

## Modernisierung der Straßenbeleuchtung Effizienz-Verbesserung und wirtschaftlicher Betrieb

ungekürzter Fachbeitrag von Günther Volz – Beratender Ingenieur, 71139 Ehningen + 72072 Tübingen,  
Mail: [volz@impuls-programm.de](mailto:volz@impuls-programm.de) in der Zeitschrift BWGZ 8 / 2008 (Seite 253 – 255)

### Ausgangssituation:

Die Budget-Restriktionen bei Kommunen führen dazu, vielerorts Teile der Straßenbeleuchtung abzuschalten. Die Technik befindet sich oft noch auf einen Stand von über 35 bis 40 Jahren. Auch für die Beleuchtung von öffentlichen Straßen und Plätzen gilt, dass der Anteil der auf viele Jahre umgelegten Investitionskosten innerhalb der gesamten Lebenszykluskosten wesentlich geringer ist als der Anteil der laufenden Betriebskosten.

Neben den Investitionskosten für die Leuchten, Masten, Installationen, Kabelnetz und Verteiler (unter Berücksichtigung der Abschreibungen und Verzinsung) setzt sich der Gesamtaufwand für die Straßenbeleuchtung vor allem aus den Betriebskosten für Energie, Lampenersatz sowie Wartungs- und Instandhaltungsleistungen zusammen.

Im statistischen Mittel zahlt der Bürger pro Jahr ca. 7,15 EUR Stromkosten. Dazu kommen ca. 10 EUR an weiteren Betriebskosten. Die gesamte Straßenbeleuchtung verlangt pro Bürger eine installierte Leistung von ca. 13 Watt und verbraucht damit ca. 55 Kilowattstunden pro Jahr. Dieser Energiebedarf stellt einen Anteil von ca. 7 Prozent am gesamten Lichtstromverbrauch in Deutschland dar. In Deutschland liegt der Anteil der Beleuchtung am gesamten Stromverbrauch bei ca. 6,5 % (laut VDEW im April 2006). Das Einsparpotential bei der Straßenbeleuchtung in Deutschland wird auf einen Wert zwischen ca. 1,6 Mio. t CO<sub>2</sub> (laut ZVEI) bis zu 3,5 Mio. t CO<sub>2</sub> (laut Fa. Osram) geschätzt.

Marktuntersuchungen haben gezeigt, dass die Lebensdauer von Straßenbeleuchtungsanlagen ca.

33 Jahre (im europäischen Mittel) beträgt.

Durch die Überalterung der Straßenbeleuchtung können in manchen Kommunen die Stromkosten jedoch überdurchschnittlich hoch ausfallen. Durch eine Modernisierung der Anlagen kann auf wirtschaftlichem Weg Abhilfe geschaffen und gleichzeitig die Beleuchtungsqualität verbessert werden!

### **Neue Rahmenbedingungen und Handlungszwänge:**

Darüber hinaus entstehen durch neue gesetzliche Rahmenbedingungen auf europäischer und nationaler Ebene Handlungszwänge für die Kommunen bei der Beleuchtung von Straßen und Plätzen. Die Europäische Union setzt in Ihren Regelwerken unter anderem Schwerpunkte im Klimaschutz, Umwelt, Gesundheit und nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen sowie Abfallwirtschaft. Die EuP-Richtlinie (Energy using Products) will die Umweltauswirkungen von Energie betriebenen Produkten verbessern. Am 07. März 2008 ist national das Energiebetriebe-Produkte-Gesetz (EBPG) in Kraft getreten. Damit wird die sog. Ökodesign-Richtlinie in deutsches Recht umgesetzt. Auch in der Straßenbeleuchtung soll mit dem Gesetz - nach Aussage des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie - durch Definition von Mindestanforderungen die von energiebetriebenen Produkten ausgehenden Umweltauswirkungen verringert werden. Der Energieverbrauch soll gesenkt, der Materialaufwand vermindert und die Belastung mit Schadstoffen reduziert werden. Zugleich wird damit ein Beitrag zur Sicherheit der Energieversorgung geleistet. Das Gesetz will mit Hilfe verschiedener Instrumente auch bei der Straßenbeleuchtung sicherstellen, dass nur

noch solche energiebetriebenen Produkte verwendet werden, die den festgelegten Mindestanforderungen genügen. So werden z. B. zukünftig nur noch Lampen mit höherer Lichtausbeute zugelassen. Die Inhalte der technischen Anforderungen und energetischen Standards werden zur Zeit noch auf europäischer Ebene abgestimmt und präzisiert und sollen durch sogenannte Durchführungsmaßnahmen definiert werden.

### **Perspektive für die zu erwartenden gesetzlichen Rahmenbedingungen und Standards in der Straßenbeleuchtung:**

Die aus dem Konsultationsforum mit Fachleuten, der Industrie und Verbänden eingegangenen Korrekturen und die Erkenntnisse aus einer von der EU beauftragten Studie (sogenannte Vito-Studie) will die europäische Kommission im September 2008 ins europäische Parlament einbringen. Auf Grund der üblichen Verfahrensdauer ist damit zu rechnen, dass ca. ein Jahr danach die neuen Regelungen mit einer Übergangsfrist von ca. zwei Jahren in Kraft treten. Nach dem vorliegenden Stand bedeutet das, dass zukünftig folgende Komponenten der Straßenbeleuchtung auf dem heutigen Stand ihrer Effizienz nicht mehr zum Einsatz kommen können, da sie nicht mehr in Verkehr gebracht werden dürfen:

- Quecksilberdampflampen und ähnliche Lampen mit geringerer Lichtausbeute
- Vorschaltgeräte mit hohen Verlustleistungen
- Leuchten mit ungünstiger Lichtverteilung. Durch Lichtlenkung nur in den unteren Halbraum sollen umweltschädliche Lichtemissionen vermieden und der

Gesamtbeleuchtungswirkungsgrad verbessert werden

- Verwendung hoher Schutzart (mind. IP 5X) um über den verringerten Wartungsaufwand einen Beitrag zur Energieeinsparung zu leisten
- Straßenleuchten sollen auf Wunsch dimm- oder schaltbar sein.

Die verfügbaren lichttechnischen Entwicklungen der Straßenbeleuchtung mit stark verbesserter Effizienz legen jedoch eine Modernisierung des Bestands auch ohne gesetzlichen Zwang nahe. Das lässt sich am Beispiel bereits ausgeführter Sanierungen belegen.

### **Betriebsführung von Straßenbeleuchtungsanlagen:**

Zukünftige Gesetzesvorhaben wollen Kommunen den Eigenbetrieb der Straßenbeleuchtung ermöglichen. Grundlage dafür stellt die Eigentumsübertragung der Netze mit Kabel und Verteilungen, Steuerungen, Maste und Leuchten dar, wenn diese jetzt

z.B. im Besitz von Energieversorgungsunternehmen bzw. Netzbetreibern sind. Dabei werden Fragen der Bewertung der Straßenbeleuchtungsanlagen

und –Netze, bisher entrichtete Kosten für die Betriebsführung und der Aufwand sowie die Kosteneinsparungspotentiale einer energetischen Modernisierung eine wichtige Rolle spielen.

Mit geeigneter Software zur Anlagendokumentation, für die laufende Betriebsführung und Instandhaltung sowie Modernisierungsplanung können die anfallenden neuen Aufgaben unterstützt werden.

### **Praxisbeispiel für eine wirtschaftliche Straßenbeleuchtungs-Modernisierung anhand Anlage von ca. 1 km Straßenlänge**

In der folgenden tabellarischen Übersicht werden die laufenden Energiekosten vor und nach einer Modernisierung gegenübergestellt:

Bei den Lampenersatzkosten und Wartungskosten im laufenden Betrieb nach der Modernisierung ergibt sich oft eine zusätzliche Einsparung, da mit den neuen Leuchten auch langlebige Leuchtmittel (Lampen) verwendet werden können.

	<b>Bestand</b>	<b>Modernisierte Anlage</b>
Anlagen-Ausrüstung	28 Leuchten	28 Leuchten mit optimierter Lichtlenkung
Mastabstände ca.	36 m	36 m
Lampen pro Leuchte	Quecksilberdampf-Hochdrucklampen 2 x 125 W	Natriumdampf-Hochdrucklampen 1 x 70 W
Leistung pro Leuchte mit VG	278 W	83 W
Lichtstrom pro Leuchte	12.600 lm	6.600 lm
Anschlussleistung gesamt	7,784 kW	2,324 kW
Jährliche Betriebsdauer ca.	3.800 Std	3.800 Std
Jährlicher Energieverbrauch ca.	29.579 kWh	8.831 kWh
Jährliche Stromkosten (bei 0,14 €/kWh) ca.	4.437 Euro	1.325 Euro
<b>Jährliche Energiekosten-Einsparung ca.</b>		<b>3.112 Euro</b>
<b>Investitionskosten für die Modernisierung ca.</b>		<b>7.000 Euro</b>

nen. Längere Intervalle beim Lampenwechsel reduzieren den Wartungsaufwand. Durch wartungsfreundliche Leuchten-Bauelemente und hochwertige Materialien können sich die Wartungsintervalle (gegenüber früher) auf einen 4-Jahresrhythmus verdoppeln und somit meist die Kosten halbieren.

Aus dem Verhältnis von Modernisierungs-Investitionskosten und eingesparten jährlichen Betriebskosten zeigt sich bei einer über 30 Jahre alten Anlage eine kurze Amortisationszeit unter fünf Jahren.

Bei Anlagen im Bestand ist die restliche Lebensdauer bzw. der Restwert zu berücksichtigen, der die Amortisationszeit verlängert.

### **Kriterien für die Auswahl von Modernisierungslösungen:**

Im Zuge von Modernisierungsmaßnahmen können bisherige Über- oder Unterdimensionierungen der Straßenbeleuchtung geprüft und beseitigt werden. Grundlage der Planung bildet dazu die DIN (EN) 13201, Fußgängerüberwege (mit Zeichen 293 der Straßenverkehrsordnung) sind gemäss DIN 67523 zu beleuchten.

Die Effizienz neuer Beleuchtungstechnik erlaubt bessere Gleichmäßigkeit und größere Mast-Abstände.

Bei geringerer Anschlussleistung wird durch verbesserte Lichtausbeute ein höheres Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichteniveau auf Strassen und Plätzen geschaffen. Damit können auch Straßenbeleuchtungen im Bestand mit mangelhafter Qualität (z. B. bei zu großen Mastabständen) meist auf den besseren Stand der Technik gebracht werden.

Auch mit 1-flammigen Leuchten lassen sich in verkehrsarmen Zeiten Leistungsreduzierungen und somit Energieeinsparungen vornehmen. In den Leuchten eingebaute Umschalteneinheiten erlauben so eine gleichmäßige Absenkung - anstelle einer Abschaltung jeder zweiten Mastleuchte - und somit eine Verbesserung der Verkehrssicherheit! Je höher die Schutzart ist, desto besser sind Leuchten gegen Umwelteinflüsse geschützt.

Höhere Schutzarten verlängern die Lebensdauer der Leuchten und verringern die Intervalle für Reinigungen. Kompakte Leuchten mit hoher konstruktiver Stabilität halten mechanischen Belastungen und mutwilliger Zerstörung Stand.

Neben der Standardlösung für die energetische Modernisierung der Straßenbeleuchtung durch Natriumdampf-Hochdrucklampen stellen sich **weitere neue innovative Entwicklungen** der Lichttechnik als Alternativen, dazu gehören:

- Halogenmetaldampflampen
- LED

Beide Lampentypen bieten gegenüber den Natriumdampflampen den Vorteil der besseren Farbwiedergabe und bieten durch ihr " weises Licht " ein besseres Farbspektrum. Durch die geometrisch reduzierte Form dieser Leuchtmittel können die zugehörigen Leuchten den erzeugten Lichtstrom besser auf die Straße lenken. So entsteht im Zusammenwirken von Leuchten und Lampen ein nochmals verbesserter Wirkungsgrad. Allerdings sind neben der Qualitätsverbesserung die Kosten für Investitionen und laufenden Betrieb gegenüber den bewährten Natriumdampflampen sehr differenziert zu bewerten.

Obwohl hoch effiziente stabförmige Leuchtstofflampen in der Innenbeleuchtung vielfach verwendet werden, können diese im Bereich der Straßenbeleuchtung auf Grund ihres Temperaturverhaltens kaum eingesetzt werden. Bestimmte Typen von Kompakt-Leuchtstofflampen sind für die Außenbeleuchtung einsetzbar und für niedrige Lichthöhen geeignet. Für die Beleuchtung von Fußgängerzonen und innerstädtischen Bereichen sind sie auf Grund der guten Farbwiedergabe gut geeignet. Auf Grund der geometrischen Abmessungen dieser Lampen ist eine wirksame Lichtlenkung und damit der Einsatz für höhere Lichtpunkte wie in Verkehrs- und Durchgangstraßen jedoch nicht sinnvoll.

**Lichtmanagement** dient zur Steuerung der Leuchten nach den Kriterien Außenhelligkeit, Tageszeit und Verkehrsdichte. Die dadurch erreichte Energieeinsparung dient

sowohl der Umwelt als auch dem kommunalen Haushalt.

Mit modernen Systemen können individuelle Steuerung und Überwachung (z.B. zur Störungdiagnose) über das vorhandene Kabelnetz betrieben und nachgerüstet werden.

### Reduzierung der Lichtemissionen

Die künstliche Aufhellung des Nachthimmels führt zu einer Lichtverschmutzung, die sich negativ auf Menschen, Tiere, Natur und Stadtbild auswirken kann. Veraltete Straßenbeleuchtungsanlagen und Lichtinstallationen wie Skybeamer und Leuchtreklamen verstärken den Lichtsmog. Mit der gezielter Ausrichtung der Lichtverteilung moderner Leuchten wird die Lichtverschmutzung reduziert, Insekten geschützt und gleichzeitig die Energieeffizienz verbessert.

Die folgende jährliche Gesamtkostenbetrachtung einer Beleuchtungsanlage geht von einer Betriebsdauer von nur ca. 3330 Stunden/Jahr aus, da häufig Leistungsreduzierungen in den Nachtstunden möglich sind. Bei höheren Betriebsstunden amortisiert sich die energetische Modernisierung noch schneller. Zur besseren Übersichtlichkeit wurde eine vereinfachte lineare Energiekostenberechnung vorgenommen. Für eine genaue Berechnung der Wirtschaftlichkeit ist neben dem individuell ausgehandelten Stromtarif und zukünftigen Strompreissteigerungen noch zu berücksichtigen:

- Betriebsdauer mit voller Leistung
- Betriebsdauer mit reduzierter Leistung
- Betriebsdauer in der Hochtarifzeit
- Betriebsdauer in der Niedertarifzeit

Weiterhin ist für eine genaue Berechnung die Verzinsung des eingesetzten Kapitals (Kapitaldienst) sowie Preiserhöhungen im Laufe der Betriebszeit zu berücksichtigen.

Für die im Zusammenhang mit den Halogenmetaldampflampen und Leuchtdioden (LED) erforderlichen elektronischen Betriebsgeräte liegen noch nicht ausreichende Erfahrungen vor, ob sie die Lebensdauer magnetischer Vorschaltgeräte (VVG) erreichen werden.

Die folgenden **auf jährliche Kosten heruntergebrochenen Lebenszykluskosten** berücksichtigen die 4 wichtigsten Positionen:

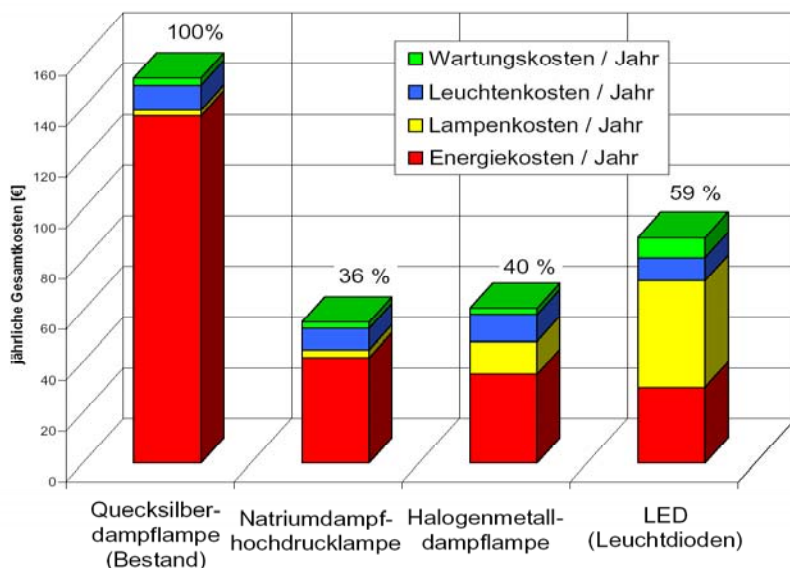
- Investitionskosten der Leuchten (Leuchtentausch mit Montage)
- Lampenkosten und laufende Lampenersatzkosten
- Energiekosten
- Wartungs- und Instandhaltungskosten

Weitere Anlagenkosten wie zum Beispiel für Masten, Installationen, Kabelnetze und Verteiler, Steuerungen und sonstige Betriebsführung sind nicht in den Vergleich und die Diagramme aufgenommen, da sie etwa kostenneutral für alle Varianten auftreten.

Auch die Erst-Ausstattung mit Lampen (Leuchtmittel) bei einer Umrüstung ist zum besseren Vergleich bei allen Varianten in den Lampenersatzkosten (Materialwert) und Wartungskosten (Montageaufwand) eingerechnet.

Der Gesamtwirkungsgrad und damit die Effizienz der Straßenbeleuchtung wird hauptsächlich durch die Faktoren Lichtausbeute der Lampen, Wirkungsgrad und Lichtverteilungscharakteristik der Leuchten sowie der Anlagengeometrie mit Straßenabmessungen und Reflexionsgrad des Straßenbelages gebildet.

Auf Grund der optischen Zusammenhänge lassen die geometrisch kompakteren Leuchtmittel wie Halogenmetaldampflampen und LED eine effizientere Lichtlenkung und höheren Leuchtenwirkungsgrad zu als zum Beispiel Leuchten mit Quecksilberdampflampen. Auf Grund dessen können bei vergleichbarer Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte der folgenden Varianten kleinere Lampenlichtströme gegenüber Quecksilberdampflampen verwendet werden.



## Alternativen für eine energetische Modernisierungs-Planung und ihre Kostenbestandteile :

Der Inhalt der graphischen Darstellung ergibt genauer sich aus den Berechnungen laut Tabelle:

trachtung von Straßenbeleuchtungsanlagen in den Energiekosten liegen. Investitionskosten für Modernisierungen durch neue Leuchten sind demgegenüber geringfügig, beeinflussen jedoch stark die Lebenszykluskosten!

metalldampflampen mit vergleichbarer Effizienz Alternativen zur Verfügung, die auf jeden Fall weit wirtschaftlicher als die Beleuchtung im Bestand mit Quecksilberdampflampen sind.

### Auswahlkriterien und Unterscheidungsmerkmale effizienter neuer Lichtsysteme für die Modernisierung der Strassenbeleuchtung

Kriterien und Beurteilung:	Bestand Quecksilberdampflampe	Lampenarten		
		Natriumdampf-hochdrucklampe	Halogenmetall-dampflampe	LED
<b>Lampen:</b> System-Lichtausbeute bei gebräuchlichen Leistungen [Lumen/Watt]	30 - 49	80 - 100	~ 85 - 115	~ 80
pro Lichtpunkt: vergleichbare Systemleistung mit Vorschaltgeräten [Watt] und Lichtstrom [Lumen]	2 x 125 274 2 x 6.300	1 x 70 83 6.600	1 x 60 70 6.850	35 x 1,5 = 60 ~ 4.800
<b>1) Energiekosten/Jahr [€]</b> bei ~ 3.330 h/a und 0,15 €/kWh, ca.	<b>136,90</b>	<b>41,46</b>	<b>34,97</b>	<b>29,97</b>
Farbwiedergabequalität	40	20	~ 60 - 70	~ 80
Neu- und Ersatzkosten der Lampen pro Leuchte [€]	2 x 5	1 x 15	1 x 39	35 x 18 = 630
Lampenlebensdauer [h]	15.000	16.000	10.000	50.000
<b>2) Lampenkosten pro Jahr ca. [€]</b>	<b>2,22</b>	<b>3,12</b>	<b>13</b>	<b>~ 42</b>
<b>Leuchten:</b> Leuchteinzelpreis [€]	285	250	315	270
<b>3) Leuchtenkosten pro Jahr ca. [€]</b> bei ca. 30 Jahre Lebensdauer	<b>9,50</b>	<b>8,33</b>	<b>10,50</b>	<b>9,--</b>
<b>4) Wartungskosten pro Jahr ca. [€]</b>	<b>3,-</b>	<b>2,50</b>	<b>2,50</b>	<b>8,-</b>
Bemerkungen			EVG-Lebensdauer?	Elektronik-Lebensdauer?
<b>Umgelegte Gesamtkosten pro Jahr ca. [€]</b>	<b>152</b>	<b>55</b>	<b>61</b>	<b>89</b>
<b>Kostenrelation</b>	<b>100 %</b>	<b>36 %</b>	<b>40 %</b>	<b>59 %</b>

### Fazit und Perspektiven für die zukünftige Entwicklung:

Bei der Modernisierung ergibt sich pro beleuchtetem Straßenkilometer eine Betriebskostensparnis in der Praxis, mit der sich die Umstellung nach spätestens acht Jahren ausgezahlt hat. Effizienzverbesserung der Lichttechnik in den letzten 15 Jahren bei Leuchten Lampentechnologie ergeben im Schnitt ca. 160 kg CO<sub>2</sub>-Einsparung pro Lampe und Jahr.

Der vorstehende Vergleich zeigt, dass die größten Kostenabweichungen bei der Lebenszyklusbe-

Die hohe Wirtschaftlichkeit einer energetischen Modernisierung mit Natriumdampf-Hochdrucklampen ist durch die beiden anderen konkurrierenden innovativen Lampenentwicklungen momentan nicht zu schlagen!

Allerdings gibt es Bereiche der innerstädtischen Straßenbeleuchtung, bei denen die Qualität der Farbwiedergabe eine stärkere Bedeutung erhält. Dies trifft besonders unter dem Aspekt "Stadtmarketing" zu. Wo dieser Qualitätsunterschied gegenüber Natriumdampf-Hochdrucklampen mit ihrer geringen Farbwiedergabequalität wichtig ist, stehen nun durch die Halogen-

Wissenschaftliche Untersuchungen wollen zudem festgestellt haben, dass aufgrund der Sehleistung und des Sehverhaltens des Menschen in der Dämmerung und Dunkelheit weißes Licht - wie von Halogenmetalldampflampen - dem gelblich warmen Licht - wie von Natriumdampf-Hochdrucklampen - überlegen sei (bei gleich hohen gemessenen Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten). Leider sind die Betreiber der Straßenbeleuchtung bis jetzt von nur 1 Hersteller der speziellen vorab aufgeführten Halogenmetalldampflampen abhängig. Es bleibt zu hoffen, dass trotzdem genügend Wettbewerb am Markt und keine Abhängigkeit entsteht. Aus der Gegenüberstellung und graphischen Darstellung der Neuentwicklungen zeigt sich insbesondere bei den neuentwickelten LED ein die Gesamtkosten stark belastender Kostenblock als (momentaner) Nachteil gegenüber den beiden Varianten Natriumdampf-Hochdrucklampen und Halogenmetalldampflampen.

Die Chancen für die LED zu einem vergleichsweise ebenso wirtschaftlichen Einsatz wachsen in der Zukunft, wenn folgende Entwicklungen gelingen:

- Lichtausbeute muss noch verbessert werden
- Kosten der Elemente und elektronischen Versorgungsgeräte müssen verringert werden.

Unter diesen Voraussetzungen und dem bestehenden Vorteil der ca. 4 bis 5-fachen Lebensdauer sowie ihrer leichten Regelbarkeit werden LED zukünftig schneller im Markt Fuß fassen können. Unter Berücksichtigung der zukünftigen gesetzlichen Rahmenbedingungen verschärft sich der Zwang zur energetischen Modernisierung, der zur Verbesserung der kommunalen Haushalte jedoch bereits durch die verfügbaren Entwicklungen effizienter Lichttechnik nahe liegt!

Autor: Günther Volz – Beratender Ingenieur