichttechnischen Berechnung für eine bestimmte Wattage. Bei jedem Lampenwechsel wird wieder genau diese Wattage als Ersatzlampe eingesetzt.

Bei LEDs muss das nicht so sein. Verfügt die Leuchte über einen modularen Aufbau und gewährleistet der Hersteller, dass sich die Schnittstellen (elektrischer Anschlussstecker und die Montagepunkte) nicht ändern und gleichzeitig die Lichttechnik erhalten bleibt, kann davon ausgegangen werden, dass sich bei einem LED Modulwechsel z.B. in acht Jahren 40-50% Energie zusätzlich einsparen lassen.

Eine andere Möglichkeit dieses Ziel zu erreichen, kann eine Leuchte sein, die zunächst mit Hochdruckentladungslampen ausgestattet ist, sich aber nach 4 oder 8 Jahren leicht auf LED aktualisieren lässt (z.B. Philips CitySpirit, Mini Iridium, Mini Koffer<sup>2</sup>, Koffer<sup>2</sup> 70, CitySoul, etc.). Das geht aber nur gut, wenn das Leuchtenkonzept bereits bei der Lieferung mit Hochdruckentladungslampen für einen späteren Betrieb mit LEDs abgestimmt ist.



Abbildung 4: Zukunftssicher. Stellen Sie sich vor, dass Ihre Leuchten immer auf dem neusten Stand der Technik gehalten werden können!!!!

Noch mehr Energie lässt sich dabei durch eine geeignete Planung sparen. Entscheiden sich Anlagenbetreiber und Planer schon heute für einen Modulwechsel zum Beispiel nach 6 Jahren (4000 Brennstunden pro Jahr), um dann auf ein effizienteres Modul zu Wechseln (z.B. -35% Energieverbrauch bei gleichem Lichtstrom und gleicher Lichtverteilung), kann bei der Anlagenplanung mit einem höheren Wartungsfaktor gerechnet werden, denn bis zu diesem Zeitpunkt ist der Lichtstrom der LEDs natürlich noch nicht soweit zurückgegangen wie nach 12 Jahren. Dies kann leicht zu einer initialen Einsparung von 10W pro Leuchte führen.

Eine andere Möglichkeit diese Energie zu sparen, lässt sich durch die Philips CLOu Funktion erreichen. Die DIN schreibt vor, dass die Wartungswerte der Beleuchtungsanlage nicht unterschritten werden dürfen (Mindestwerte). Daher wird mit dem Wartungsfaktor die Beleuchtungsanlage bei der Planung quasi überdimensioniert. Mit CLOu (Constant Light Output = konstante Lichtabstrahlung) lässt sich diese Überbeleuchtung kompensieren. D.h. die aufgrund des Wartungsfaktors in die Beleuchtungsanlage eingeplante, am Anfang zu hohe, Lichtleistung wird durch vollautomatisches dimmen eingespart. Sukzessive wird dann die Leistung erhöht, so dass der Mindestwert der Beleuchtungsstärke zu keinem Zeitpunkt unterschritten wird.

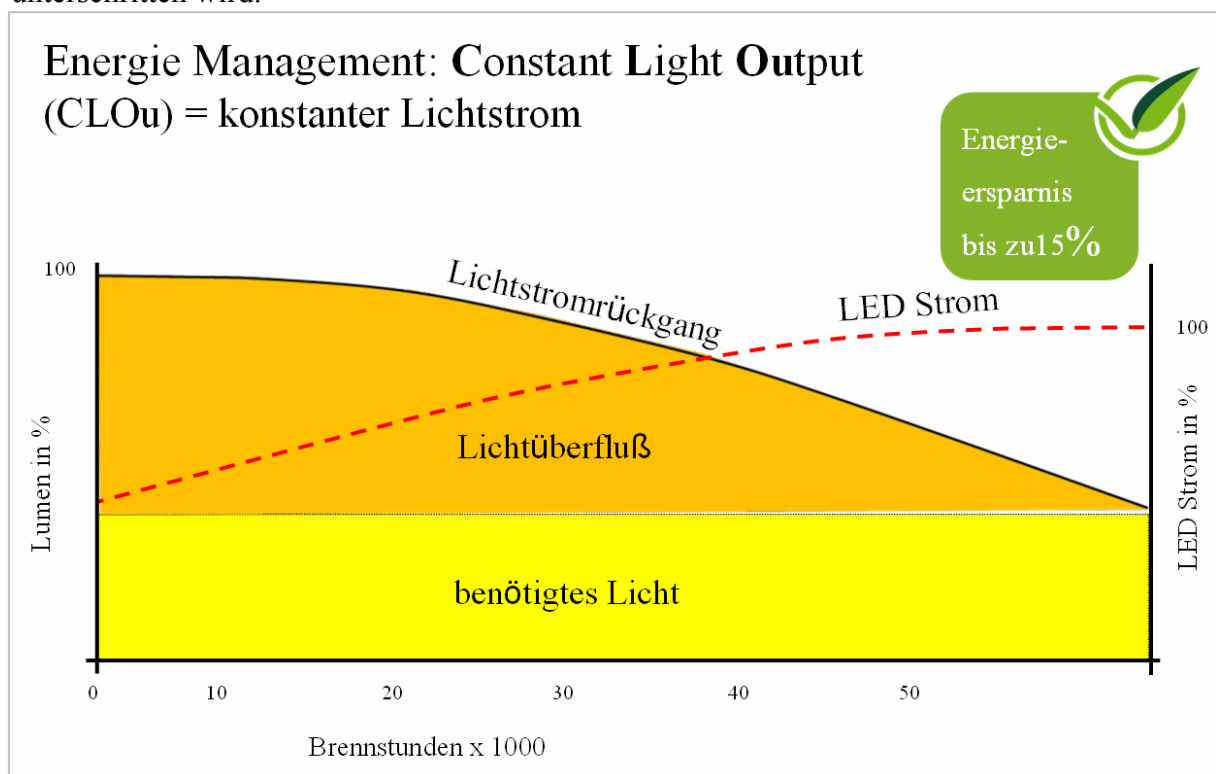


Abbildung 5: Die EN13201 fordert, dass die Mindestwerte der Beleuchtung zu keinem Zeitpunkt unterschritten werden. Normale Beleuchtungsanlagen werden daher überdimensioniert. CLOu vermeidet dies und spart so Energie

Weitere Einsparmöglichkeiten ergeben sich durch den Einsatz von Lichtmanagementsystemen wie LumiStep, DynaDimmer, u.a. Diese zwei Beispiele seien im folgenden näher erläutert:

LumiStep ist eine funktional erweiterte Variante des elektronischen LED Treibers von Philips. Ein in den Treiber integrierter Timer senkt automatisch den Lichtstrom der LED über einen vorgegebenen Zeitraum um 25%, 33%, 50% oder 70% ab. Der Dimmzeitraum kann 6, 8 oder 10 Stunden betragen. Die Berechnung des Start- bzw. Endzeitpunktes des leistungsreduzierten Betriebs erfolgt automatisch über den täglich registrierten Ein- bzw. Ausschaltzeitpunkt der Leuchte. Leuchten mit integriertem LumiStep Treiber benötigen für den Betrieb lediglich eine geschaltete Netzversorgung. Mit LumiStep lassen sich weitere 20-50% Energie bzw. CO<sub>2</sub> einsparen.

DynaDimmer ist ein autark funktionierender elektronischer Controller zur Dimmung von Außenleuchten mit einem regelbaren elektronischen Vorschaltgeräte mit 1-10V Schnittstelle. Die Programmierung erfolgt mittels einer einfachen PC basierten Software über ein robustes DynaDimmer Programmiergerät oder direkt vom PC. Fünf Zeitfenster und fünf Dimmlevel können unabhängig voneinander programmiert werden. Die Leuchten können mit einer Standard- bzw. mit einer kundenindividuellen Programmierung ausgeliefert werden. Die



Programmierung lässt sich jederzeit mittels PC und Programmiergerät ändern. Ein Eingriff in die bestehende Netzinfrastruktur ist nicht notwendig. Auch mit DynaDimmer lassen sich ca. 30-60% Energie bzw. CO<sub>2</sub> zusätzlich einsparen.



Abbildung 6: Innovative LED Leuchten mit einem modularen Konzept von Philips.