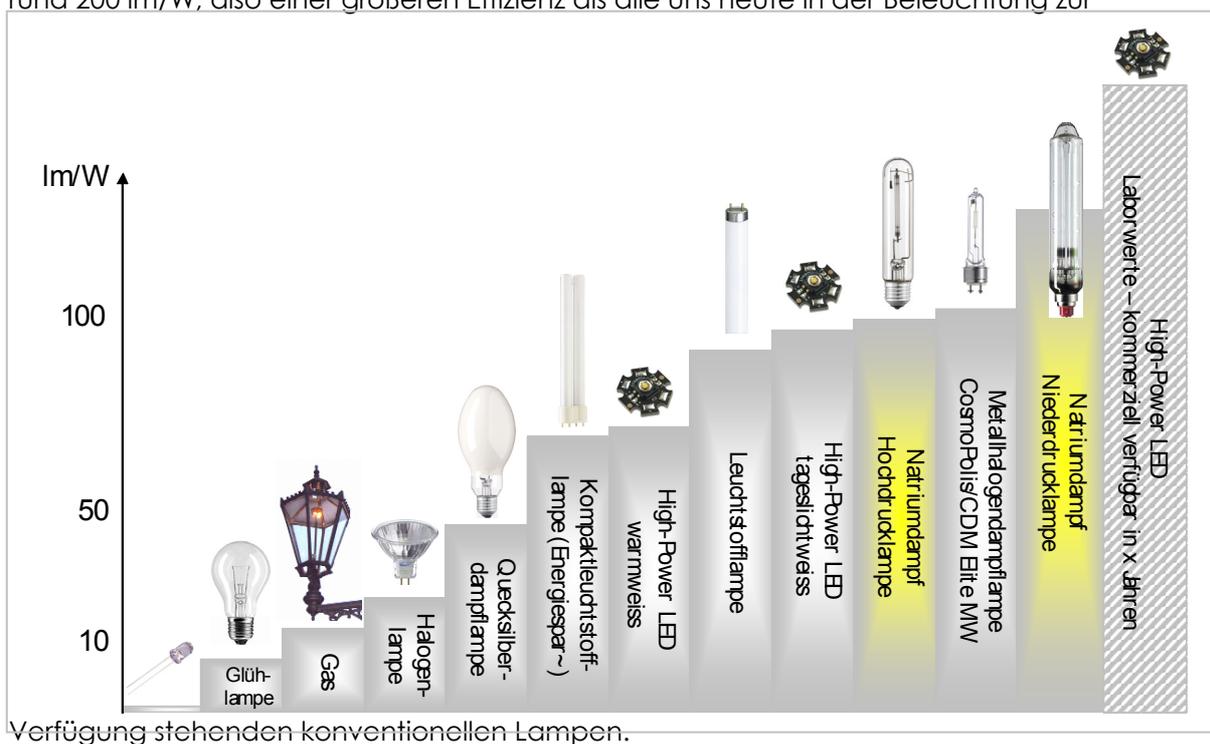


Energieeffizienz in der Außenbeleuchtung - der neue Weg: das austauschbare „LED-Modul“

Als vor rund 6 Jahren die ersten LED Straßenleuchten angeboten wurden, hat wohl kaum jemand geglaubt, dass es die Technologie binnen weniger Jahre zu einer wirtschaftlichen Alternative in der Straßenbeleuchtung bringen könnte. Doch steigende Energiepreise, gepaart mit der Möglichkeit Effizienzsteigerungen verhältnismäßig leicht durch einen LED-Modulwechsel auch während des Leuchtenlebenszyklus umzusetzen, machen es möglich. Während man sich bei der Beleuchtung mit Hochdruckentladungslampen beim Kauf der Leuchte auf eine bestimmte Leistung z.B. Natriumdampf 100W für die Leuchtenlebensdauer von ca. 30 Jahren festlegt, muss dies bei LED nicht der Fall sein. Bei einem Modulwechsel in einigen Jahren ist damit zu rechnen, dass sich die Effizienz verdoppelt hat und somit 50% der elektrischen Leistung bei gleicher Lichtleistung eingespart werden können.

Die Entwicklung der High-Power LED.

Die erste kommerziell verfügbare Low Power LED hat 1962 bei einer Effizienz von knapp über 0,1 lm/W rund 260 US Dollar gekostet¹. Heute sind Low Power LEDs Cent-Artikel die Millionenfach als Kontrollanzeigen in allen möglichen elektrischen Geräten zum Einsatz kommen. Erst vor rund 10 Jahren ist es Wissenschaftlern gelungen, größere Mengen Licht mit LEDs zu erzeugen, so dass diese für die Beleuchtung zum Einsatz kommen können. Die sogenannten High-Power LEDs bringen es heute im Labor bereits auf Lichtausbeuten² von rund 200 lm/W, also einer größeren Effizienz als alle uns heute in der Beleuchtung zur



Kommerziell stehen uns heute für die industrielle Produktion je nach Farbtemperatur und Ausführung LEDs mit einer Lichtausbeute von 70 bis max. 100 lm/W zur Verfügung. Noch vor zwei Jahren war es gerade die Hälfte. Ein Beweis für die rasante Entwicklung und Aussicht für die kommenden Jahre.

¹ www.alterled.com

² Lichtmenge, die aus einem Watt elektrischer Leistung gewonnen wird (Einheit ist Lumen pro Watt [lm/W])

Die Anlageneffizienz zählt!

Neben der reinen Lampeneffizienz spielen zur Effizienzbewertung in einer Beleuchtungsanlage maßgeblich auch die Verluste der Vorschaltgeräte bzw. Treiber und vor allem die Lichtlenkung eine entscheidende Rolle. Die Bedeutung der Lichtlenkung sei an einem einfachen Beispiel erklärt: Die Aufgabe ein Schlüsselloch zu beleuchten, gelingt vermutlich mit einer ineffizienten Glühlampe in einer Taschenlampe besser als aufgrund einer am Straßenrand stehenden Kugelleuchte ohne Licht lenkende Elemente bestückt mit einer hocheffizienten Natriumdampf-Hochdruckentladungslampe. Einfach auch zu begreifen, dass rund 50% des Lichts und damit der zugefügten elektrischen Energie einer Kugelleuchte „in den Himmel“ verloren gehen. Gleichermäßen kann auch eine Straße nur schlecht von einer solchen Leuchte illuminiert werden.

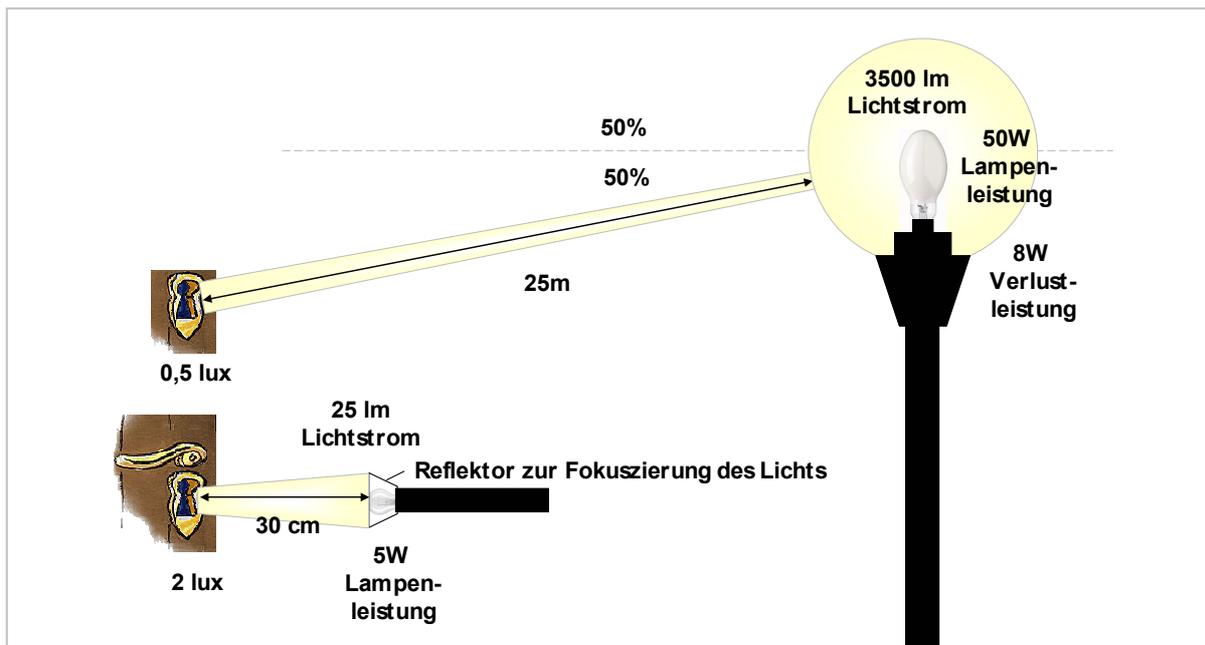


Abb.: Für die Effizienz einer Beleuchtungsanlage ist es entscheidend, wie viel der elektrischen Energie umgewandelt in Licht, die zu beleuchtende Fläche erreicht. Die Lichtlenkung ist dabei von besonders großer Bedeutung.

Was zeichnet gute LED Straßenleuchten aus?

Schon der Bau einer guten Straßenleuchte für Hochdruckentladungslampen stellt die Leuchtenhersteller vor große Herausforderungen. Die Leuchten sollen für unterschiedliche Lampen, Wattagen, Anwendungen und Anlagengeometrien optimiert werden. Die Konstruktion von LED Leuchten stellt die Konstrukteure vor eine Reihe zusätzlicher Herausforderungen. Dies beginnt bei der Auswahl der richtigen LED, geht über das Temperaturmanagement bis hin zur Auswahl des Gesamtkonzeptes. Neue Erfahrungen sind zu sammeln in einer Technologie, die sich rasend schnell weiter entwickelt. Aber auch die Anwender stehen vor seit langem nicht dagewesenen Fragestellungen. Ist die Technik schon reif? Worauf muss man achten? Wem kann man vertrauen? Die LED Technik hat viele neue Player im Markt hervorgebracht. Importeure, Garagenfirmen und große Unternehmen, die neue Geschäftsfelder erobern wollen. Auch vor dem Hintergrund der rapiden Veränderungen, die mit der LED Technik Einzug gehalten haben und sich in den nächsten Jahren noch deutlich verstärken werden, fordern die Anlagenbetreiber vor allem Sicherheit. In Zeiten knapper Kassen kann man es sich nicht erlauben in eine teure LED Technik zu investieren, die nichts taugt. Wert legen sollten Anlagenbetreiber bei der Auswahl unter anderem auf folgende zehn Punkte:

1. Farbwiedergabeindex und Farbtemperatur
2. Stromverbrauch des Systems
3. Nutzlebensdauer des Systems
4. Rückgang des Lichtstroms während der vorgegeben Lebensdauer des Systems (konstante Lichtabstrahlung)
5. Blendung und einheitliche Farbwiedergabe nebeneinander stehender Leuchten

6. Empfohlene Masthöhe und dazugehöriger Mastabstand bei S oder ME Klasse und einer Straßenbreite von X
7. Zusätzliche Funktionen wie Dimmen und Regelsysteme
8. Gebrauchsfähigkeit und Modernisierbarkeit
9. Lebenszeitgarantie, Zuverlässigkeit der Partner
10. CO₂-Ausstoß über die gesamte Lebensdauer

Farbwiedergabeindex, Farbtemperatur und einheitliche Farbwiedergabe nebeneinander stehender Leuchten

Die Sonne hat die Wahrnehmung unserer Augen geprägt. Künstliche Lichtquellen, die dem Sonnenlicht besonders nah kommen, empfinden wir als besonders angenehm. Beim Tageslicht handelt es sich um weißes Licht mit einer sehr guten Farbwiedergabe und einem Farbtemperaturzyklus. Je **kontinuierlicher** das **Lampenspektrum** ist, desto besser die Farbwiedergabe. Studien haben gezeigt, dass für die Straßenbeleuchtung **Farbtemperaturen zwischen 2.500 und 3.500 Kelvin** optimal sind. Besonders im direkten Vergleich nimmt das menschliche Auge Abweichungen innerhalb eines Straßenzuges als störend wahr. Konzentrieren wir uns bewusst auf den ständigen Wechsel zwischen gelbem, warmweißem und kaltweißem Licht wie er in unseren Städten häufig vorkommt, empfinden wir ziemlich deutlich den Unterschied zu einer Beleuchtungsanlage mit einer einheitlichen, warmweißen Lichtquelle und guter Gleichmäßigkeit.

Stromverbrauch, Nutzlebensdauer des Systems und Rückgang des Lichtstroms während der vorgegeben Lebensdauer des Systems

Marktüblich geht man bei der Lebensdauer von Straßenleuchten von 30 Jahren aus. Die elektrischen Komponenten des Systems leben jedoch deutlich kürzer. Lampen und Betriebsgeräte sind in bestimmten Zyklen zu wechseln. Bei den konventionellen Lampen gibt es je nach Type erhebliche Unterschiede. Zu bedenken ist bei solchen Vergleichen, dass die

	0	20	40	60	80 TStd
konventionelles Vorschaltgerät					
Semiparalleles Zündgerät					
Kondensator					
Quecksilberdampf-Hochdruckentladungslampe		10% Ausfall , 30% Lichtstromrückgang			
Natriumdampf-Hochdruckentladungslampe			5-10% Ausfall , 10% Lichtstromrückgang		
Metallhalogendampf-Hochdruckentladungslampe CosmoPolis		10% Ausfall , 20% Lichtstromrückgang			
HID Xtreme CPO					5% Ausfall
LED Treiber					5% Ausfall
LED Modul					3-5% Ausfall, 5-30% Lichtstromrückgang

Systeme meist aus mehreren Komponenten bestehen.

Bei der Berechnung des Stromverbrauchs oder der Leistungsaufnahme addieren sich die Leistungen aller Komponenten im System. Insbesondere konventionelle Vorschaltgeräte haben hohe Verlustleistungen. Zu bedenken sind hier auch Veränderungen aufgrund von Alterungsprozessen bzw. Veränderungen z.B. hervorgerufen durch ein Temperaturmanagement oder eine Leistungsreduktion während des Betriebs.

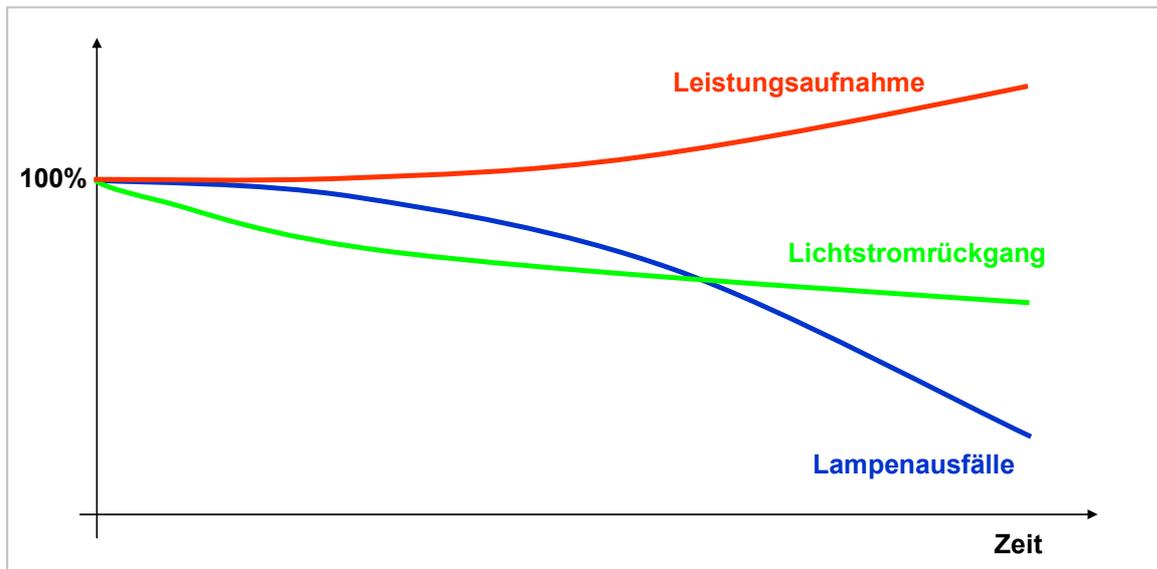


Abb.: Abhängigkeit zwischen Lichtstromrückgang, Lampenausfällen und der Leistungsaufnahme einer Lampenpopulation

Modernisierbarkeit

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. Das geht aber nur gut, wenn das



Leuchtenkonzept bereits bei der Lieferung mit Hochdruckentladungslampen für einen späteren Betrieb mit LEDs abgestimmt ist.

Abb.: Sobald die LEDs ausreichend effizient sind, sollten sich Ihre Leuchten von HID auf LEDs umstellen lassen. Außerdem sollte eine Aktualisierung auf effizientere LED Module möglich sein.

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, ohne irgendeinen Nachteil.

Zusätzliche Funktionen wie Dimmen und Regelsysteme

Eine andere Möglichkeit Energie zu sparen, lässt sich dadurch erreichen, dass der Lichtstrom konstant gehalten wird. 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.

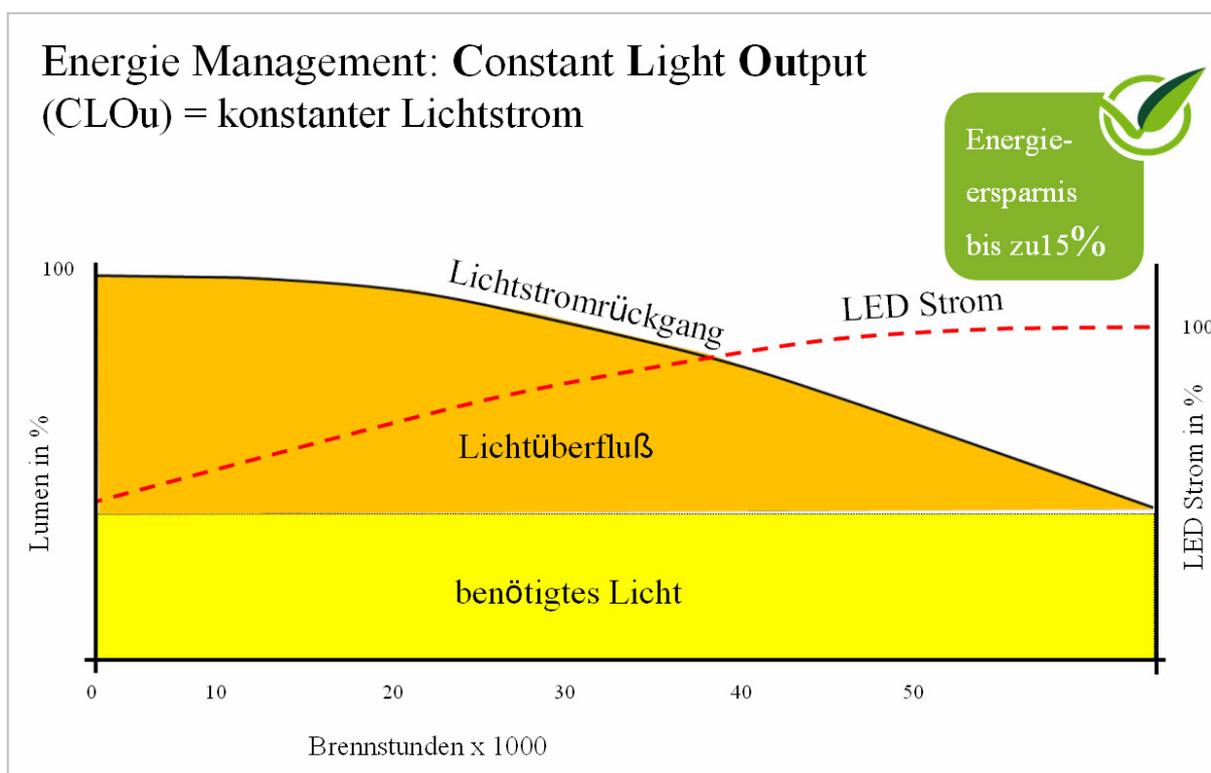


Abb: Die EN13201 fordert, dass die Mindestwerte der Beleuchtung zu keinen Zeitpunkt unterschritten werden. Normale Beleuchtungsanlagen werden daher überdimensioniert. CLOu vermeidet dies und spart so Energie

Weitere Einsparmöglichkeiten ergeben sich durch den Einsatz von Lichtmanagementsystemen wie LumiStep, DynaDimmer, u.a. Diese zwei Beispiele werden 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. CO₂ 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. CO₂ zusätzlich einsparen.

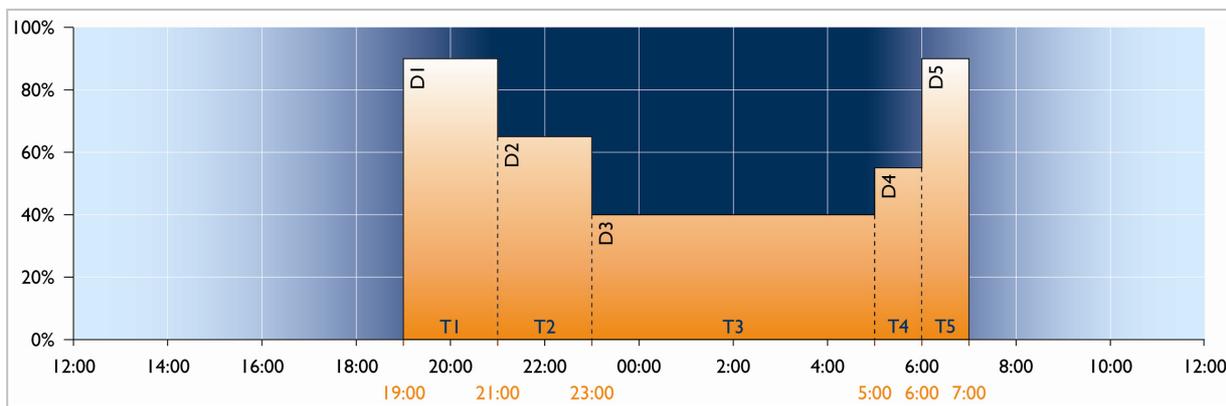


Abb.: DynaDimmer ermöglicht bis zu fünf Zeitfenster(T1-T5) mit bis zu fünf unterschiedlichen Dimmniveaus (D1-D5).

Wirtschaftlichkeitsvergleich Quecksilber-, Natrium-, Metallhalogendampf-Hochdruckentladungslampen im Vergleich zur High-Power LED

Durch die Möglichkeit der effizienteren Lichtlenkung, einfacheren Dimmbarkeit, Konstanzhaltung des Lichtstroms und auf Basis der langen Lebensdauer aber vor allem durch die Aktualisierbarkeit der LED Module sind LED Lösung über ihren Lebenszyklus allen anderen Alternativen bereits heute überlegen.³

Vergleicht man eine Altanlage bestückt mit Quecksilberdampf Lampen 125 W (Systemleistung ca. 145 W) mit einer Sanierungsleuchte mit Natriumdampf Lampen 70 W, CosmoPolis 60 W bzw. einer guten modularen LED Leuchte lässt sich nachfolgendes feststellen (Lichttechnisch erfüllen alle Sanierungslösungen die gleichen Anforderungen.) **Die LED Leuchte verbraucht über die Leuchtenlebensdauer rund 77% weniger Energie als die Quecksilberdampf-Leuchte bzw. über 60% weniger Energie als die moderne Leuchte bestückt mit einer**

Leuchte bestückt mit	Systemleistung	2010 - 2017		
		Energiekosten	Lampenkosten	Wartungskosten
HPL 125W	145 W	609 €	3,7 €	26 €
SON 70W	86 W	361 €	7,0 €	26 €
CPO 60W	67 W	281 €	56,0 €	26 €
LED	50 W	210 €	0 €	18 €

	Systemleistung	2018 - 2029		
		Energiekosten	Lampenkosten	Wartungskosten
HPL 125W	145 W	1.044 €	6,3 €	45 €
SON 70W	86 W	619 €	12,0 €	45 €
CPO 60W	67 W	482 €	96,0 €	45 €
LED	30 W	216 €	150 €	45 €

	Systemleistung	2030 - 2039		
		Energiekosten	Lampenkosten	Wartungskosten
HPL 125W	145 W	870 €	5,3 €	38 €
SON 70W	86 W	516 €	10,0 €	38 €
CPO 60W	67 W	402 €	80,0 €	38 €
LED	25 W	150 €	105 €	40 €

Brenndauer		4.000 Std.
Energiekosten		0,15 €
Lampenwechselkosten		5 €
Reinigungskosten		10 €
Lampenpreise	HPL 125W	2,1 €
	SON 70W	4,0 €
	CPO 60W	32,0 €
LED Modulwechsel	2018	2030
neue Systemleistung	30 W	25 W
Preis LED Ersatzmodul	150 €	105 €
Wechselkosten	15 €	15 €

2010 - 2039			2010	Amortisation in Jahren	
Energiekosten	Wartungskosten	Betriebskosten	Anfangsinvestment	ggü.HPL	ggü. SON
2.523 €	124 €	2.647 €	0 €		
1.496 €	138 €	1.634 €	200 €	5,9	
1.166 €	341 €	1.507 €	300 €	7,9	23,5
576 €	358 €	934 €	650 €	11,4	19,3

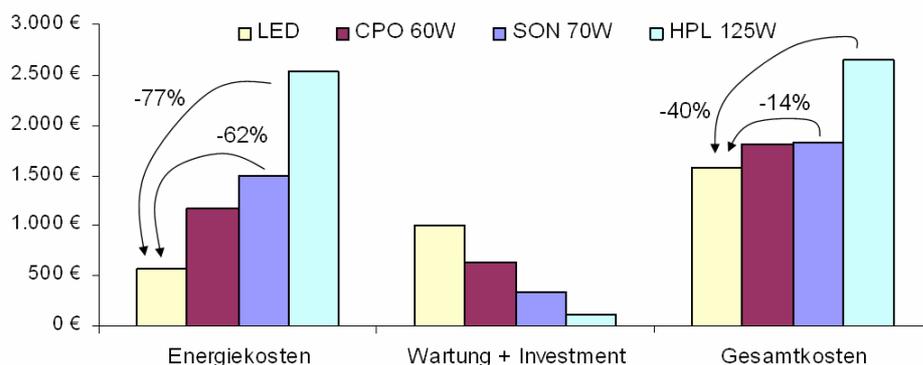
LED ggü. HPL	-77%	+ 188%	-65%	
LED ggü. SON	-62%	+ 160%	-43%	+ 225%
LED ggü. CPO	-51%	+ 5%	-38%	+ 117%

Hinweis: Der Energiepreis, die Lampenpreise für HPL und SON sowie die Wartungskosten werden vermutlich steigen, der Lampenpreis für CosmoPolis wird sinken. Dadurch werden die Einsparungen mit CosmoPolis und damit auch die Amortisationszeiten sinken. Ähnliches gilt für die LED Leuchte. Alle Werte gelten für einen Lichtpunkt und sind vergleichbare Richtpreise. Sie können je nach Produkt und Vertriebsweg erheblich abweichen, bleiben dann allerdings in ähnlicher Form vergleichbar.

Natriumdampflampe. Das liegt zum einem an der initial bereits um 42% niedrigeren Leistungsaufnahme, aber vor allem auch an der über die Lebensdauer der Hochdruckentladungslampen ansteigenden Verlustleistung sowie den Aktualisierungen der LED Module von 50W auf 30W nach 8 Jahren und von 30W auf 25W nach weiteren 12 Jahren.

Abb.: Die LED Variante spart in diesem Beispiel mindestens 50% Energie und amortisiert sich ggü. der Altanlage verglichen mit einer Sanierung durch SON nur max. 5 Jahre später. Ist die höhere Investition in LEDs ein Hemmnis stellt die CosmoPolis Anlage die wirtschaftlichste Variante dar.

Noch vor wenigen Jahren als die Diskussion um die Einsparpotentiale in der Straßenbeleuchtung entfacht wurde, ist man von Gesamteinsparpotentialen von rund 40% ausgegangen. Diese Betrachtung beruhte allerdings vornehmlich auf der Annahme, dass ineffiziente Anlagen durch moderne Leuchten mit Natriumdampf- und Metallhalogendampf-Hochdruckentladungslampen ersetzt werden. Diese Annahme ist mit der LED Technik überholt. Nicht initial, aber wer sich heute für eine moderne, hochwertige und vor allem modulare LED Leuchte entscheidet, spart im Durchschnitt ca. 60%.



Anlagenkosten über 30 Jahren. Einfache Überschlagsberechnung (ohne In-/Deflation).