

1. Einleitung.

1.1 Kommunale Energiearbeit lohnt sich – in jeder Hinsicht.

Die Mitgliedsländer der EU haben sich zur Senkung des CO₂-Ausstoßes ehrgeizige Ziele gesetzt, um die drohenden ökologischen und damit sozialen sowie ökonomischen Folgen des Klimawandels abzuwenden.

Um diese Ziele zu erreichen, stehen wir alle – Politik, Wirtschaft und Gesellschaft – vor der wichtigen gesamtgesellschaftlichen Aufgabe, den sparsamen und ressourcenschonenden Umgang mit Energie ins Zentrum unseres Handelns zu stellen: indem wir Energie intelligenter nutzen, konsequent Maßnahmen zum Klimaschutz umsetzen und eine zukunftsfähige Energieversorgung aufbauen.

Es gibt viele gute Ansätze, dieser Herausforderung erfolgreich zu begegnen: vom Einsatz energiesparender Produkte, Anlagen oder Technologien über die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien bis hin zur intelligenten Steuerung des Energieeinsatzes.

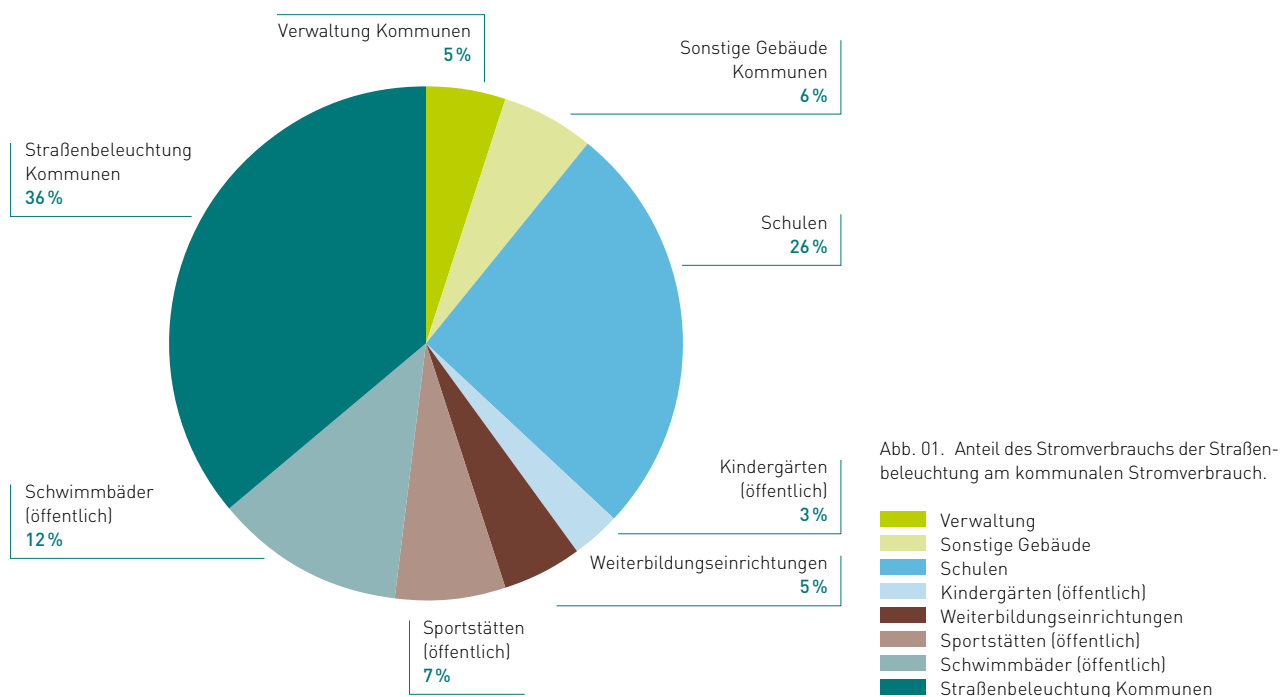
Gerade kommunale Verwaltungen sind hier gefordert, mit gutem Beispiel voranzugehen, indem sie Prozesse lokal und regional gestalten, bereits verfügbare Lösungen umsetzen und die gewonnenen Erfahrungen einer breiten Öffentlichkeit zugänglich machen.

Eine stetig wachsende Anzahl von Beispielen in sächsischen Städten, Gemeinden und Landkreisen zeigt, dass sich eine nachhaltige kommunale Energiepolitik durch sinkende Energiekosten auch finanziell lohnt.

1.2 Kommunale Straßenbeleuchtung in Deutschland.

Auch die öffentliche Beleuchtung ist vor diesem Hintergrund in den Mittelpunkt der Diskussion gerückt. Kein Wunder: Über 30 Prozent des gesamten kommunalen Eigenenergiebedarfs können allein durch die Straßenbeleuchtung verursacht werden. Deren Anteil an den kommunalen Energiekosten ist entsprechend hoch. [1][2]

Anteil der Straßenbeleuchtung am kommunalen Stromverbrauch. [3]



Der hohe Stromverbrauch lässt sich teilweise auf veraltete Beleuchtungsanlagen zurückführen. Eine Umfrage ergab, dass ca. 50 Prozent der befragten Kommunen ihre Straßenbeleuchtungsanlagen als modernisierungsbedürftig einschätzen. [4]

Nach Untersuchungen des Zentralverbands Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI) sind in Deutschland noch ca. 33 Prozent der Straßenleuchten mit Beleuchtungstechnik aus den 60er Jahren ausgerüstet. Und nur etwa drei Prozent der Leuchten werden jährlich erneuert. [5]

Das Ziel – eine nachhaltig energie- und kosteneffiziente Straßenbeleuchtung.

Neue und effizientere Technologien versprechen in vielfacher Hinsicht Fortschritte: mehr Umwelt- und Klimaschutz, höhere Verkehrssicherheit, eine verbesserte Beleuchtungsqualität und Wirtschaftlichkeit. Daneben sind neue Leuchten dem Insektenschutz zuträglich und reduzieren unerwünschte Lichtimmissionen auf ein Minimum.

Das Strom-Einsparpotenzial durch eine moderne Stadtbeleuchtung in Deutschland wird auf rund 2,2 Mrd. kWh beziffert. Das entspricht einem um 1,3 Mio. Tonnen verringerten CO₂-Ausstoß und ca. 350 Mio. € weniger Energiekosten (Annahme eines Strompreises von 0,16 €/kWh). [6]

Intelligent investiert, rechnet sich eine Vielzahl von Modernisierungsmaßnahmen bereits nach wenigen Jahren. Diese können häufig auch kurzfristig umgesetzt werden. Dazu ist es insbesondere erforderlich, den Zusammenhang zwischen den notwendigen Investitionen sowie den potenziell einzusparenden Energie- und Betriebskosten der Straßenbeleuchtung transparent zu machen. Trotz zahlreicher umgesetzter Sanierungsmaßnahmen in den letzten Jahren ist auch in vielen sächsischen Kommunen die öffentliche Beleuchtung in keinem guten Zustand. Gerade deshalb gibt es hier noch ein erhebliches Einsparpotenzial.

Vereinzelt wurden in sächsischen Kommunen nach 1990 zwischen 40 und 70 Prozent des Bestands erneuert. Aber dennoch: Der Energieverbrauch ist häufig zu hoch, die Erneuerungsquote für eine langfristige Substanzerhaltung zu gering. Hinzu kommt, dass die meisten Beleuchtungsanlagen in den 70er Jahren errichtet wurden und ihre betriebsübliche Nutzungsdauer überschritten haben. Auch die in den 90er Jahren modernisierten Anlagen erreichen diese mittelfristig und müssen in naher Zukunft ersetzt werden.

Effiziente Stadtbeleuchtung – bessere Wirtschaftlichkeit, höhere Verkehrssicherheit, geringere Energiekosten.

Erhebliches Modernisierungs- und Einsparpotenzial – auch in Sachsen.



© Blaues Wunder Frank/Fotolia

Abb. 02. Anspruchsvolle technische Projekte wie die energieeffiziente Modernisierung der Straßenbeleuchtung haben in Sachsen eine lange Tradition.

2. Was ist eine gute Straßenbeleuchtung?

2.1 Besseres Licht, mehr Sicherheit, geringere Kosten.

Eine „gute“ Straßenbeleuchtung dient in erster Linie der Verkehrssicherheit im Fahrzeug- und Personenverkehr. Studien zeigen, dass bei einem höheren Beleuchtungsniveau die Zahl der Verkehrsunfälle tendenziell sinkt. Darüber hinaus ist gute Straßenbeleuchtung in der Lage, die Sicherheit der Bürger vor kriminellen Übergriffen zu erhöhen sowie ein subjektives Empfinden von mehr Sicherheit auszulösen. [7]

Zudem ist der intelligente Einsatz öffentlicher Beleuchtung ein hervorragendes Marketinginstrument für jede Stadt oder Gemeinde. Auch aufgrund eines wachsenden Standortwettbewerbs kann „gute“ Außen- und Straßenbeleuchtung dazu beitragen, dass sich eine Stadt oder Gemeinde positiv profiliert.



© BT fotocascato/Fotolia

Abb. 03. Effektiv eingesetzte Straßenleuchten können auch das Profil einer Stadt oder Kommune verbessern.

Außerdem berücksichtigt eine „gute“ Straßenbeleuchtung unerwünschte Lichtimmissionen (z. B. ins Schlafzimmer), Blendungen sowie die Aufhellung des Himmels durch unnötige Abgabe von Licht in den oberen Halbraum. Gerade unter dem Gesichtspunkt einer höchstmöglichen Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit sollte „gute“ Beleuchtung mittels moderner Spiegelsysteme und Optiken das Licht genau dorthin lenken, wo es wirklich gebraucht wird.



Abb. 04. Die Aufhellung des Himmels durch künstliche Beleuchtung ist in zahlreichen Ländern enorm.

2.2 Die Wahl des Leuchtmittels aus der Sicht des Naturschutzes.

Nachtaktive Insekten können von den im Vergleich zu Mond und Sternen deutlich helleren künstlichen Lichtquellen angezogen werden und entweder unmittelbar getötet oder so stark in ihrem normalen Lebensablauf gestört werden, dass die gesamte Population zurückgeht. Für die Insekten spielt dabei das Spektrum des Lichts die wesentliche Rolle. Lampen mit starker ultravioletter Strahlung üben eine größere Anziehungskraft auf sie aus. Im Wesentlichen kann die Naturverträglichkeit durch die Wahl eines moderaten Helligkeitsniveaus und des richtigen Leuchtmittels sowie durch die Konstruktion der Leuchte erhöht werden. [8]

 **Lampendaten**
siehe Anhang



© Sandra Nabbefeld / PIXELIO

Abb. 05. Auf ökologisch sensible Gebiete ist Rücksicht zu nehmen. Darüber hinaus ist die unnötige Abstrahlung in den Nachthimmel zu vermeiden – beide Punkte werden hier missachtet.

Insekten-Anlockwirkung verschiedener Leuchtmitteltypen.

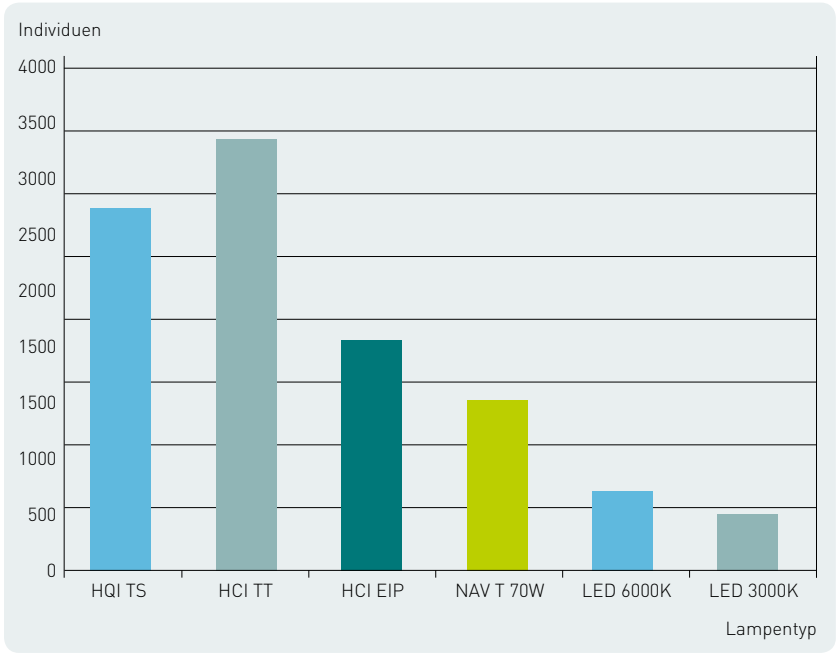








Abb. 06. Anlockwirkung verschiedener Leuchtmitteltypen [9]

-  HQI TS (Metallhalogenidlampe mit Quarzbrenner, beidseitig gesockelt)
-  HCI TT (Metallhalogenidlampe mit Keramikbrenner, Röhre)
-  HCI EIP (Metallhalogenidlampe mit Keramikbrenner und UV-Filter, Ellipsoid)
-  NAV T 70W (Natriumdampf-Hochdrucklampe, Röhre)
-  LED 6000K
-  LED 3000K

Einfluss unterschiedlicher Lampentypen auf den Lebensraum von Insekten.

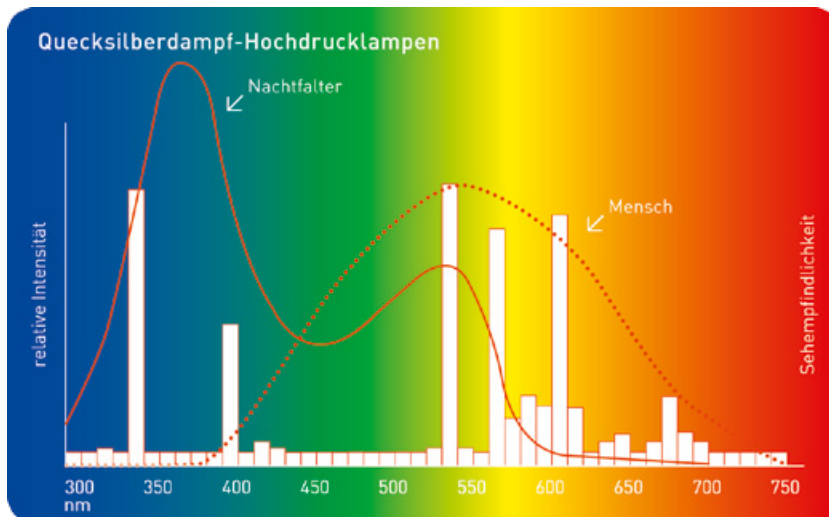


Abb. 07. Quecksilberdampf-Hochdrucklampen wirken auf Mensch und Tier unterschiedlich: Während der Mensch große Teile des Lichts nicht wahrnimmt, haben viele Insekten in diesem Bereich ihr Sehmaximum.

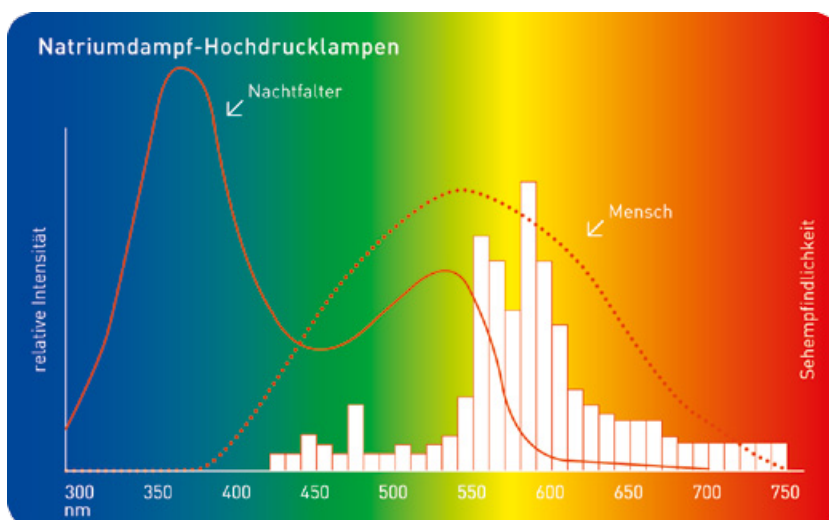


Abb. 08. Durch das gelbliche Licht der Natriumdampf-Hochdrucklampe werden nachtaktive Insekten weniger angezogen. Es ist an das menschliche Sehvermögen angepasst. UV-Licht wird nur in geringem Maße emittiert.

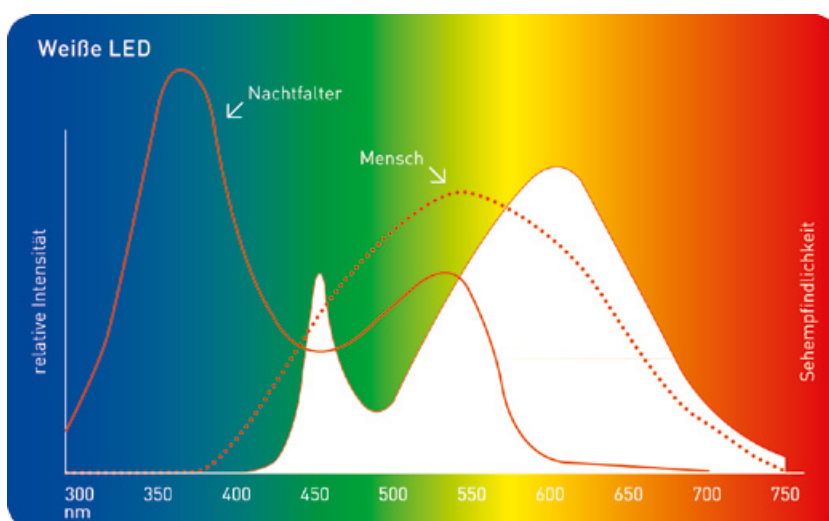


Abb. 09. Die weiße LED (2600 – 3700 K) erzeugt kein Licht im UV-Bereich, das Insekten besonders anzieht. Im Gegensatz zu konventionellen Leuchtmitteln ist zudem der Streulichtanteil bei LEDs gering. Dies gilt besonders für warmweißes Licht (2600 K), das sein Maximum im Gegensatz zu LEDs mit höheren Farbtemperaturen bereits bei 450 nm erreicht. Deshalb gilt diese Technik als sehr insektenverträglich.

2.3 Energieverbrauch einer Lampe über den gesamten Lebenszyklus.

Dem Energieverbrauch während des Betriebs der Lampe kommt die höchste Priorität zu. Bezogen auf die typische Lebensdauer einer Leuchte von 25 Jahren werden in Abb. 10. die Energieverbräuche für Produktion, Transport und Entsorgung von Lampe und Vorschaltgerät dem Energieverbrauch im Betrieb für verschiedene Leuchtmittel gegenübergestellt. In der Nutzungsphase werden jeweils 95–99 Prozent der Energie verbraucht. [10]

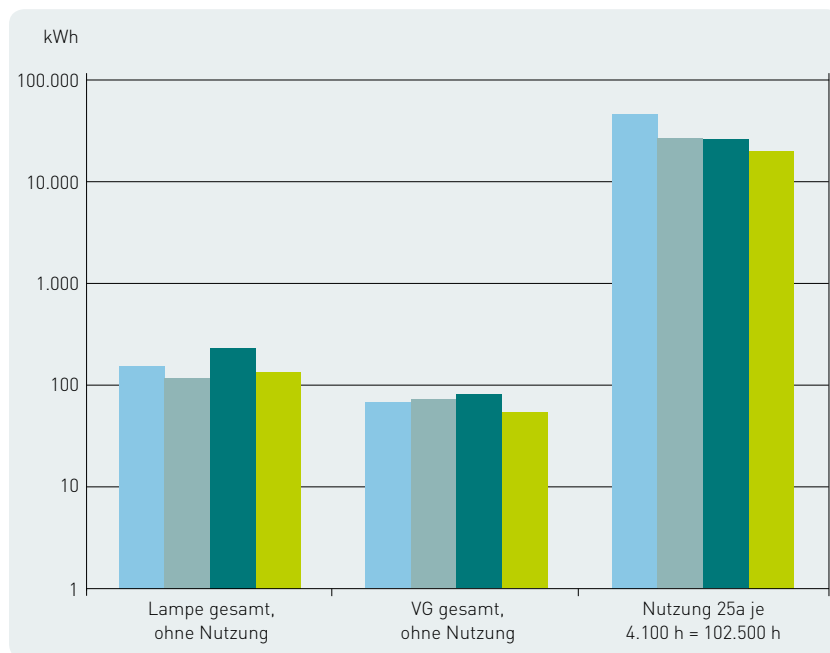


Abb. 10. Energieverbrauch (umgerechnet in Primärenergie) verschiedener Leuchtmittel bei Herstellung, Transport, Entsorgung im Vergleich zum Gebrauch, normiert auf eine Betriebsdauer von 25 Jahren mit jeweils 4.100 Betriebsstunden pro Jahr (inkl. Leuchtmitteltausch). [10]

- Quecksilberdampf-Hochdrucklampe 125 W Cat. S
- Natriumdampf-Hochdrucklampe 70 W Cat. S
- Halogen-Metaldampflampe 70 W Cat. S
- Leuchtstofflampe 36 W Cat. S

Verlässliche Analysen der Herstellungsphase von LEDs für die Straßenbeleuchtung liegen noch nicht vor. Aus vergleichbaren Untersuchungen im Haushaltsbereich kann jedoch geschlossen werden, dass die Herstellung eines einzelnen LED-Moduls und weiterer Verbindungsteile etc. mit einem höheren Energieaufwand verbunden sind. Dies wird jedoch in der Nutzungsphase durch den geringeren Energieverbrauch und die längere Nutzungsdauer wettgemacht. [11] [12]

3. Normative Grundlagen und Rahmenbedingungen.

3.1 Straßenbeleuchtung: der gesetzliche Rahmen in Sachsen und die DIN EN 13201.

§ 51 Abs. 1 des Sächsischen Straßengesetzes (SächsStrG) definiert für die sächsischen Kommunen innerhalb geschlossener Ortslagen – im Rahmen des Zumutbaren – eine Beleuchtungspflicht.

Eine Aussage über Umfang und Dauer der Beleuchtung einer Straße lässt sich aus dieser gesetzlichen Regelung allerdings nicht ableiten. Hierfür kann die derzeit geltende lichttechnische Norm für die Dimensionierung der öffentlichen Beleuchtung DIN EN 13201 als Maßstab dienen. Technische Regeln und Normen beruhen auf der Erfahrung von Fachleuten. Sie fassen Prinzipien und Lösungen zusammen, die in der Praxis erprobt und bewährt sind.

Die DIN EN 13201: Anwendungsmöglichkeiten.

Diese Norm beschäftigt sich mit Anforderungen an eine verkehrssichere Straßenbeleuchtung. Auch die überarbeitete und erweiterte Norm macht (bisher) keine verpflichtenden Angaben zur Energieeffizienz oder gar technischen Ausführung.

Ob die DIN EN 13201 zur Bestimmung der Verkehrssicherungspflicht herangezogen werden muss, ist bislang nicht abschließend geklärt. Die Empfehlungen der DIN EN 13201 sollten jedoch vor dem Hintergrund der potenziell gefährdeten Rechtsgüter Leben, Körper und Gesundheit immer in Betracht gezogen werden.

In der Praxis werden die DIN-Vorgaben in den Kommunen und Gemeinden oft nicht eingehalten – was u.a. auf die veraltete und schlechte Substanz zurückzuführen ist. Darüber hinaus liegt es im Ermessen der Kommune, ob sie sich an die DIN-Norm hält oder die Sicherheit auf anderem Weg gewährleisten möchte. [13] In jedem Fall sollte eine Entscheidung gegen die Norm nur nach Prüfung durch einen unabhängigen und sachverständigen Dritten sowie mit einer ausreichenden Begründung für die Abweichung erfolgen.

Herabsetzen der Normwerte bei weißem Licht?

Außerdem stellen sich viele Städte und Gemeinden die Frage, ob der Einsatz von weißem Licht, also die Verwendung von Metaldampflampen oder LED-Leuchtmitteln, eine Herabsetzung der Normwerte rechtfertigt. Neueste Studien zeigen, dass diese Frage verneint werden muss. [14] Vor allem für die Objektidentifizierung sind die bisher vorgegebenen Leuchtdichten und Beleuchtungsstärken erforderlich.

DIN oder nicht DIN?
Alle Aspekte berücksichtigen und unabhängige, sachverständige Dritte einschalten.

3.2 Die DIN EN 13201: ein kurzer Überblick.

Die aktuelle DIN EN 13201 besteht aus fünf Teilen:

- Teil 1: Auswahl der Beleuchtungsklassen
- Teil 2: Gütemerkmale
- Teil 3: Berechnung der Gütemerkmale
- Teil 4: Messung der Gütemerkmale
- Teil 5: Energieeffizienzindikatoren (neu)

Der neue Teil 1 wird jeweils als nationale Norm erscheinen, da sich die europäischen Mitgliedsländer nicht abschließend auf einen gemeinsamen Teil verständigen konnten. Die Teile 2 bis 5 gelten dagegen in der gesamten EU.

Eine Intention der Norm ist es, für unterschiedliche Verkehrssituationen und somit unterschiedliche Sehaufgaben lichttechnische Gütemerkmale festzulegen. Diese Festlegungen sind Ergebnis langjähriger internationaler Forschung und Erfahrung. Zu den wesentlichen Gütemerkmalen zählen:

- Leuchtdichte oder Beleuchtungsstärke
- Gleichmäßigkeit oder Festlegung von Minimalwert und Mittelwert
- Blendungsbegrenzung
- Randbeleuchtungsstärkeverhältnis

Die normativ festgelegten Gütemerkmale werden durch die visuellen Bedürfnisse der unterschiedlichen Straßennutzer beeinflusst. Diese werden in Beleuchtungssituationen klassifiziert, in denen die wichtigsten Verkehrskriterien beschrieben sind. Entscheidend dafür sind Geschwindigkeit und Anzahl der Nutzer der zu beleuchtenden Flächen, da diese vor allem das Unfallrisiko beschreiben. Den Beleuchtungssituationen werden lichttechnische Beleuchtungsklassen zugeordnet. Die daraus resultierenden lichttechnischen Größen sind Wertungswerte und dürfen zu keiner Zeit unterschritten werden.

Zusätzlich werden im neuen Teil 5 der Norm Energieeffizienzindikatoren beschrieben, die aber nur informativen Charakter haben. Es wird ein Verfahren beschrieben, mit dem die Effizienz berechnet werden kann, es gibt aber keine Vorgaben oder Hinweise zur Anwendung dazu in den anderen Teilen der Norm. Es werden zwei Größen eingeführt, die stets gemeinsam verwendet werden sollten. Mit ihnen kann die Energiebilanz von Straßenbeleuchtungsanlagen aufgezeigt werden. Sie können dem Vergleich verschiedener Lösungsmöglichkeiten und Technologien für das gleiche Projekt dienen.

- Indikator der Leistungsdichte D_p , der die Anlagenleistung bezogen auf den zu beleuchtenden Oberflächenbereich und den berechneten mittleren Wertungswert der Beleuchtungsstärke beschreibt. D_p steht damit für die Anschlussleistung einer Anlage. Waren in den 80er-Jahren noch D_p -Werte von ca. 30 üblich, sind heute Werte um 10 möglich.
- Indikator des jährlichen Stromverbrauchs D_E , der die gesamte benötigte elektrische Energie einer Beleuchtungsanlage während eines Jahres bezogen auf die Gesamtfläche beschreibt. D_E berücksichtigt damit den jährlichen Energieverbrauch in Abhängigkeit von der Betriebszeit der Beleuchtungsanlage sowie dem Beleuchtungsniveau bzw. variablem Beleuchtungsniveau in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen.

Die Beleuchtungssituation beschreibt die wesentlichen Verkehrskriterien der Straße.

Die Beleuchtungsklasse definiert lichttechnische Anforderungen.

Auch die Anhänge des Teil 5 der DIN EN 13201 sind nur informativ. So veranschaulichen sie die Berechnung der oben genannten Indikatoren anhand von Beispielen und stellen alternative Bewertungsmaßstäbe wie Anlagenlichtausbeute bzw. Beleuchtungsfaktor vor.

3.3 Ökodesign-Richtlinie.

Die Ökodesign-Richtlinie [15] ist ein zentraler Baustein europäischer Klimaschutzpolitik. Sie trägt dazu bei, die Umweltbelastungen durch energieverbrauchende Produkte zu senken und CO₂-Einsparpotenziale zu erschließen.

Ökodesign bedeutet dabei die Festlegung klarer Energieeffizienz- und Umweltanforderungen an energieverbrauchsrelevante Produkte. Die Europäische Ökodesign-Richtlinie wurde durch das Energieverbrauchs-relevante-Produkte-Gesetz (EVPG) in der Fassung vom 25.11.2011 in deutsches Recht umgesetzt. Die eigentlichen Anforderungen an einzelne Produktgruppen werden in spezifischen Durchführungsmaßnahmen festgelegt, Ökodesignrichtlinie und EVPG bilden nur einen Rahmen zur Umsetzung dieser Vorschriften.

Beleuchtung: So viel Effizienz muss sein.

Von dieser Richtlinie betroffen ist auch die Beleuchtung, für die ein EU-weites Treibhausgas-Einsparpotenzial in Höhe von 20 Mio. t pro Jahr ermittelt wurde. [16] Ziel ist es, weniger effiziente Systeme zu verbannen und die Effizienz der Produkte insgesamt zu steigern.

Für den Beleuchtungsbereich (Straßen-, Büro- und Industriebeleuchtung) wurden im Rahmen von Durchführungsverordnungen [17], [18] Effizienzanforderungen zur Ökodesign-Richtlinie formuliert. Die EU-Kommission strebt an, die Verordnungen zur umweltgerechten Produktgestaltung der Beleuchtung zu einer einzigen Verordnung zusammenzufassen und dabei auch das Anforderungsniveau neu festzulegen. Es wird mit einer Wirkung ab September 2020 gerechnet, wann die EU-Kommission die Veröffentlichung vorsieht, ist noch nicht bekannt.

Der Geltungsbereich der neuen Verordnung zur umweltgerechten Gestaltung soll gegenüber den bestehenden oben genannten Verordnungen, um einen Teil der LED-Leuchten erweitert werden.

Der Geltungsbereich betrifft Lichtquellen – Lampen, Module und Leuchten – sowie Betriebsgeräte. Die Anforderungen verschärfen sich üblicherweise in zeitlich gestaffelten Stufen. Alle Stufen der aktuellen Verordnungen sind mittlerweile in Kraft getreten.

Neben den energetischen Anforderungen werden Mindestanforderungen an die Gebrauchseigenschaften sowie an die von den Herstellern zur Verfügung zu stellenden Produktinformationen festgelegt. Insgesamt kommt zu den klassischen Kriterien bei der Produktentwicklung wie z. B. Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Zuverlässigkeit die neue Anforderung Umweltverträglichkeit hinzu.

Ökodesign bei der Straßenbeleuchtung – mehr Energie- und Kosteneffizienz.

Neue Ökodesign-Anforderungen zur Beleuchtung 2020 erwartet

Die Regelungen gelten für Lampen, Module und Leuchten sowie Betriebsgeräte

Produkte, die die Anforderungen der Verordnung nicht erfüllen, dürfen nicht mehr in Verkehr gebracht werden.

Betroffene Produkte, welche die sich stufenweise verschärfenden Anforderungen der Verordnung nicht erfüllen, dürfen durch Hersteller und Importeure zum jeweiligen Stichtag im EU-Binnenmarkt nicht mehr in Verkehr gebracht werden.

Straßenbeleuchtung: Anforderungen der Richtlinie.

Die Effizienzanforderungen für Leuchtmittel sind als Mindestanforderungen für die Lichtausbeute (abhängig von der Wattage) sowie für die Lebensdauer und den Lichtstromabfall formuliert.

Anforderungen an Leuchtmittel.

Dies hat dazu geführt, dass in den letzten Jahren beispielsweise ineffiziente Leuchtstofflampen, ineffiziente Natriumdampf-Hochdruck- und Halogen-Metaldampflampen sowie alle Quecksilberdampf-Hochdrucklampen vom Markt ausgeschlossen wurden.

Anforderungen an LED-Lampen.

Auch für LED-Lampen und deren Treiber wurden im Rahmen einer gesonderten Durchführungsverordnung [18] Anforderungen formuliert. So müssen LED-Lampen u.a. nach 6000 h einen Lampenlebensdauerfaktor $> 0,9$ und einen Lichtstromerhalt $> 0,8$ und für den Einsatzbereich der Außen- und Straßenbeleuchtung eine Farbwiedergabe (R_a) $\geq 0,65$ einhalten.

Darüber hinaus gelten weitere Anforderungen an die Betriebseigenschaften sowie Produktinformationen für LED-Lampen. Diese beziehen sich bspw. darauf, ob eine LED-Lampe als gleichwertiger Ersatz für eine Leuchtstofflampe (ohne integriertes Vorschaltgerät) einer bestimmten Leistung beworben werden darf.

Anforderungen an Vorschalt- und Betriebsgeräte.

Die Effizienzanforderungen an Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen und Hochdruckentladungslampen sind als Vorgaben bezüglich eines maximalen Stromverbrauchs im Leerlauf (kein Licht wird abgestrahlt) sowie als Mindestwirkungsgrade in Abhängigkeit der Lampennennleistung formuliert. Bei Geräten, die für die Installation zwischen dem Netz und den Lampen ausgelegt sind, werden ebenfalls maximale Grenzwerte für die Leerlaufleistung definiert. Im Rahmen der letzten Stufe im April 2017 wurden die Anforderungen an den Mindestwirkungsgrad von Vorschaltgeräten derart verschärft, dass die meisten magnetischen Vorschaltgeräte vom Markt ausgeschlossen wurden.

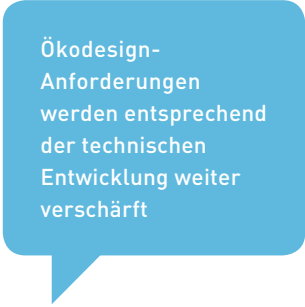
Anforderungen an Leuchten.

Bezüglich der Konstruktion von Leuchten wurden Anforderungen an die maximale Leistungsaufnahme im Leerlauf (Lampe gibt kein Licht ab) sowie die Kompatibilität mit hocheffizienten (elektronischen) Vorschaltgeräten definiert.

Auswirkungen der Ökodesign-Richtlinie.

Die Durchführungsverordnungen mit Bezug zur Straßenbeleuchtung haben wesentlichen Einfluss darauf, wie Anlagen neu gebaut oder modernisiert werden. Besonders ineffiziente Technologien sind vom Markt verschwunden.

Ein Rückgang des Stromverbrauchs sorgt für eine Verringerung der CO₂-Emissionen. Moderne Technologien versprechen durch die Verringerung der Gesamtausgaben für Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung zusätzlich eine verbesserte Wirtschaftlichkeit. Durch die Verordnungen wurden insbesondere der Einsatz innovativer Lichtquellen wie der LED forciert. Bei der Planung von neuen oder der Modernisierung von bestehenden Anlagen ist es wichtig, bereits heute die künftigen Anforderungen der Ökodesign-Richtlinie vorausschauend zu berücksichtigen. Derzeit liegen Entwürfe für neue Ökodesign-Regelungen zur Beleuchtung vor, eine Veröffentlichung wird aber erst für Anfang 2019 erwartet. [19]



Ökodesign-
Anforderungen
werden entsprechend
der technischen
Entwicklung weiter
verschärft

Quellen:

- [1] PwC/WIBERA: Straßenbeleuchtung – eine kommunale Aufgabe im Wandel. Umfrage unter Kommunen zu den aktuellen Herausforderungen der öffentlichen Beleuchtung, 2010.
- [2] Prognos AG: Potenziale für Energieeinsparung und Energieeffizienz im Lichte aktueller Preisentwicklungen.
- [3] Prognos AG: Studie „Möglichkeiten des Einsatzes weißer LED“, www.prognos.com
- [4] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Umfrage zum Zustand der Straßenbeleuchtung in deutschen Kommunen und Hemmnissen bei der Modernisierung, 2012.
- [5] Deutscher Städte- und Gemeindebund (DStGB), 2014.
- [6] Befragung einer sächsischen Kommune mit ca. 3000 Lichtpunkten.
- [7] Eckert, M.; Meseberg, H.-H. (1998), LiTG „Straßenbeleuchtung und Sicherheit“ (ISBN 978-3-927787-16-2) Publikation 17, 1998.
- [8] NABU: Naturverträgliche Stadtbeleuchtung.
<http://www.nabu.de/aktionenundprojekte/stadtbeleuchtung/fachinformationen/>
- [9] Peter Huemer et al. (2010); Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten. Ergebnisse einer Feldstudie in Tirol, 2010.
- [10] Van Tichelen et al. Final Report. Study for the European Commission DG TREN unit D3, Januar 2007. Lot 9: Public street lighting.
- [11] Reintjes; Spengler (2013), PROSA Straßenbeleuchtung. Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen, 2013.
- [12] Navigant Consulting, Inc. (2012); Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products. Part I: Review of the Life-Cycle Energy Consumption of Incandescent, Compact Fluorescent, and LED Lamps, 2012.
- [13] OLG Celle 1995, NJW – RR 1995, 984.
- [14] Tran Quoc Khanh, Bodrogi (2014); Mesopische Forschung. Grundlagen und neue Ergebnisse, Teil 2. In: LICHT 5/2014, S. 64 – 68.
- [15] Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte.
- [16] Entwurf der EU-Kommission für eine Regelung mit Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lichtquellen, Stand 13. November 2017.
- [17] – Verordnung (EG) Nr. 244/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht. (konsolidiert);
– Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb und zur Aufhebung der Richtlinie 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates;
– Verordnung (EU) Nr. 1194/2012 der Kommission vom 12. Dezember 2012 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lampen mit gebündeltem Licht, LED-Lampen und dazugehörigen Geräten;
– Verordnung (EU) 2015/1428 der Kommission vom 25. August 2015 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 244/2009 der Kommission im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht und der Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb und zur Aufhebung der Richtlinie 2000/55/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates und der Verordnung (EU) Nr. 1194/2012 der Kommission im Hinblick auf die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lampen mit gebündeltem Licht, LED-Lampen und dazugehörigen Geräten.

Quellen:

- [18] Verordnung (EU) Nr. 1194/2012 der Kommission vom 12. Dezember 2012 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lampen mit gebündeltem Licht, LED-Lampen und dazugehörigen Geräten.
- [19] Umweltbundesamt (2017): Hintergrundtext: Schritte auf dem Weg zu neuen EU-Verordnungen für Beleuchtungsprodukte, Stand 18. Dezember 2017, <http://www.eup-network.de/de/eup-netzwerk-deutschland/offenes-forum-eu-regelungen-beleuchtung/dokumente/texte/>

1. Bestandserfassung.

Die Bestandserfassung: Entscheidungsgrundlage für alle Maßnahmen.

Eine aussagekräftige Datenbasis über den aktuellen Bestand an Beleuchtungsanlagen ist Grundvoraussetzung für zielgerichtete Verbesserungen bei der öffentlichen Straßenbeleuchtung und deren effizienter Betriebsführung.

An erster Stelle erfolgt – soweit noch nicht vorhanden – die Erfassung des derzeitigen Bestands. Dies schließt auch die Aufstellung des Werts der Anlage ein. Denn erst auf dieser Grundlage sind Prognosen möglich, wie viel pro Jahr investiert werden muss, um die Anlage auf dem vorhandenen Niveau zu erhalten. Gleichzeitig fußt jede Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf einer möglichst detaillierten Aufnahme des Istzustands.

Nur so lassen sich Einsparpotenziale erkennen und Bereiche lokalisieren, in denen Modernisierungs- bzw. Umrüstungsmaßnahmen zu besonders hohen Einsparungen führen.

Ökologie und Wirtschaftlichkeit zählen.

Die Modernisierungsplanung muss auch wirtschaftlichen Kriterien Rechnung tragen und sollte daher nicht allein auf Basis des Anlagenalters und -zustands erfolgen. So ist es in der Regel wirtschaftlich nicht sinnvoll, Leuchten mit einer Restnutzungsdauer von sechs Jahren und mehr vorzeitig zu ersetzen.

Nicht zuletzt werden nach erfolgter Sanierung eine Evaluierung der Maßnahmen und der Vergleich mit anderen Kommunen ähnlicher Struktur möglich.

Einen ersten groben Überblick über den Sanierungsbedarf Ihrer Straßenbeleuchtung erhalten Sie mit Hilfe des Kurzchecks im Anhang. An die Bestandserfassung schließen sich die Wertanalyse und die Analyse der Betriebsführung an.

Bestands- und Wertanalyse sind Grundlage aller Maßnahmen.



Kurzcheck
Sanierungsbedarf
siehe Anhang

1.1. Schritte der Bestandserfassung.

Die Datenaufnahme vor Ort ist zeitintensiv. Daher sollten zunächst alle bereits vorhandenen Informationen zum Bestand (z. B. aus Rechnungen) zusammengetragen werden. Meist ist es sinnvoll, Abteilungen oder Dienstleister aus den Bereichen Energielieferung, Wartung und Instandsetzung bei der Erfassung einzubinden.

Erfassung technischer und standortbezogener Daten.

Um eine möglichst vollständige Dokumentation zu erhalten, sollten alle wesentlichen standortbezogenen und technischen Daten der einzelnen Lichtpunkte erfasst werden. Hierzu zählen:

Standort der Lichtpunkte

- Stadtteil
- Straße (vor Hausnummer X)
- GNSS/GPS-Daten (optional)

Komponenten der Lichtpunkte

- Tragsystem (Mast/Ausleger)
- Leuchte
- Leuchtmittel/Lampe
- Zubehör

Versorgung der Lichtpunkte

- Schaltstellen/-schränke
- Kabel
- Rohre/Kanäle

Für eine exakte Bestandserfassung ist eine Aufstellung sämtlicher Komponenten mit Informationen zu Anzahl, Errichtungszeitpunkt und -kosten notwendig. Dabei unterscheiden sich einzelne Lichtpunkte oft erheblich: Es gibt Masten mit mehreren Auslegern, Ausleger mit mehreren Leuchten und Leuchten mit mehreren Lampen. Um zu korrekten Ergebnissen zu kommen, müssen alle Details eines jeden Lichtpunkts in die Bestandsaufnahme einfließen.

Eine konkrete Hilfestellung gibt Ihnen die Checkliste zur Bestandserfassung im Anhang. Das Erfassungsschema ist in drei Stufen unterteilt: Grunddaten, erweiterte Daten und Zusatzdaten. Praktische Tipps zur Bestandserfassung erhalten Sie im nachfolgenden Kapitel.

Erst die exakte Bestandsaufnahme aller Lichtpunkte ermöglicht differenzierte Aussagen zum Bestand. Nur so wird bspw. ersichtlich, wie viele unterschiedliche Masten- und Leuchtentypen im Einsatz sind.

Als mittel- bis langfristiges Ziel sollte bei großer Typenvielfalt der Bestand vereinheitlicht werden. So lassen sich Kosten für Logistik, Verwaltung und Ersatzteile senken. Auch eine Reduktion der Anschaffungskosten durch Mengenrabatte ist möglich. Streben Sie daher immer eine Typenminimierung an.



Checkliste Bestandserfassung
siehe Anhang

Bestandserfassung ist die vollständige Dokumentation aller Lichtpunkte.

Ein möglichst einheitlicher Bestand hilft Kosten sparen.

Bestand an Leuchtmitteln.

Der Energieverbrauch hängt wesentlich vom verwendeten Leuchtmittel ab. An der Leuchtmittelstruktur lässt sich erkennen, ob und in welchem Umfang noch veraltete bzw. ineffiziente Lampen verwendet werden. In der Regel liegen diese Informationen dem Betreiber der Beleuchtungsanlage vor. Denn der Austausch von Leuchtmitteln erfolgt im Rahmen der Betriebsführung.

Struktur der Leuchtmittel – Deutschland und Sachsen.

In Deutschland sind Natriumdampf-Hochdrucklampen mit einem Anteil von fast 40 Prozent das meistgenutzte Leuchtmittel. Es folgen Quecksilberdampf-Hochdrucklampen mit 34 Prozent. Der Anteil der Leuchtstofflampen und Kompaktleuchtstofflampen liegt bei 18 Prozent. Metallampflampen spielen mit sieben Prozent nur eine untergeordnete Rolle. Das Schlusslicht bilden die LED-Leuchtmittel mit einem Anteil von bislang nur zwei Prozent. [1]

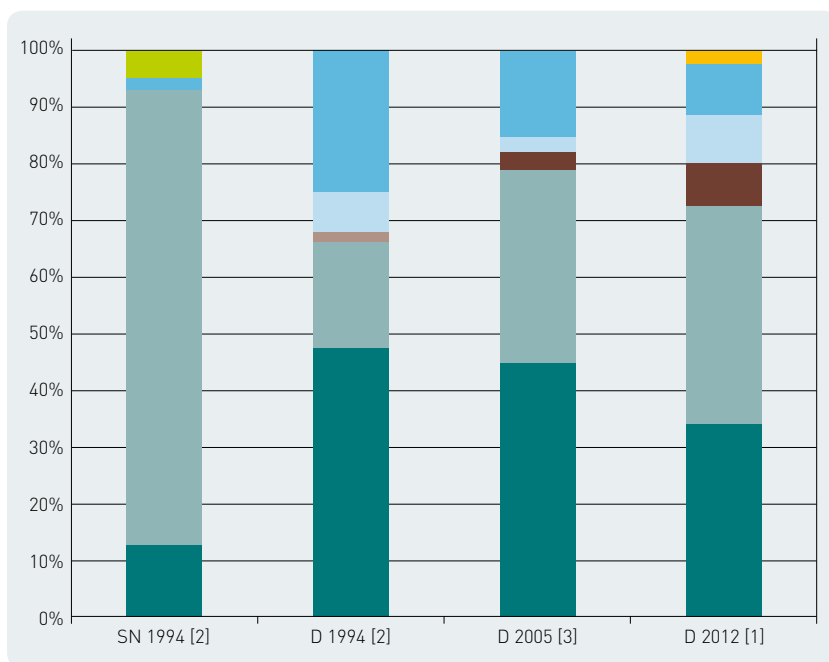


Abb. 01. Struktur der eingesetzten Leuchtmittel im historischen Verlauf.

- Sonstige
- LED
- Leuchtstofflampen
- Kompaktleuchtstofflampen
- Halogenmetallampflampen
- Natriumdampf-Niederdrucklampen
- Natriumdampf-Hochdrucklampen
- Quecksilberdampf-Hochdrucklampen

Ganz anders sieht die Ausgangslage in Sachsen aus [2]: Bereits 1994 lag der Anteil der Quecksilberdampf-Hochdrucklampen bei nur noch 12 Prozent und demgegenüber der Anteil der Natriumdampf-Hochdrucklampen bei 82 Prozent.

Erfassung energieverbrauchsrelevanter Daten.

Ausgehend von den Bestandsdaten lassen sich energieverbrauchsrelevante Daten ableiten. Hierfür sind beispielsweise Angaben zum Betrieb der jeweiligen Lichtpunkte erforderlich. Das folgende Schema enthält die notwendigen Parameter:

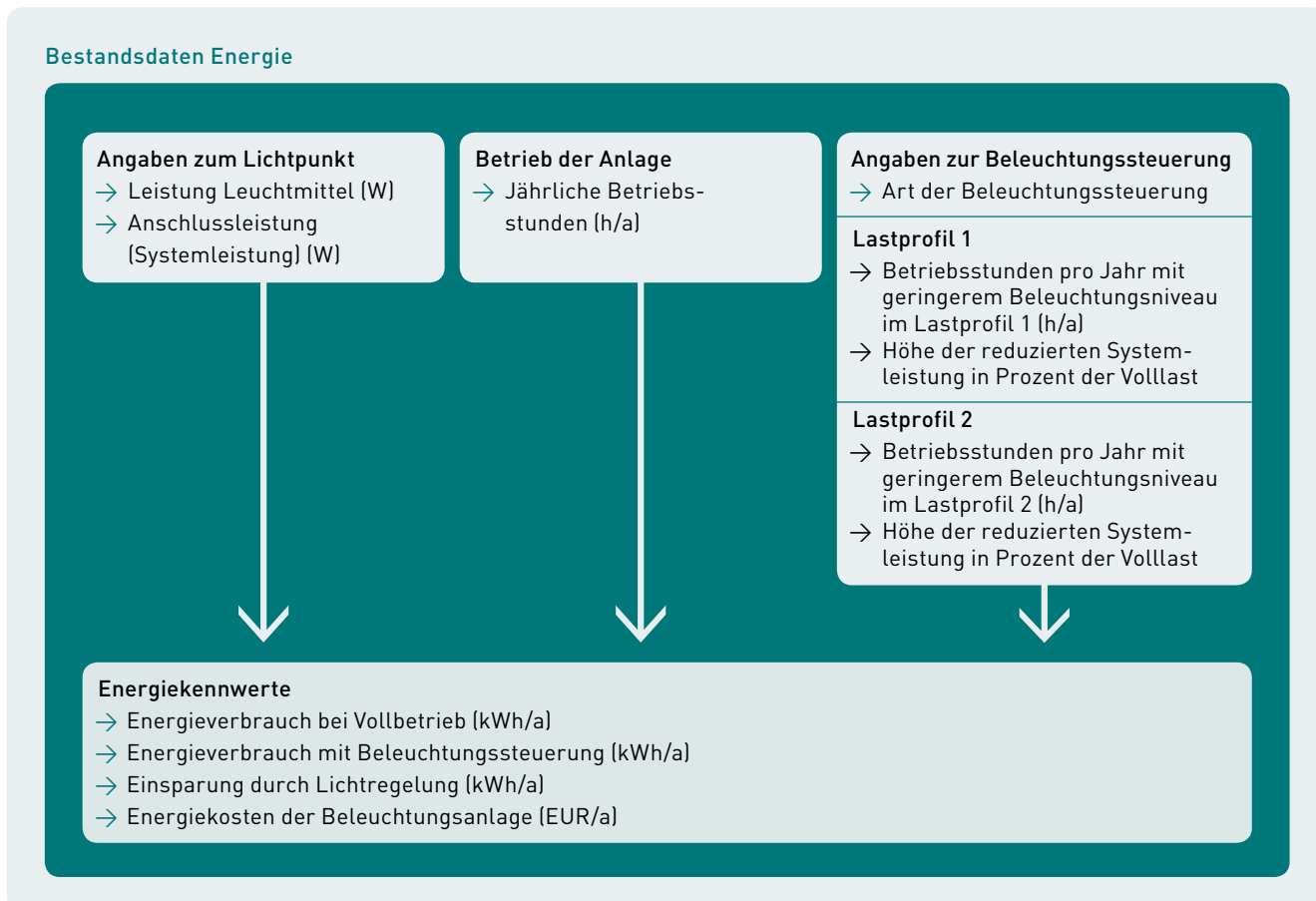


Abb. 02. Energieverbrauchsrelevante Bestands- und Betriebsführungsdaten.

Vor-Ort-Begehung von Anlagen zur Bestandserfassung.

Liegen keine oder nur unvollständige Daten zum Beleuchtungsbestand vor, so müssen Struktur und Zustand der Lichtpunkte ergänzend durch eine Vor-Ort-Begehung dokumentiert werden. Diese kann durch eigenes, fachlich entsprechend qualifiziertes Personal oder durch spezialisierte Dienstleister durchgeführt werden.

Verwaltung von Bestandsdaten.

Ist die Anzahl der Datensätze übersichtlich und von geringem Detaillierungsgrad, kann zu ihrer Verwaltung eine Tabellenkalkulationssoftware ausreichen. Im Anhang finden Sie eine einfache Excel-Vorlage von der Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur (THEGA), die an die individuellen Erfordernisse der Kommune angepasst werden kann. Bei größeren Datenbeständen oder hohem Detaillierungsgrad der Informationen empfiehlt sich die Verwendung von Geoinformationssystemen (GIS) mit entsprechenden Fachschalen, also anwendungsbezogenen, eigenständigen Modulen innerhalb des GIS, oder speziell auf die Straßenbeleuchtung zugeschnittenen Datenbanklösungen.

 Vorlage
Musterliste
siehe Anhang

Bei großen Datenbeständen ist der Einsatz von Datenbanken oder Geoinformationssystemen sinnvoll.

1.2 Praktische Tipps zur Bestandserfassung.

Bei der Bestandserfassung spielen viele verschiedene Komponenten eine Rolle. Zur praktischen Umsetzung der Bestandserfassung finden Sie im Folgenden hilfreiche Tipps zu den jeweiligen Aspekten.

Leuchtentyp.

In der Praxis sind oftmals keine Informationen zum eingesetzten Leuchtentyp vorhanden. Hier können alte Herstellerkataloge oder spezialisierte Internetseiten (z. B. www.ddr-strassenleuchten.de) weiterhelfen.

Scheitert die Typermittlung dennoch, sollte die Leuchte in einem eigenen System klassifiziert und mit allen charakteristischen Details fotografiert werden. Auch die geometrische Form und Besonderheiten sollten erfasst werden. Dies erleichtert den späteren Austausch durch einen ähnlichen Typ (z. B. Aufsatzleuchte in Kegelform mit strukturiertem Glas).

Systemleistung einer Leuchte.

Die Systemleistung lässt sich durch Strommessung am Kabelübergangskasten ermitteln. Alternativ kann die Leuchte geöffnet und die Leistung direkt abgelesen werden. Hierbei muss – in Abhängigkeit vom verbauten Vorschaltgerät – ein Zuschlag erhoben werden, um die Systemleistung zu ermitteln. Zum Ablesen der Daten an der Leuchte ist ein Steiger erforderlich.

Lichtpunkthöhe.

Mit Hilfe von Lasermessgeräten lassen sich Lichtpunkthöhen genau ermitteln. Das Gerät muss jedoch mit einem integrierten digitalen Zielsucher und Zoom ausgestattet sein. Nur dann sind exakte Messungen auch bei hellen Lichtverhältnissen möglich.

Verortung der Lichtpunkte.

Zur Erstellung eines fundierten Straßenbeleuchtungskatasters sind exakte Positionsdaten notwendig. Erfasst werden sollten u. a. die Lage bzw. der Standort von Lichtpunkten, Schaltstellen, Kabeln, Rohren (auch Leerrohren), Schächten sowie ggf. von Muffen. Die Lagebestimmung lässt sich mittels Globaler Navigationssatellitensysteme zur Positionsbestimmung (GNSS), wie z. B. GPS (Global Positioning System), realisieren. Die Technik gilt als alltagstauglich.

Erfassungsgeräte sind von mehreren Herstellern verfügbar. Die Messgenauigkeit sollte im cm-Bereich liegen. Dies ist speziell bei der Erfassung von Kabeln wichtig. Die Anschaffungskosten der Geräte liegen zwischen 8.000 und 20.000 €. Zur Positionsbestimmung bereits verlegter Kabel wird zusätzlich ein Kabelortungsgerät benötigt. Bei kleinen Beleuchtungsbeständen sind die Kosten für Ausrüstung und Einarbeitung meist nicht wirtschaftlich. Hier sollte ein spezialisierter Dienstleister die Erfassungsarbeiten übernehmen.

Die erfassten Lage- und Standortdaten werden in ein geeignetes System, z. B. das GIS, überführt und können zum Wartungs- und Störungsmanagement sowie bei zukünftigen Anfragen zur Trassenlage im Zuge von Baumaßnahmen verwendet werden.

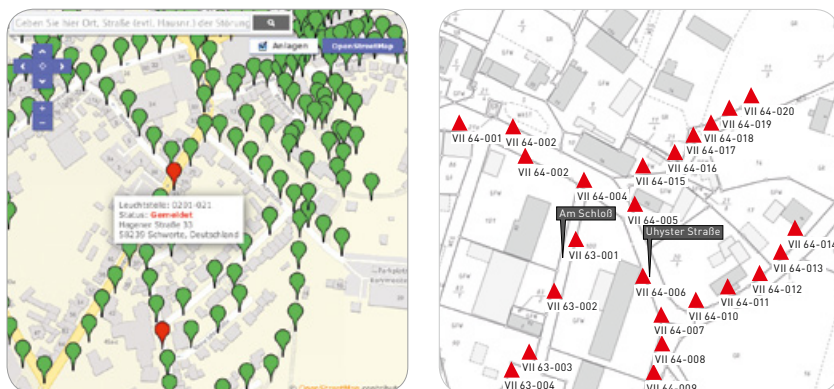


Abb. 03. GIS-Informationen gekoppelt mit einem Störungsdienst zur Straßenbeleuchtung, Screenshot: stoerung24.de, Störungsportal für Straßenbeleuchtung. Beispiel: Stadt Schwerdt. [4]

Abb. 04. Digitale Liegenschaftskarte mit Standorten der Straßenbeleuchtung. Eigene Ergänzung mit Layer Straßenbeleuchtung in Anlehnung an. [5]

Videobefahrung.

Moderne Erfassungsverfahren kombinieren eine Vielzahl von Parametern. Hierzu zählt die digitale Videoerfassung des Straßenraums – eine Kombination aus Stereobildbefahrung, Laserscan und Begehung der Umgebung. Mit ihr kann die gesamte Straßeninfrastruktur zentimetergenau visualisiert werden. Neben Art und Lage der Objekte lässt sich auch deren Zustand erfassen. In der Regel lohnt sich dieses aufwändige Verfahren nur bei gleichzeitiger Erfassung weiterer Objekte wie Straßen und Wege, Straßenbäume, Lichtsignalanlagen und Verkehrsschilder.

Standsicherheit von Masten.

Neben einer regelmäßigen Wartung und Instandhaltung der Leuchten muss auch die Standsicherheit der Masten gewährleistet sein. Deshalb werden Masten meist, jedoch nicht zwingend, am Ende der betriebsüblichen Nutzungsdauer ersetzt. Mit einer Standsicherheitsprüfung lässt sich herausfinden, welche Masten tatsächlich ersetzt werden müssen.

Derartige Prüfungen werden durch spezialisierte Dienstleister angeboten. Gebräuchliche Prüfverfahren sind Mastbiegeverfahren sowie Ultraschall- oder Eigenfrequenzmessung. Die Anbieter geben unterschiedliche Garantien, die im Minimum bei fünf Jahren liegen. Die Prüfprotokolle sollten im Beleuchtungskataster hinterlegt werden.

Zustand der elektrischen Anlagen.

Die Elektrothermografie ist ein Verfahren zur Zustandsbeurteilung von Elektroanlagen und ermöglicht eine Früherkennung von Schwachstellen. Mit der Messtechnik lässt sich der Zustand elektrischer Anlagen, z. B. in Schaltkästen, unter Last und in allen Spannungsebenen prüfen.

Durch eine periodische Messung können Veränderungen schnell erfasst und defekte Bauteile erneuert werden, bevor ein Schaden eintritt. Die Protokolle der Messungen sollten ebenfalls im Beleuchtungskataster hinterlegt werden. Wiederholungsmessungen ermöglichen einen Vergleich. Veränderungen können auf diese Weise schnell erkannt werden.

2. Wertanalyse der Beleuchtungsanlage.

2.1 Die wichtigsten Größen bei der Wertermittlung.

Ziel der Wertanalyse ist es, zu einer sachgerechten, nachvollziehbaren monetären Bewertung des Anlagenbestands zum gegenwärtigen Zeitpunkt zu gelangen. Der Fokus wird klar auf zukünftig notwendige Investitionen und Maßnahmen gelegt, nicht auf eine bilanziell korrekte Bewertung des Anlagenvermögens (nach Doppik).

Durch die wertmäßige Analyse des erfassten Anlagenbestands sind folgende Aussagen möglich:

1. notwendige Investitionskosten pro Jahr zur Bestandserhaltung auf dem derzeitigen Niveau oder darüber hinaus,
2. Vorausschau, in welchen Jahren besonders viele Erneuerungen notwendig werden,
3. bereits bestehender Investitionsstau oder
4. Gesamtwert der Beleuchtungsanlage als Grundlage für Ausschreibungen bei Eigentümer- oder Betreiberwechsel sowie als Grundlage eines späteren Contracting-Vertrags.

Die wichtigsten Größen für eine Wertanalyse sind:

- die Anschaffungs- und Herstellungskosten (AHK)
- der Tagesneuwert (TNW)
- die betriebsübliche Nutzungsdauer (BND)
- die Restnutzungsdauer (RND)
- der Sachzeitwert (SZW)
- die jährlichen Abschreibungen bzw. der Werteverzehr (WVZ)

Die Berechnungsgrundlagen für die wichtigsten Größen der Wertanalyse:

Restnutzungsdauer (RND)

$$RND = BND - (\text{Jahr}_{\text{aktuell}} - \text{Jahr}_{\text{Errichtung}}) \text{ mit } RND \geq 0$$

Zur Bestimmung des Wertes einer Beleuchtungsanlage sind verschiedene Verfahren denkbar. Kalkulatorischer Restwert und Sachzeitwert werden im Folgenden kurz dargestellt.

Parameter der Wertermittlung sind Alter, Zustand und Ausstattung der Anlagen.

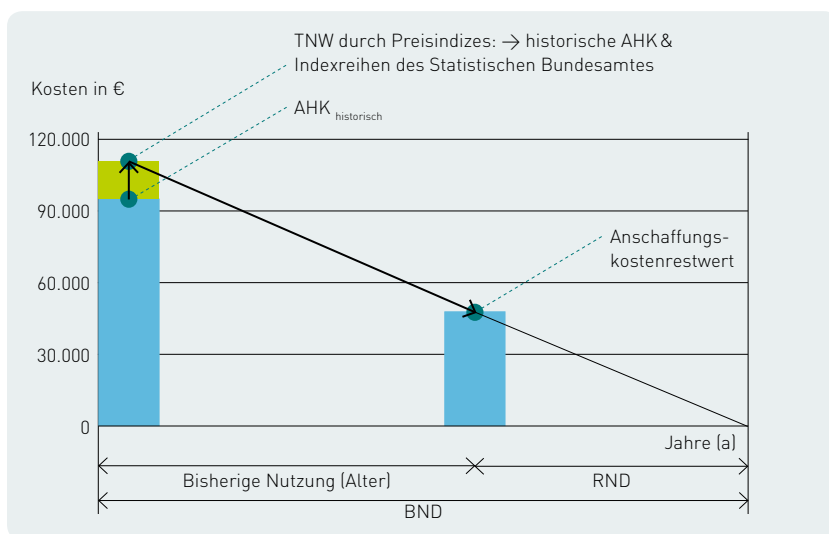
Abschreibungen: Der durch Wertminderung verursachte Aufwand bei Vermögensgegenständen.

2.2 Kalkulatorischer Restwert.

Grundlage dieses Verfahrens sind die historischen Anschaffungs- und Herstellungskosten (AHK) der Beleuchtungsanlage. Unter Anwendung von Preisindizes werden daraus näherungsweise Wiederbeschaffungskosten berechnet. Davon sind die Abschreibungen abzuziehen.

Anschaffungskostenrestwert

$$\text{Restwert} = \text{AHK} \cdot \frac{\text{Preisindex}_{\text{aktuell}}}{\text{Preisindex}_{\text{Errichtung}}} \cdot \frac{\text{RND}}{\text{BND}}$$



Der Anschaffungskostenrestwert ist: Anschaffungs- und Herstellungskosten abzüglich der Abschreibungen.

Der Anschaffungskostenrestwert kann mithilfe von Preisindizes dem jeweiligen Tageswert angenähert werden.

Abb. 05. Schematische Darstellung des Verfahrens kalkulatorischer Restwert.

Bei der Anwendung dieses Verfahrens ist zu berücksichtigen, dass im kommunalen Bereich oftmals die ursprünglichen AHK schwer ermittelbar bzw. unbekannt sind. Darüber hinaus ist ungewiss, ob unter aktuellen Marktgegebenheiten die hochgerechneten Anschaffungs- und Herstellungskosten ausreichend wären und ob ein gleichwertiger Ersatz überhaupt sinnvoll ist. Zu berücksichtigen ist, dass bei einem Ersatzneubau oder Rückbau zusätzlich Demontage- und Entsorgungskosten anfallen, bei einem reinen Neubau (Erweiterung der Gesamtanlage) hingegen nicht.

Einzelbewertung oder Festwertverfahren?

In vielen Kommunen liegt der Gesamtwert der Beleuchtungsanlage aus der Eröffnungsbilanz nach Doppik vor. Einige haben sich hierzu des Festwertverfahrens bedient. [6]

Um dies als Grundlage für die Bestimmung des kalkulatorischen Restwerts heranzuziehen, müssen für die einzelnen Komponenten der Lichtanlage (Tragsysteme, Leuchten, Schaltstellen und Kabelanlage) jeweils eigene Festwerte auf Basis der jeweiligen Anschaffungs- und Herstellungskosten vorliegen. [7]

Die Nutzung eines Festwerts ist darüber hinaus nur sinnvoll, wenn der Bestand eine homogene Altersstruktur aufweist oder wiederum nach unterschiedlicher BND differenziert wurde. Es gilt: Eine Substanzwertermittlung auf Basis der einzelnen Lichtpunkte und deren Komponenten ist dem Festwertverfahren vorzuziehen. Aufgrund der genaueren Erfassung stehen so auch detailliertere Informationen zur Beleuchtungsanlage zur Verfügung.

2.3 Sachzeitwert.

Beim Sachzeitwertverfahren ist der Tagesneuwert (TNW) – bzw. der zum heutigen Zeitpunkt ermittelte Wiederbeschaffungsneuwert – die Grundlage der Bewertung. Der Sachzeitwert der Anlage ergibt sich aus dem Tagesneuwert unter Berücksichtigung der Restnutzungsdauer und der betriebsüblichen Nutzungsdauer.

Schematische Darstellung des Verfahrens Sachzeitwert:

In der Regel liefert der Sachzeitwert ein höheres Ergebnis als der kalkulatorische Restwert.

Sachzeitwert (SZW)

$$\text{SZW} = \text{TNW} \cdot \frac{\text{RND}}{\text{BND}}$$

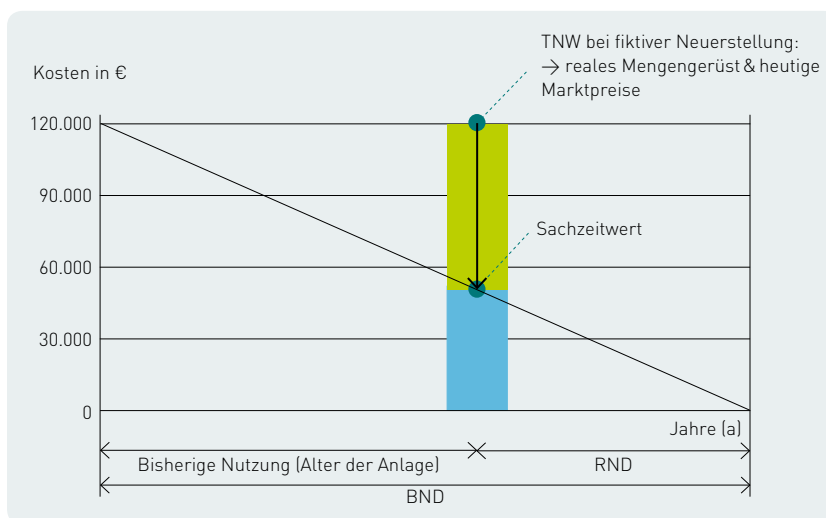


Abb. 06. Schematische Darstellung des Verfahrens Sachzeitwert.

Grundsätzlich lässt die Ermittlung eines TNW einigen Spielraum in Bezug auf die zu treffenden Annahmen:

- Die Erstellung einer Anlage in einem Zug wird unterstellt. Da dies in der Praxis oft nicht möglich ist, sind höhere tatsächliche Kosten die Folge.
- Möglicherweise ist die derzeit eingesetzte Technik veraltet und nicht gleichwertig ersetzbar bzw. wäre dies überhaupt nicht sinnvoll. Neue Materialien und Technologien können ggf. teurer sein.
- Angebotspreise variieren je nach örtlicher Wettbewerbssituation stark.
- Strittig ist, inwieweit Anhaltewerte berücksichtigt werden sollten. Die Höhe von Anhaltewerten bewegt sich meist in einer Spanne von zwei bis fünf Prozent.
- Die Bewertung des notwendigen Tiefbaus ist variabel: Ist eine Alleinverlegung anzusetzen oder nur anteilige Kosten, da die Beleuchtungskabel i. d. R. mit den Leitungen weiterer Medienträger gemeinsam in einem Graben verlegt werden.

Der Sachzeitwert gibt die Kosten für die Neubeschaffung einer Lichtanlage zum heutigen Zeitpunkt an.

2.4 Berücksichtigung des tatsächlichen Erhaltungszustands.

Für die einzelnen Komponenten einer Beleuchtungsanlage können erfahrungsgemäß unterschiedliche betriebsübliche Nutzungsdauern (BND) angesetzt werden:

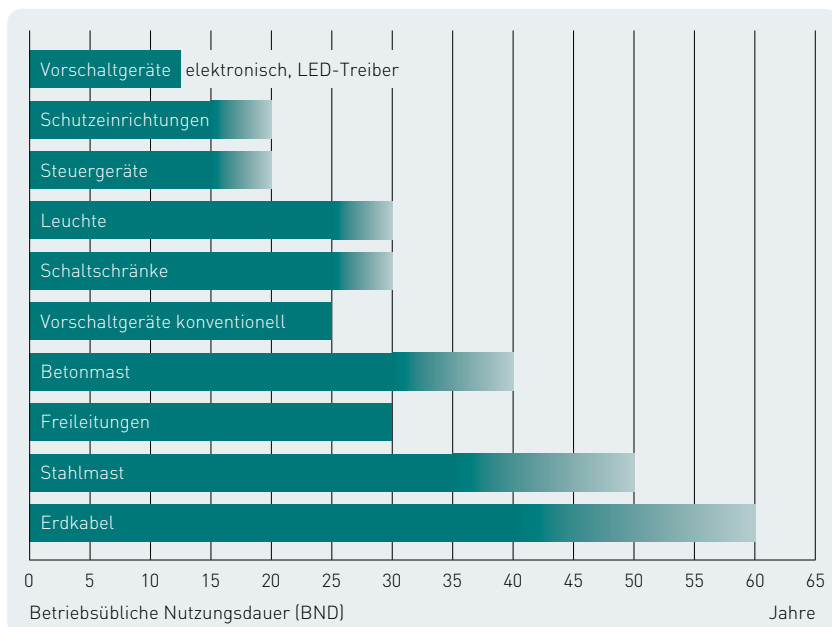


Abb. 07. Erfahrungswerte für die unterschiedliche betriebsübliche Nutzungsdauer von Anlagenteilen.

Oftmals ist es wünschenswert, den Erhaltungszustand über das rein buchhalterische Verhältnis der Restnutzungsdauer zur betriebsüblichen Nutzungsdauer hinaus einfließen zu lassen. Eine Lösung ist die Einführung einer modifizierten Restnutzungsdauer. Je nach Erhaltungsgrad wird ein Zu- oder Abschlag vorgenommen. In gleichen Verhältnissen ändert sich entsprechend der Wert für die Komponenten der Beleuchtungsanlage.

Nachfolgendes Beispiel dient als Anregung und kann individuell angepasst werden.

Beispiel: Modifizierte RND					
RND/BND (%)	Erhaltungsgrad (Note 1 = sehr gut, Note 5 = sehr schlecht)				
	5	4	3	2	1
Zu- bzw. Abschlag (%)					
0			5	10	15
20			3	5	10
40	0				5
60	-10	-5			
80	-15	-10			

Modifizierte RND

$$\text{Modifizierte RND} = \text{RND} + \text{Zu- bzw. Abschlag} \cdot \text{BND}$$

2.5 Abschätzung von Investitionsbedarf und Investitionsstau.

Grundsätzlich bedeutet der jährliche Werteverzehr einen zukünftigen Ersatzinvestitionsbedarf, um die Beleuchtungsanlage auf dem Stand der Zeit zu erhalten bzw. am Ende ihrer Lebensdauer zu ersetzen.

Aus der Bestandserfassung ist ableitbar, wann und wie viele einzelne Komponenten oder Lichtpunkte in Zukunft ersetzt werden müssen. Diese Informationen legen den zu erwartenden Investitionsbedarf offen.

Investitionsstau im Blick – der Lebensbaum einer Beleuchtungsanlage.

Zu einem Investitionsstau kommt es, wenn durch nicht rechtzeitig getätigte Investitionen die vorhandene Infrastruktur nicht mehr den aktuellen Anforderungen entspricht.

Am sogenannten Lebensbaum der Beleuchtungsanlage lässt sich ablesen, ob es im Bestand überalterte Lichtpunkte bzw. Schaltstellen gibt. Falls ja, deutet dies auf einen Investitionsstau hin. Die zur Beseitigung erforderlichen Ersatzinvestitionen entsprechen dem monetären Wert des Investitionsstaus. Die Situation verschärft sich beim Aufschieben notwendiger Maßnahmen von Jahr zu Jahr. Darüber hinaus werden Energieeinsparungen aus dem Einsatz moderner, effizienter Technologien nicht realisiert.

Die Auswertung der Errichtungszeitpunkte der Lichtpunkte und Schaltstellen ergibt den Lebensbaum der Anlage.

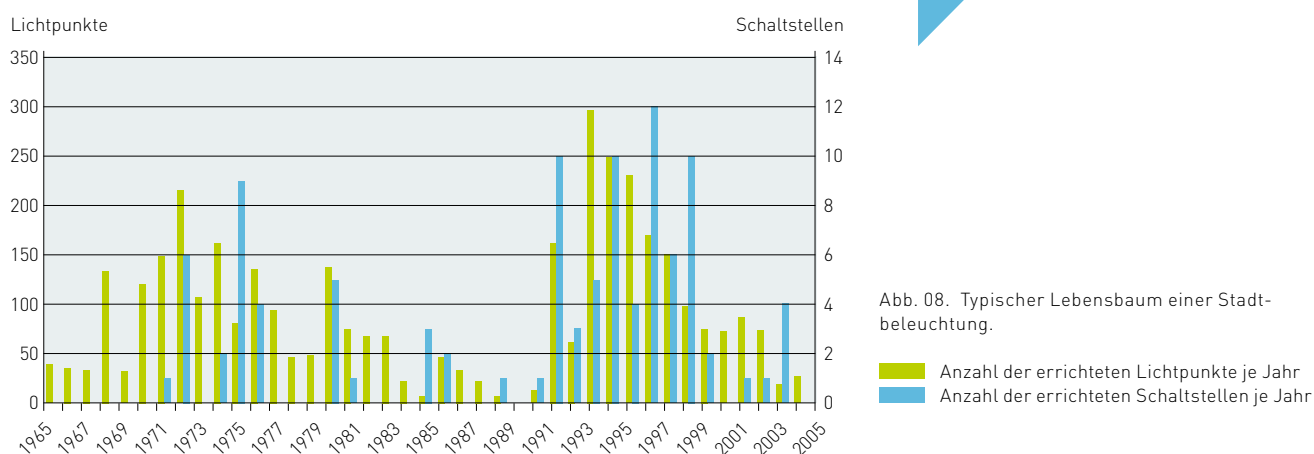


Abb. 08. Typischer Lebensbaum einer Stadtbeleuchtung.

■ Anzahl der errichteten Lichtpunkte je Jahr
 ■ Anzahl der errichteten Schaltstellen je Jahr

Für Sachsen typisch ist oftmals ein Maximum der Errichtungszeitpunkte Mitte der 1990er Jahre. Somit steht mittelfristig in vielen sächsischen Kommunen ein Ersatz des Bestands an.

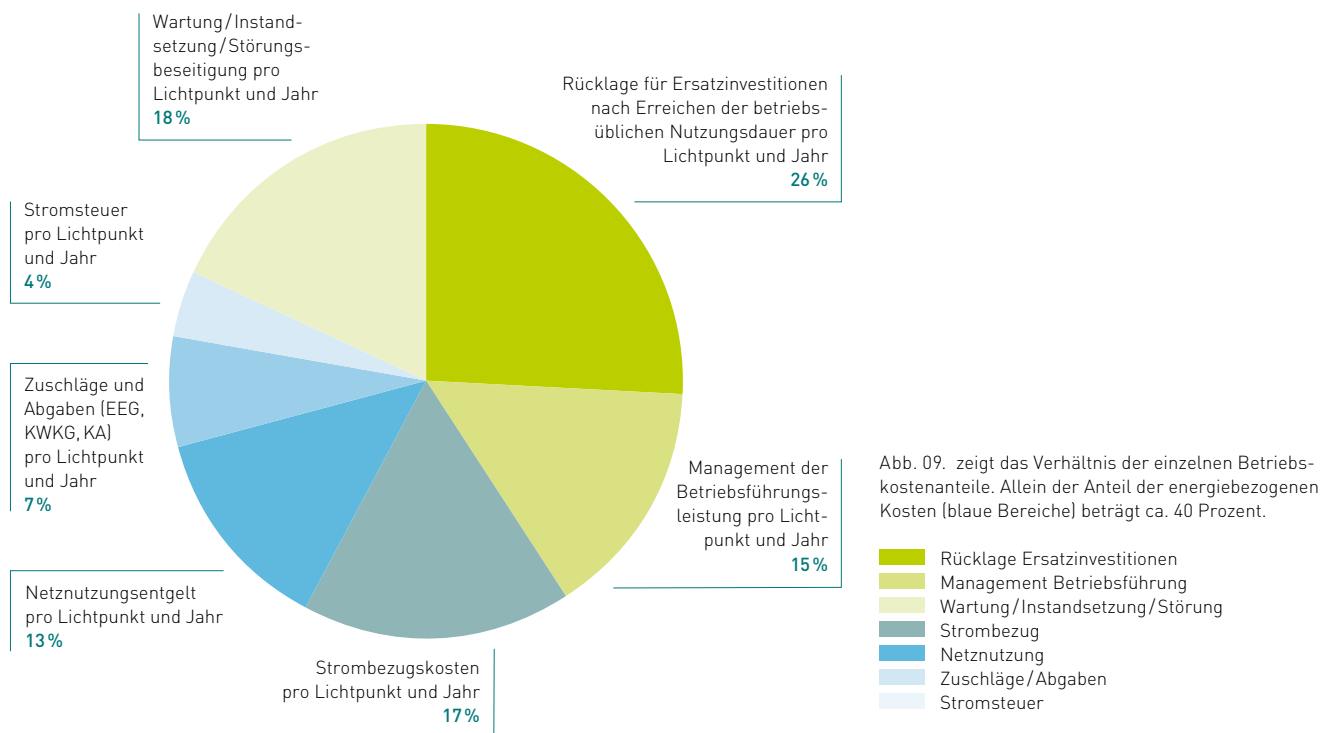
3. Betriebsführung der Beleuchtung.

3.1 Betriebsführung: Die laufenden Kosten im Fokus.

An die Bestands- und Wertanalyse schließt sich als dritte Säule die genaue Betrachtung des Betriebs, der Wartung sowie der Instandhaltung an. Darunter werden alle Maßnahmen verstanden, welche die Betriebsbereitschaft der Anlagen gewährleisten (z. B. Management, Leuchtmittel- und Vorschaltgerätewechsel, Beseitigung von allgemeinen Störungen und Kabel Fehlern). Eine besondere Herausforderung stellen hier auch die Neuerungen in der Steuer- und Regeltechnik dar.

Die Analyse von Betrieb, Wartung und Instandhaltung muss auch die laufenden Kosten im Blick haben.

In der folgenden Abbildung werden die Kostenblöcke des Betriebs der Straßenbeleuchtung differenziert. Neben dem energieverbrauchsbezogenen Anteil von ca. 40 Prozent (blaue Bereiche) schlagen die Kosten für Betrieb, Wartung und Instandhaltung mit ca. 33 Prozent zu Buche. Die Kostenblöcke variieren in Abhängigkeit vom Modell der Betriebsführung und den damit verbundenen Leistungen.



Wahl des Betriebsführungsmodells beeinflusst die Kosten.

Die folgende Grafik aus einer Umfrage unter Kommunen zum Thema „Straßenbeleuchtung – eine kommunale Aufgabe im Wandel“ [8] zeigt, dass in der erhobenen Stichprobe die Gesamtkosten pro Lichtpunkt tendenziell geringer ausfallen, wenn die Kommune die Straßenbeleuchtung selbst betreibt. Der Vergleich kann aber nur eine mögliche Tendenz aufzeigen, da eine Aufschlüsselung der zugrunde liegenden Leistungen der Betriebsführung nicht erfolgte.

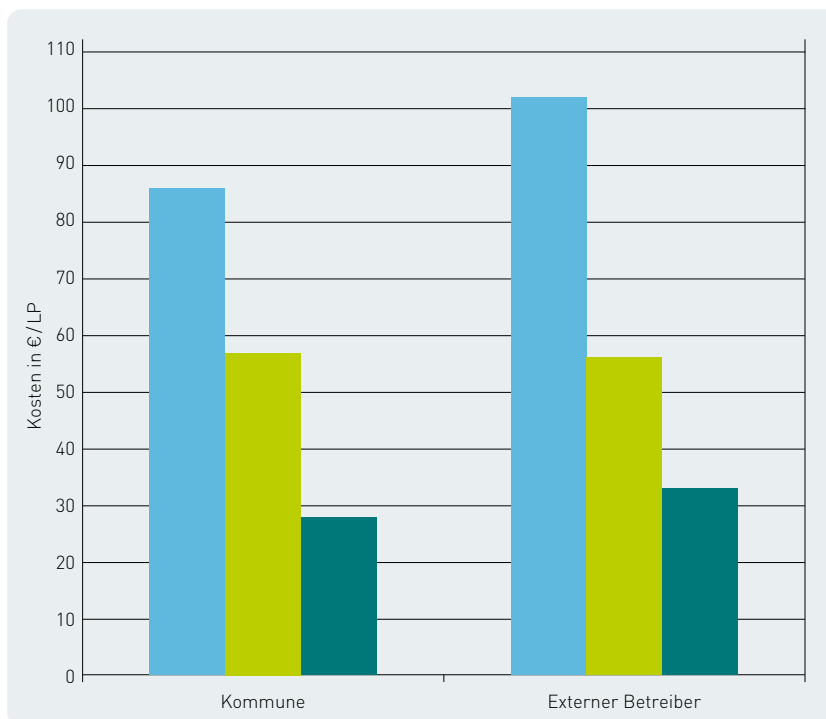


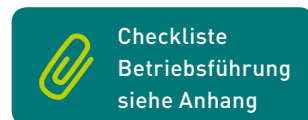
Abb. 10. Vergleich der Kosten pro Lichtpunkt in Abhängigkeit des Betreibers der Straßenbeleuchtung. [8]

Legend:
■ Gesamtkosten pro Lichtpunkt
■ Energiekosten pro Lichtpunkt
■ Betriebs- und Instandhaltungskosten pro Lichtpunkt

3.2 Betriebsführungsmodelle.

Eine Aufstellung der einzelnen Leistungen ist notwendig, um eine Beleuchtungsanlage in ihrer Gesamtheit wirtschaftlich bewerten zu können. Erst dann wird deutlich, an welchen Stellen der Betriebsführung Optimierungspotenziale bestehen, Modernisierungsmaßnahmen greifen können und eine Effizienzsteigerung möglich ist.

Zunächst ist von Interesse, welche Teile der Betriebsführung überhaupt und von wem erbracht werden und wer Eigentümer bzw. Pächter der Anlagen ist. Zu beiden Punkten bietet die Checkliste Betriebsführung Anhaltspunkte.



Wie im deutschlandweiten Vergleich der Betrieb der Straßenbeleuchtung organisiert ist, zeigt Abbildung 11.

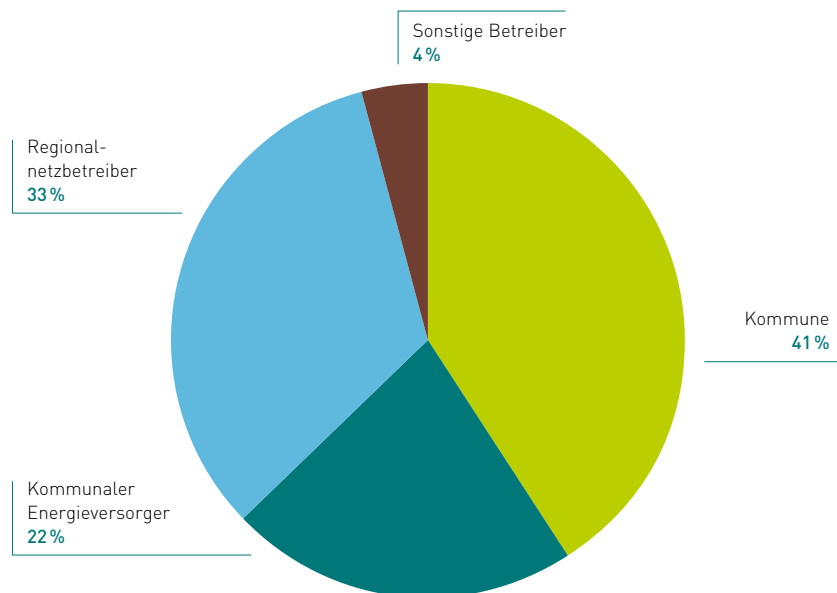


Abb. 11. Betreiber der Straßenbeleuchtung. Am häufigsten übernimmt die Kommune (41 Prozent) bzw. deren kommunaler Energieversorger (22 Prozent) den Betrieb der Straßenbeleuchtung selbst. [9]

- Kommune
- Kommunaler Energieversorger
- Regionalnetzbetreiber
- Sonstige Betreiber

Bei Beleuchtungsverträgen ergeben sich aus dem umfangreichen Leistungskatalog der Betriebsführung und den individuellen Eigentumsverhältnissen große Gestaltungsspielräume.

In der Praxis sind gewöhnlich vier grundsätzliche Betriebsführungsmodelle anzutreffen, deren Vor- und Nachteile hier kurz dargestellt werden.

Bauhofmodell	
→ Eigentum: Kommune → Besitz: Kommune → Betrieb: Kommune	
<p>Beschreibung: Der Eigenanteil der Kommune kann stark variieren, die Energielieferung erfolgt durch einen Dritten (Energieversorger):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die komplette Betriebsführung obliegt dem Bauhof. - Der Bauhof übernimmt Instandhaltung und Management; Neu-, Ersatz- und Rückbau führen externe Dienstleister aus. - Der Bauhof übernimmt neben dem Management auch die Bautätigkeit. Mit der laufenden Instandhaltung wird der externe Dienstleister beauftragt. - Dem Bauhof obliegt das Management und die Überwachung der externen Dienstleister. Sowohl Instandhaltung als auch Bauvorhaben werden durch diese erbracht. 	
<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Das fachliche Know-how verbleibt bei der Kommune. - Die Kommune beschäftigt eigene, vorhandene Mitarbeiter. - Keine Umsatzsteuer für Leistungen des Bauhofs. 	<p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - U. U. unklare Definition der Schnittstellen zwischen Bauhof und externen Dienstleistern. - Aufwand Vertragsmanagement.

Teilbetriebsmodell	
→ Eigentum: Kommune → Besitz: Kommune → Betrieb: Kommune/extern	
<p>Beschreibung: Vergabe typischer Leistungen, z. B. Inspektion, Störungs- u. Schadensbeseitigung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rahmenverträge mit mehreren Jahren Laufzeit. - Entscheidungshoheit und haftungsrechtliche Verantwortung verbleiben bei der Kommune. 	
<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Teilweise eigenverantwortliche Leistungserbringung durch spezialisierte Dienstleister. - Einfaches Vergabeverfahren. 	<p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Know-how zur Steuerung und Beurteilung der Dienstleistung nötig. - Ausschreibungsaufwand. - Wagnis- und Gewinnaufschlag.

Vergabemodell→ **Eigentum:** Kommune/extern → **Besitz:** extern → **Betrieb:** extern**Beschreibung:**

Aufgabenübertragung der Betriebsführung auf einen Dienstleister:

- Varianten mit und ohne Eigentumsübergang der Beleuchtung.
- Überwachung durch Kommune, Verlagerung wirtschaftlicher Verantwortung auf den Dienstleister.
- Laufzeiten von 10 bis 20 Jahren.

Vorteile:

- Dienstleister kann langfristige Optimierungslösungen umsetzen und ggf. selbst vorfinanzieren.
- Starke Verringerung des Arbeitsaufwands bei der Kommune.
- Als Option Stromlieferung über Dienstleister möglich.

Nachteile:

- Langfristige Bindung.
- Know-how-Verlust bei der Kommune.
- Geringe Einflussnahme auf ausführenden Dienstleister.
- Mögliche Streitpunkte durch komplexe Verträge.
- Aufwendiges Vergabeverfahren erfordert langfristige Vorbereitung und ggf. Unterstützung externer Dienstleister.
- Ggf. keine bzw. reduzierte Fördermittel, falls Kommune nicht Eigentümer.

Liefermodell→ **Eigentum:** extern → **Besitz:** extern → **Betrieb:** extern**Beschreibung:** Die Lieferung des Lichts als Dienstleistung.**Vorteile:**

- Wirtschaftliche Betriebsführung durch Dienstleister und mögliche Synergieeffekte.
- Gesamtleistungspaket inklusive Stromlieferung.

Nachteile:

- Langfristige Bindung mit komplexen Preisgleitklauseln.
- Know-how-Verlust bei der Kommune.
- Kommune nicht mehr Eigentümer, Streitpunkt Zeitwert der Beleuchtungsanlage bei möglicher Rückübertragung am Laufzeitende.
- Ggf. keine bzw. reduzierte Fördermittel, da Kommune nicht Eigentümer.

3.3 Digitale Betriebsführung bringt Vorteile.

Die Betriebsführung der öffentlichen Beleuchtung wird immer komplexer. Schon deshalb ist der Einsatz von Software zur Verwaltung des Bestands sinnvoll. So können z. B. Störungen aufgenommen und verwaltet, zu ersetzende Bauteile ermittelt und die Instandhaltung geplant werden.

Die Eingabe von Störungen kann webbasiert oder per App erfolgen, teils sogar direkt durch den Bürger. Die Informationen werden in die Software übernommen und dort weiter verarbeitet. Hier erfolgt auch eine Verknüpfung mit den GIS-basierten Bestandsdaten.

Vor der Auswahl eines digitalen Betriebsführungsprogramms sollte zunächst ein Pflichtenheft zum erforderlichen Funktionsumfang erstellt werden. Besonderes Augenmerk gilt den Punkten:

- Offene Schnittstellen zu anderen Programmen
- Möglichkeiten zum Auslesen des Datenbestands
- Modalitäten des Supports
- Möglichkeiten der Web-, GIS- und Smartphone-Anbindung
- Referenzliste des Anbieters
- Etablierung des Anbieters (kontinuierliche Weiterentwicklung, langfristige Existenzprognose)

4. Erfolgskontrolle und Kennzahlen.

4.1 Genau analysieren – richtig disponieren – objektiv evaluieren.

Auf Grundlage der Bestandsdaten wird klar, wie viele einzelne Komponenten oder Lichtpunkte in Zukunft ersetzt werden müssen: Wann erreichen die einzelnen Komponenten ihre betriebsübliche Nutzungsdauer? Und wie viele Komponenten haben diese Nutzungsdauer bereits erreicht oder überschritten?

Anhand dieser Informationen können Sie konkrete Personal- und Materialdispositionen für die Zukunft treffen. In den Jahren, in denen eine große Anzahl Leuchten ihre betriebsübliche Nutzungsdauer erreicht, müssen z. B. mehr Monteure und Hubfahrzeuge bereitgestellt und entsprechend höhere Personalkosten eingeplant werden. Die zu ersetzenden Leuchten können so rechtzeitig und in ausreichender Stückzahl beim Hersteller bestellt werden.

Energiekennwerte und Erfolgskontrolle.

Eine Verknüpfung der Daten des Anlagenbestands mit den Kennwerten des Energieverbrauchs liefert wichtige Hinweise auf Optimierungsmöglichkeiten. Hierzu zählen insbesondere der Austausch von Leuchtmitteln sowie der Einsatz von Beleuchtungssteuerungen. Einen Überblick über weitere Lösungsmöglichkeiten erhalten Sie im Kapitel „Lösungen“.

Anhand von Kennzahlen und der Angaben aus der Bestandsdatenerhebung sowie der Analyse der Betriebsführungs- und Energiekosten lässt sich eine Einordnung in Bezug auf die Höhe der angemessenen Kosten ebenso darstellen wie ein Vergleich mit anderen Kommunen.

Die Evaluierung legt den Zielerreichungsgrad von Modernisierungsmaßnahmen offen.

Benchmark zu relevanten Strukturparametern in der Straßenbeleuchtung				
Einwohnerzahl	≤ 5.000	> 5.000 ≤ 20.000	> 20.000 ≤ 100.000	> 100.000
Alle Angaben	Verbrauch und Kosten beziehen sich auf ein Jahr			
Preis (ct) pro kWh	14 – 18			
Installierte Leistung (W) pro Lichtpunkt	86,2	80,1	92	98,6
Installierte Leistung (kW) pro km	2,1	2,1	2,8	3,2
Installierte Leistung (W) pro Einwohner	9,4	9,7	9,8	10,2
Energieverbrauch (kWh) pro Lichtpunkt	360	323	350	305
Energieverbrauch (MWh) pro km	8,7	8,4	10,7	10,0
Energieverbrauch (kWh) pro Einwohner	57,9	43,8	41,2	43,4
Energiekosten (€) pro Lichtpunkt	60,7	49,7	52,1	59,9
Betriebskosten (€) pro Lichtpunkt	19,7	26,4	35,8	42,8

Quelle: [8], [9]

Auch die Erfolgskontrolle bereits durchgeführter Modernisierungsmaßnahmen ist von großer Bedeutung und bedarf einer gewissenhaften Dokumentation des Bestands vor und nach Durchführung der Maßnahmen.

Es gilt: Jede umgesetzte Modernisierungsmaßnahme (z. B. zur Energieeinsparung) muss darauf geprüft werden, ob sie das angestrebte Ergebnis erreicht und eine Effizienzsteigerung bzw. Energieeinsparung erbracht hat. Zudem zeigt die Evaluierung, welche Maßnahmen nachhaltig und schnell zum Ziel geführt haben. Damit dient sie der Erfolgskontrolle in Bezug auf die eingesetzten Finanzmittel und kann zur Begründung weiterer Modernisierungsmaßnahmen dienen.

5. Kommunen im Vergleich.

5.1 Kennziffern ermöglichen Kostenvergleiche.

Anhand dreier typischer Referenzstädte lassen sich die in Kapitel 4 vorgestellten Kennziffern veranschaulichen. Die Datenbasis stammt aus realen Städten. Als Vergleichswerte dienen die Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage unter Kommunen zum Thema „Straßenbeleuchtung – eine kommunale Aufgabe im Wandel“. [8] Alle dargestellten Kennzahlen erlauben sowohl einen Vergleich der Städte untereinander als auch den Abgleich mit bundesweiten Durchschnittswerten.

Kennwerte der Referenzstädte ¹			
	Stadt A	Stadt B	Stadt C
Einwohner	30.000	51.000	18.500
Lichtpunkte	3.200	7.000	2.450
Preis (ct) pro kWh	17 (14–18)	20 (14–18)	21 (14–18)
Anzahl Einwohner pro Lichtpunkt	9,4 (7,8)	7,2 (7,8)	7,6 (6,9)
Installierte Leistung (W) pro Lichtpunkt	85 (92)	76 (92)	90 (80)
Energieverbrauch (kWh) pro Lichtpunkt	234 (334)	202 (334)	306 (334)
Energieverbrauch (kWh) pro Einwohner	25 (41)	28 (41)	40 (44)
Energiekosten (€) pro Lichtpunkt	40 (52)	40 (52)	64 (50)
Betriebskosten (€) pro Lichtpunkt	52 (36)	27 (36)	31 (26)

¹ Vergleichskennwerte sind in Klammern dargestellt

Struktur der Leuchtmittel im Vergleich.

So unterschiedlich wie die drei Städte ist auch ihre Leuchtmittelstruktur: Referenzstadt A ersetzte in der Vergangenheit ineffiziente Quecksilberdampflampen durch effizientere Leuchtstoff- bzw. Kompaktleuchtstofflampen. Ein Grund für die getroffene Lampenwahl: Die weiße Lichtfarbe sollte erhalten bleiben.

Referenzstadt B hingegen setzt zu über 50 Prozent Natriumdampflampen ein. Auch der Anteil an Kompaktleuchtstofflampen ist dort hoch.

In Referenzstadt C steht die Umrüstung der Leuchtmittel noch bevor. Im Bestand liegt der Anteil der Quecksilberdampflampen weit über dem Bundesdurchschnitt von 20 bis 30 Prozent. Wegen ihrer schlechten Farbwiedergabe sollen außerdem die sehr energieeffizienten Natriumdampf-Niederdrucklampen ersetzt werden.

Systemstruktur der Leuchtmittel.

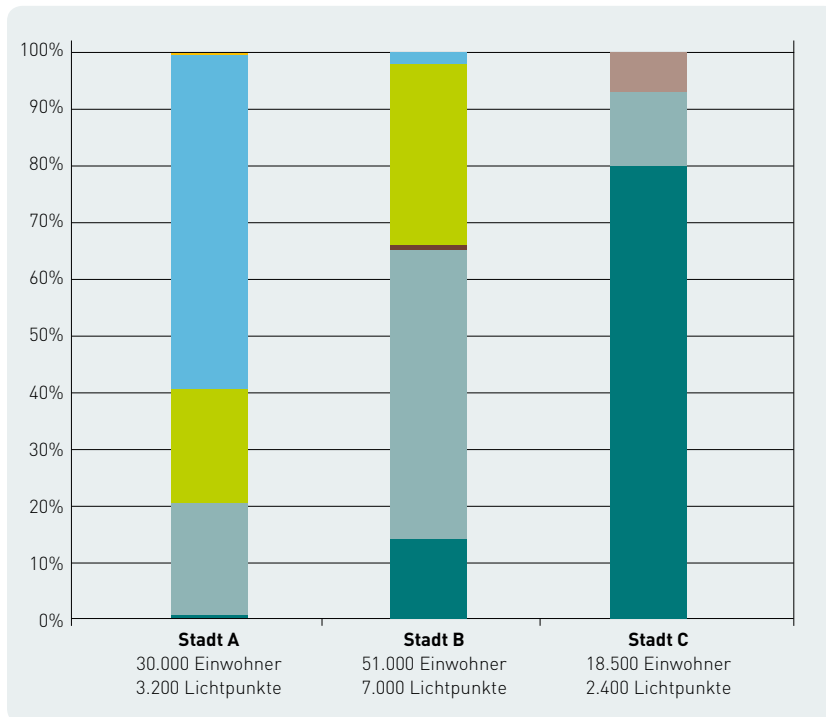


Abb. 12. Systemstruktur der Leuchtmittel.

- Leuchtdioden (LED)
- Leuchtstofflampen
- Kompaktleuchtstofflampen
- Halogenmetaldampflampen
- Natriumdampf-Niederdrucklampen
- Natriumdampf-Hochdrucklampen
- Quecksilberdampf-Hochdrucklampen

Installierte Leistung und Energieverbrauch.

In den Referenzstädten A und B liegt die installierte Leistung pro Lichtpunkt unterhalb des Bundesdurchschnitts. In beiden Städten macht sich der Austausch der ineffizienten Quecksilberdampf-Hochdrucklampen durch einen geringeren Energieverbrauch positiv bemerkbar. Referenzstadt C liegt dagegen durch viele ineffiziente Leuchtmittel im Bestand deutlich über dem bundesweiten Durchschnittswert für die installierte Leistung pro Lichtpunkt.

Beim Energieverbrauch steht Stadt A dank der energieeffizienten Leuchtmittelstruktur sowie der geringen installierten Leistung sehr gut da. Der Verbrauch von Stadt B liegt weit unter dem Durchschnitt anderer Kommunen. Dies ist zum einen der noch geringeren installierten Leistung pro Lichtpunkt als bei Stadt A anzurechnen. Aber auch die Absenkung des Beleuchtungsniveaus in verkehrsarmen Zeiten kann ein Grund sein. Sogar Stadt C liegt unter dem Durchschnittsverbrauch vergleichbarer Städte, trotz hoher installierter Leistung. Dies kann nur durch ausgedehnte Absenkungen oder gar Abschaltungen erreicht werden.

Hinweis: Bei der Bewertung des Energieverbrauchs muss deshalb darauf geachtet werden, ob ein sehr geringer Verbrauch durch Abschaltungen oder ein zu geringes Beleuchtungsniveau erkauft wird.

Installierte Leistung hoch, Verbrauch niedrig? Gründe sorgfältig prüfen!

Preise und Kosten.

Während die Energiepreise pro kWh bei Referenzstadt A im Bundesdurchschnitt liegen, müssen die Städte B und C deutlich mehr Geld für ihre Straßenbeleuchtung ausgeben. Oft sind seit langem bestehende Versorgungsverträge, die nicht nachverhandelt wurden, oder fehlender Wettbewerb die Gründe. Trifft dies auf die Städte B und C zu, besteht hier eine Möglichkeit, relativ einfach Einsparpotenziale zu nutzen.

Klar, dass sich diese Preise auch in den Energiekosten pro Lichtpunkt widerspiegeln: Die Werte der Referenzstädte A und B liegen hier im Durchschnitt, wobei Stadt B die überdurchschnittlichen Strompreise durch einen sehr geringen Energieverbrauch kompensiert. Problematisch ist die Situation in Stadt C: Dort führt die Kombination aus hohen Energiepreisen und einer ineffizienten Leuchtenstruktur zu stark überdurchschnittlichen Kosten pro Lichtpunkt. Stadt C würde von einer Modernisierung daher besonders deutlich und nachhaltig profitieren.

Bei den Betriebskosten liegen die Referenzstädte A und C über dem Bundesdurchschnitt. Das kann an hohen Dienstleisterpreisen, ineffizientem Management oder umfangreichen Leistungen (z. B. sehr genaue Dokumentation mit GIS oder hohe Anzahl von Standsicherheitsprüfungen) liegen. Auch fehlender Wettbewerb zwischen externen Dienstleistern kann die Kosten erhöhen. In jedem Fall sollten die Städte A und C die Gründe für ihre hohen Betriebskosten analysieren.

6. Beispiel „Musterstadt“.

Während im vorangegangenen Kapitel für Deutschland typische Städte betrachtet wurden, wird im Folgenden eine fiktive Musterstadt genauer beschrieben. Entwickelt in Anlehnung an reale sächsische Bedingungen liefert Ihnen dieses Beispiel wichtige Anhaltspunkte für die Zusammenstellung Ihrer eigenen Datenbasis zur Bestandsaufnahme der öffentlichen Beleuchtung.

Das Beispiel „Musterstadt“ wird im nachfolgenden Kapitel fortgeführt. Dort veranschaulicht es die optimale Umsetzung von Modernisierungsmaßnahmen unter den in diesem Kapitel „erhobenen“ Ausgangsbedingungen. Die nachstehende Abbildung zeigt die Ergebnisse der fiktiven Bestandsaufnahme zur öffentlichen Beleuchtung in Musterstadt.

Musterstadt ¹	
Einwohner	35.000
Lichtpunkte	3.700
Systemstruktur der Leuchtmittel	47 % Natriumdampf-Hochdrucklampen ellipsoid 45 % Natriumdampf-Hochdrucklampen Röhre klar 8 % Quecksilberdampf-Hochdrucklampen
Preis [ct] pro kWh	18 (14 – 18)
Anzahl Einwohner pro Lichtpunkt	9,5 (7,8)
Installierte Leistung (W) pro Lichtpunkt	112 (92)
Energieverbrauch (kWh) pro Lichtpunkt	458 (334)
Energieverbrauch (kWh) pro Einwohner	49 (41)
Energiekosten (€) pro Lichtpunkt	83 (52)

¹ Vergleichskennwerte sind in Klammern dargestellt

Die Lösungen zur Modernisierung der Beleuchtung in Musterstadt finden Sie am Ende des Kapitels Lösungen.

Typischer Lebensbaum der öffentlichen Beleuchtung.

Die Auswertung aller Errichtungszeitpunkte der Lichtpunkte und Schaltstellen in Musterstadt ergibt einen Lebensbaum der öffentlichen Beleuchtung, wie er für sächsische Städte und Gemeinden typisch ist.

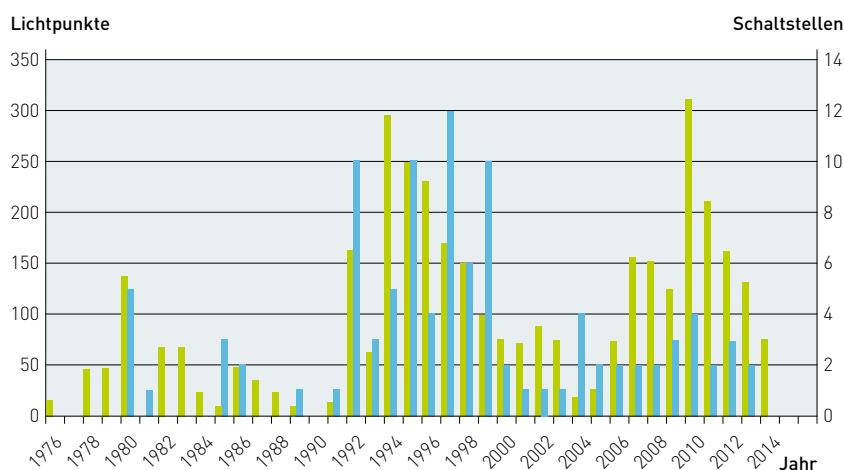


Abb. 13. Lebensbaum der öffentlichen Beleuchtung in Musterstadt

■ Anzahl der errichteten Lichtpunkte pro Jahr
■ Anzahl der errichteten Schaltstellen pro Jahr

Im Lebensbaum lassen sich drei Maxima erkennen (Abb. 13): Ende der 1970er Jahre, nach der Wiedervereinigung Mitte der 1990er Jahre und im Bereich der letzten fünf Jahre, in denen Musterstadt Anstrengungen unternommen hat, den Investitionsstau der letzten Jahre aufzuarbeiten. Nur noch ein geringer Anteil an Leuchten hat die BND überschritten, der Investitionsstau ist weitgehend abgebaut. Der durchschnittliche Errichtungszeitpunkt liegt im Jahr 1998.

Auszüge aus der Wertermittlung der Beleuchtung in Musterstadt.

Der Wert der Beleuchtungsanlage wurde nach dem Sachzeitwertverfahren berechnet und ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

	Leuchten	Trag-systeme	Schalt-stellen	Tiefbau	Summe netto
TNW in € gesamt	1.740.224	1.882.007	214.648	4.773.498	8.610.377
WVZ in € gesamt	69.609	37.640	8.586	95.470	211.305
SZW in € gesamt	844.843	1.367.156	104.672	3.245.979	5.562.650

TNW → Tagesneuwert in €
WVZ → Werteverzehr pro Jahr
SZW → Sachzeitwert in €

Im Finanzhaushalt von Musterstadt müssen also jedes Jahr ca. 211.000 € netto eingestellt werden, will man den Bestand auf dem vorhandenen Niveau erhalten. Bei einem Wechsel des Eigentümers oder Verkauf wäre der Sachzeitwert der Beleuchtungsanlage von Bedeutung. Dieser beträgt demnach noch ca. 5,5 Mio. € netto.

In der Tabelle wurde eine betriebsübliche Nutzungsdauer (BND) der Leuchten von 30 Jahren bzw. der Tragsysteme von 60 Jahren zugrunde gelegt.

Leuchten und Tragsysteme: einzelne Elemente, gemeinsame Planung.

Tragsysteme sollten mit einer etwa doppelt so langen Lebensdauer wie die der Leuchten gewählt werden. So ist gewährleistet, dass mit Ablauf der Lebensdauer der zweiten Leuchte auch das Tragsystem ersetzt wird. Würde das Tragsystem schon vor Ablauf der Lebensdauer der zweiten Leuchte ersetzt, wäre es wenig praxisnah anzunehmen, dass die alte Leuchte auf das neue Tragsystem montiert werden würde.

Weniger Vielfalt, weniger Kosten.

Ein weiterer Punkt bei der Analyse der Beleuchtungsanlage ist die Klassifizierung und Zusammenfassung der verwendeten Typen von Tragsystemen und Leuchten (Abb. 14). Erst so erhält man einen Überblick darüber, in welchen Fällen sich ein sofortiger Ersatzneubau bzw. Maßnahmen zur Erhöhung der Effizienz und Einsparung von Energiekosten besonders lohnen.

Im Rahmen einer Modernisierung ist es besonders sinnvoll, die Typenvielfalt einzugrenzen, da so Kosten für Lagerhaltung, Verwaltung und nicht zuletzt für die Anschaffung (ggf. höhere Rabatte bei den Herstellern durch Bestellung größerer Stückzahlen) eingespart werden können. Die Vielfalt der eingesetzten Leuchten und Masten ist historisch gewachsen, technisch jedoch nicht gerechtfertigt. Die Verantwortlichen in Musterstadt sollten daher unbedingt einen zeitgemäßen, handhabbaren Katalog der einzusetzenden Komponenten entwickeln.

Die Lebensdauer der Tragsysteme sollte der doppelten Lebensdauer der Leuchten entsprechen.

Die Verringerung der Typenvielfalt bei Leuchten und Tragsystemen hilft Ihnen, Kosten zu sparen.

Aufstellung der 30 häufigsten Leuchten- bzw. Tragsystemtypen in Musterstadt.

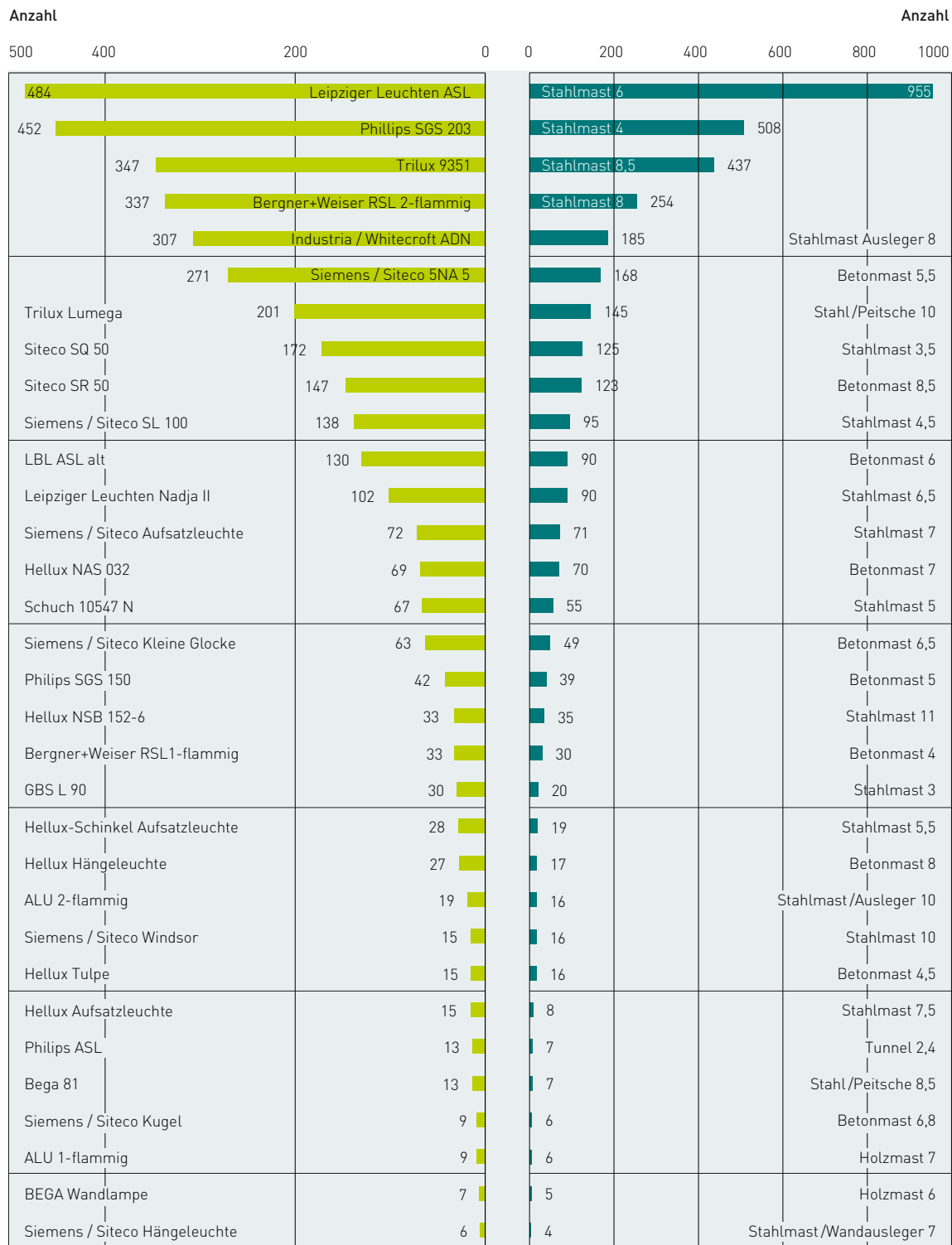


Abb. 14. Häufigkeit der in Musterstadt verbreiteten Leuchten- bzw. Tragsystemtypen.

Allein die fünf hauptsächlich in Musterstadt eingesetzten Lampentypen inkl. Vorschaltgeräten verbrauchen über 1,6 GWh pro Jahr. Dabei werden fast 1.000 t CO₂ freigesetzt.*

* Annahme: 4.100 Betriebsstunden pro Jahr und 600 g CO₂/kWh.

Lampentyp	Stück	Lampenleistung (W)	Gesamtleistung (kW)	Gesamtarbeit p.a. (MWh)	CO ₂ -Ausstoß p.a. (kg)
70 W HSE	1.254	70	98	403	242
100 W HST	941	100	105	432	259
70 W HST	877	70	69	282	169
150 W HSE	647	150	109	446	267
80 W HME	147	80	13	54	32
Summe	3.866		394	1.617	969



Im nächsten Schritt wurden die Kosten prognostiziert, die zum Erhalt der Anlage notwendig sind. Der im Fall Musterstadt betrachtete Zeitraum erstreckt sich über 20 Jahre: von 2015 bis 2034. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die Anlagenteile gleichwertig ersetzt werden. Die prognostizierten Aufwendungen pro Jahr ergeben sich aus der Summe aller Tagesneuwerte der Komponenten, die in dem entsprechenden Jahr ihre betriebsübliche Nutzungsdauer überschreiten.

Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich ein Verlauf der Aufwendungen wie in Abbildung 15 dargestellt.

Prognostizierte Aufwendungen für Erneuerung in den nächsten 20 Jahren.



Abb. 15. Prognostizierte Aufwendungen für Ersatzneubau in € netto.

Ergebnisse der Bestandserfassung und Wertanalyse in Musterstadt.

- Die öffentliche Beleuchtung ist sehr diskontinuierlich gewachsen – eine nicht untypische Situation.
- In den letzten fünf Jahren wurde in Musterstadt intensiv am Abbau des Investitionsstaus gearbeitet. Aus diesem Grund ist bis 2019 nur mit moderaten Kosten des Ersatzneubaus zu rechnen. Das Maximum 2019 ist darauf zurückzuführen, dass ab diesem Zeitpunkt die Leuchten, die nach der Wiedervereinigung errichtet wurden, ersetzt werden müssen.
- Ein weiteres, noch höheres lokales Maximum der Kosten ist 2030 zu erwarten, da dann auch Schaltstellen und Tragsysteme, die um 1980 errichtet wurden, zu ersetzen sind. Die Erneuerung dieser Anlagenbestandteile ist, auch aufgrund des Tiefbaus, sehr kostenintensiv.
- Abb. 16 zeigt, dass bereits eine hohe Anzahl von HSE-70-W-Lampen eingesetzt wurde. Dies ist für sächsische Kommunen typisch, da bereits in den 1990er Jahren teilweise 40 bis 70 Prozent des Leuchtenbestands modernisiert wurden. In den letzten Jahren wurden zunehmend Leuchten mit klaren Natriumdampf-Hochdrucklampen in Röhrenform eingesetzt, die eine noch höhere Energieeffizienz aufweisen.

Für alle folgenden Maßnahmen ist eine Datenaufnahme, wie sie in diesem Kapitel vorgestellt wurde, unabdingbar: sei es zur Einschätzung der Wirtschaftlichkeit potenzieller Modernisierungsmaßnahmen, zur Evaluierung getroffener Entscheidungen oder zum Vergleich mit anderen Kommunen.

Solide Basis für alle Entscheidungen: die Ergebnisse der Ist-Analyse der Beleuchtung in Musterstadt.

7. Maßnahmenschwerpunkte in Sachsen.

Für das Bundesland Sachsen lassen sich in Bezug auf den Anlagenbestand der Straßenbeleuchtung einige grundlegende Aussagen zusammenfassen:

Während im gesamten Bundesgebiet der Ersatz von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen immer noch die vordringlichste Aufgabe ist, stellt sich dies in Sachsen anders dar [4]. Denn bereits 1994 war der Anteil dieser Lampenart am Bestand gering. Das Auslaufen der Quecksilberdampf-Hochdrucklampe 2015 infolge der Ökodesign-Verordnung spielt daher in Sachsen bezüglich des Investitionsdrucks eine untergeordnete Rolle.

Vielmehr steht in Sachsen der Austausch veralteter Leuchtentechnik, meist bestückt mit Natriumdampf-Hochdrucklampen, im Vordergrund. Hier liegen die Einsparpotenziale in der Verwendung moderner Vorschalttechnik, adaptiver Steuerung und Regelung sowie optimierter Leuchten – entweder in Kombination mit modernen, langlebigen Natriumdampf-Hochdrucklampen oder mit LED-Technik.

Die breite Palette der verfügbaren Lösungsmöglichkeiten trifft in Sachsen auf einen interessanten zeitlichen Umstand: In den Jahren zwischen 1993 und 1998 wurde in Sachsen (wie in den anderen neuen Bundesländern) eine Vielzahl von Lichtpunkten erneuert. Die ersten dieser Leuchten werden ab etwa 2018 ihre betriebsübliche Nutzungsdauer erreicht haben und dann in einem Zeitraum von rund fünf Jahren ersetzt werden. Zeitgleich ergeben sich Neuordnungsmöglichkeiten der Straßenbeleuchtungsverträge aufgrund auslaufender Konzessionen.

Zugleich wird um das Jahr 2018 mit einem Abflachen des technologischen Fortschritts bei der LED-Technik gerechnet. Ein weiteres Abwarten eventueller neuer Leistungssprünge spielt daher keine strategische Rolle mehr.

In Sachsen besteht somit die Chance, in den nächsten Jahren die Straßenbeleuchtung auf einen modernen und effizienten Stand zu bringen.

Sachsen: Austausch veralteter Leuchtentechnik im Fokus der Maßnahmen.

Quellen:

- [1] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Lotse energieeffiziente Straßenbeleuchtung.
<http://www.lotse-strassenbeleuchtung.de/planung-finanzierung/vorhandene-und-verfuegbare-technologien.html>. Stand: 04.10.2014.
- [2] Hölter, Andreas (1994): Öffentliche Beleuchtung in Deutschland 1994 Istzustand/Tendenzen.
Abschlussarbeit TU Ilmenau (Betreuer Dr. Eckert/Prof. Dr. Gall).
- [3] Van Tichelen et al. (2007): Lot 9: Public street lighting. Final Report.
Study for the European Commission DGTREN unit D3.
- [4] sixData GmbH.
- [5] Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen.
- [6] Sächsische Kommunalhaushaltsverordnung-Doppik (SächsKomHVO-Doppik) § 34 Absatz (2),
Fassung vom 10.12.2013.
- [7] Raupach, Björn/Stangenberg, Karin (2009): Doppik in der öffentlichen Verwaltung, 2. Auflage.
- [8] Technische Werke Schwelm AöR (2010): Benchmarkanalyse zur Umfrage Straßenbeleuchtung –
eine kommunale Aufgabe im Wandel. Analyse erstellt von Wibera / PricewaterhouseCoopers.
- [9] Birkemeyer, Gerrit (2012): „Straßenbeleuchtung – eine kommunale Aufgabe im Wandel“. Vortrag
im Rahmen der Informationsveranstaltung „Klimawandel und Kommunen“ in Göttingen. 24.01.2012.

Checkliste Bestandserfassung.

Die Checkliste auf dieser und den nächsten Seiten kann als Grundlage einer Bestandserfassung dienen. Es ist individuell abzuwägen, welche Daten relevant und mit welchem Aufwand zu erheben sind.

Grunddaten
 Erweiterte Daten
 Zusatzdaten

Standort

Lichtpunktnummer

Vergeben Sie zunächst jedem Lichtpunkt eine eindeutige Nummer. Eine entsprechende Beschriftung wird auch am Lichtpunkt angebracht, um später eine genaue Zuordnung zu ermöglichen. Ein einfaches System ist die Kombination aus einer Nummer der Straße und einer laufenden Nummer (z. B. 0102-002).

Tipp: Denken Sie daran, wie Sie in diesem System damit umgehen, wenn zwischen zwei nummerierten Lichtpunkten später ein weiterer Lichtpunkt gesetzt werden muss (z. B. Bezeichnung zwischen den Lichtpunkten 0102-001 und 0102-002 → 0102-001a oder 0102-001-01; im zweiten Fall wäre es sinnvoll, diese Systematik gleich bei allen Lichtpunktbezeichnungen vorzusehen, z. B. 0102-002-00 als Grundbezeichnung).

Zählernummer (Hierüber ist die Zuordnung zu den Rechnungen des Energieversorgers möglich.)

Stadt-(Orts-)teil

Straße und Hausnummer

Anhand der Hausnummer ist im innerstädtischen Bereich immer eine gute Orientierung möglich. Die Angabe der Hausnummer ist auch für die Eingabe in Navigationsgeräte gerade bei langen Straßen sinnvoll.

Errichtungszeitpunkt

In der Regel wird dieser Zeitpunkt mit der Errichtung des Tragsystems übereinstimmen. Allerdings können alle Komponenten des Lichtpunkts ausgewechselt werden (z. B. Austausch des Mastes nach einem Unfall). Oft kann der Errichtungszeitpunkt aufgrund mangelnder Informationen nur geschätzt werden.

GPS/GNSS-Daten (Geografische Standortdaten werden für die Verwendung in GIS-Systemen benötigt.)

Tragsystem

Mastart bzw. -typ (z. B. Aufsatzmast zylindrisch oder Peitschenmast konisch)

Mastmaterial (z. B. Alu/Stahl/Kunststoff/Holz/Beton)

Masthöhe

Hier ist die tatsächliche Masthöhe gemeint, die Lichtpunkthöhen werden bei den Leuchten mit dokumentiert. Es besteht die Möglichkeit, dass der Mast höher ist als die Lichtpunkthöhe der Leuchte. Für Transport und Errichtung des Mastes ist aber die Masthöhe von Bedeutung. Außerdem könnten auch zwei Leuchten in unterschiedlicher Höhe angebracht sein.

Mastklappenöffnung (z. B. 400 x 85 mm, Ausrichtung entgegen Fahrtrichtung)

Mastzopfmaß (z. B. 60/76/89 mm)

Auslegertyp (z. B. Wandausleger)

Ausleger (Länge/Neigung/Form)

Auslegermaterial (z. B. Stahl)

Auslegerzopfmaß (z. B. 48/60 mm)

Energieversorgung (z. B. Schaltschrank Bahnhofstraße Leitungszug 2)

Besonderheiten (z. B. Sonderfarbe, besondere Wandstärke, zusätzliche Bohrungen, Verkehrsschilder angebracht usw.)

Montagezeitpunkt




Der Errichtungszeitpunkt sollte in jedem Fall, ggf. als grobe Schätzung, angegeben werden, da die Wertanalyse auf dieser Angabe aufbaut. Kein Eintrag bedeutet, dass eine wertmäßige Schätzung des Tragsystems nicht möglich sein wird.

Technischer Zustand (optische Einschätzung des Zustands)

Standsicherheitsprüfung

Der turnusmäßige Austausch von Masten nach Erreichen der betriebsüblichen Nutzungsdauer kann ggf. durch Standsicherheitsprüfungen hinausgeschoben werden. Es werden nach Prüfung nur die erforderlichen Masten ersetzt. Die Messdaten und die durch den Dienstleister gegebene Garantie werden dokumentiert.

Checkliste Bestandserfassung.

-  Grunddaten
-  Erweiterte Daten
-  Zusatzdaten

Kabelübergangskasten

- Typ (Langmatz EK 480)
- Besonderheiten (z. B. FI-Schutzschalter/Überspannungsschutzeinrichtung)
- Einbaudatum

Leuchte

- Typ (z. B. Philips Arc 80; optional Art des Reflektors)
- Abdeckglas (z. B. PC flach klar; PMMA gewölbt strukturiert)
- Lichtpunkthöhe
- Befestigung (z. B. Aufsatz 60/76 oder Ansatz 48/60)
- Vorschaltgerät (z. B. KVG, VVG, EVG, LED-Treiber)
- Schnittstellen (z. B. Steuerphase; 1–10 V; Dali)
- Empfänger / Sender (WLAN/ZigBee)
- Leuchtenbetriebswirkungsgrad
In einigen LED-Leuchten, bei denen die LEDs fest in der Leuchte verbaut sind, sind keine separaten Angaben zum LED-Modul verfügbar. In diesem Fall kann ein fiktives Leuchtmittel, als wäre das LED-Modul austauschbar, angenommen werden. Die entsprechenden Daten werden dann beim Leuchtmittel erfasst, der Leuchtenbetriebswirkungsgrad beträgt hier 100 Prozent.
- Schutzklasse (z. B. I oder II)
- Schutzart (z. B. IP 67)
- Montagezeitpunkt
Der Einbaupunkt sollte in jedem Fall, ggf. als grobe Schätzung, angegeben werden, da die Wertanalyse auf dieser Angabe aufbaut. Kein Eintrag bedeutet, dass eine wertmäßige Schätzung der Leuchte nicht möglich sein wird.

Leuchtmittel / Lampe

- Typ (z. B. OSRAM HST)
- Leistung (70 W)
- Lichtfarbe (2000 K)
- Farbwiedergabe CRI/Ra 25 (z. B. Ra 25)
- Lichtstrom (6600 lm)
- Lichtausbeute (94 lm/W)
- Lebensdauer (28.000 h)
- Montagezeitpunkt
Wichtig ist der Einbaupunkt für konventionelle Leuchtmittel und austauschbare LED-Leuchtmittel, um den Zeitpunkt des notwendigen (Gruppen-)Wechsels ermitteln zu können. Derzeit sind noch viele LED-Module fest in den Leuchten verbaut und können nicht separat gewechselt werden.

Sensoren

- Typ (z. B. Bewegungssensor)
- Montagezeitpunkt

Checkliste Bestandserfassung.

- Grunddaten
- Erweiterte Daten
- Zusatzdaten

Schaltstellen

- Typ (z. B. Zörbig)
- Anzahl 3-phasiger Abgänge
- Empfangseinrichtungen (z. B. Rundsteuerempfänger/UMTS-Modul)
- Regelungs- und Steuereinrichtungen (z. B. zentrale Leistungsreduzierung/Dimmung/Halbnachtschaltung/Dämmerungsschalter)
- Besonderheiten (z. B. Überspannungsschutzeinrichtung/Zähler(-nummer))
- Errichtungszeitpunkt
Der Errichtungszeitpunkt sollte in jedem Fall, ggf. als grobe Schätzung, angegeben werden, da die Wertanalyse auf dieser Angabe aufbaut. Kein Eintrag bedeutet, dass eine wertmäßige Schätzung der Schaltstelle nicht möglich sein wird.
- Technischer Zustand (optische Einschätzung des Zustands)
- Elektrothermografie (periodische Wärmebildmessung, als Bestandteil der vorbeugenden Instandhaltung)

Kabelanlage

- Kabeltyp (z. B. NYY-J 5x16/NYY-J 4x10)
- Oberfläche über Kabel (z. B. Beton/Pflaster/Asphalt)
- Besonderheiten (z. B. Verlegung im Rohr/Freileitung)
- Verlegezeitpunkt
Der Verlegezeitpunkt sollte in jedem Fall, ggf. als grobe Schätzung, angegeben werden, da die Wertanalyse auf dieser Angabe aufbaut. Kein Eintrag bedeutet, dass eine wertmäßige Schätzung der Kabelanlage nicht möglich sein wird.
- GPS/GNSS Daten (Geografische Lagedaten werden für die Verwendung in Geoinformationssystemen (GIS) benötigt.)
- Isolationswiderstand (Protokollierung der periodischen Messung als Bestandteil der Betriebsprüfung)
- Schleifenimpedanz (Protokollierung der periodischen Messung als Bestandteil der Betriebsprüfung)
- Gesamtlänge Kabelnetz
Um ggf. eine Abschätzung der Länge eines Kabelnetzes treffen zu können, kann in erster Näherung die Lichtpunktanzahl mit einem Lichtpunktabstand von 30 bis 40 m multipliziert werden. Dabei ist zu beachten, dass bei kleineren Gemeinden der Lichtpunktabstand eher im höheren Bereich liegt. Bei größeren Städten ist von einem geringeren Lichtpunktabstand auszugehen. Zusätzlich sollte ein prozentualer Zuschlag für einen Doppelverlegeanteil erfolgen (z. B. zehn Prozent).

Checkliste Betriebsführung.

Verschaffen Sie sich einen Überblick über die einzelnen Leistungen im Rahmen der Betriebsführung. Schätzen Sie dazu die Intensität des Aufwands zu den folgenden Positionen ein: gering – mittel (Standard) – hoch.

Leistungen im Rahmen der Betriebsführung			Kommune	extern
Instandhaltung				
	Inspektion			
	Wartung			
		Reinigung		
		Lampenwechsel		
	Instandsetzung			
		Schäden/Unfälle		
		Störungen		
Management				
	Planung und Projektierung			
	Ausschreibung und Vergabe			
	Dokumentation, Kataster, GIS			
	Schadensabwicklung			
	Störungsmanagement			
	Budgetplanung			
	Optimierung/Effizienz			
	Controlling			
Bau				
	Umbau			
		Bauleitung		
		Bauausführung		
	Ersatzneubau			
		Bauleitung		
		Bauausführung		
		Entsorgung		
	Neubau			
		Bauleitung		
		Bauausführung		
	Rückbau			
		Bauleitung		
		Bauausführung		
		Entsorgung		
	Energielieferung			
	Energieeinkauf			
	Energieerzeugung			

Checkliste Betriebsführung.

	Kommune		extern	
	Eigentum	Besitz	Eigentum	Besitz
Schaltschränke/Schaltstellen				
Kabelanlage				
Tragsysteme				
Leuchten				
Datenbestand/Beleuchtungskataster				
Geoinformationssystem (GIS)				

Hinweis: Besitz oder Eigentum? Herrscht die Kommune rechtlich über die Straßenbeleuchtung, dann ist das Eigentum. Die Kommune legt fest, was mit ihrem Eigentum geschieht. Andererseits bedeutet Besitz die tatsächliche Herrschaft, jedoch nicht zwangsläufig Eigentum. Somit kann ein Dritter Besitzer der Straßenbeleuchtung sein, obwohl das Eigentum weiterhin bei der Kommune liegt, beispielsweise bei Miete oder Pacht. Endet der entsprechende Vertrag, endet auch das Recht auf Besitz.

Kurzcheck Sanierungsbedarf der Beleuchtung.

Mit dieser Tabelle können Sie ermitteln, ob grundsätzlich Sanierungsbedarf bei Ihrer Straßenbeleuchtung besteht. Dazu tragen Sie in die ganz rechte Spalte „Eingabe“ in jeder Zeile jeweils die auf Ihre Anlage zutreffenden Werte ein. Beträgt die Summe -10 oder weniger, sollte die Beleuchtung saniert werden. Zur Veranschaulichung sind in der rechten Spalte fiktive Beispielzahlen eingetragen. Die Summe von -12 weist auf anstehenden Sanierungsbedarf hin.

Lampe						
Punkte	0	-1	-2	-3	-10	Eingabe
Lampenart	alle anderen		Leuchtstofflampe	Quecksilberdampf-Hochdrucklampe	Glühlampe/ Gas	-3
Vorschaltgerät						
Punkte	0	-1	-2	-3	-4	Eingabe
Art des Vorschaltgeräts	alle anderen	KVG mit Beleuchtungssteuerung	VVG ohne Beleuchtungssteuerung	KVG ohne Beleuchtungssteuerung		-3
Leuchte						
Punkte	0	-1	-2	-3	-4	Eingabe
Reflektoren/optisches System	alle anderen	einfacher Reflektor gut erhalten	Spiegelsystem verschmutzt oder korrodiert	einfacher Reflektor verschmutzt oder korrodiert	kein Reflektor/ Spiegelsystem	-1
Bestückung	alle anderen		zweilampig	dreilampig		0
Alter der Leuchte	≤10 Jahre	≥10 und <20 Jahre	≥20 und <30 Jahre	>30 Jahre		-1
Tragsystem (Mast)						
Punkte	0	-1	-2	-3	-4	Eingabe
Lichtpunkthöhe	≥3,5 m				<3,5 m	0
Erhaltungsgrad/Mastart	alle anderen		leicht sanierungsbedürftig	mittelmäßig sanierungsbedürftig	stark sanierungsbedürftig	-2
Alter des Tragsystems	≤20 Jahre	≥20 und <40 Jahre	≥40 und <60 Jahre	>60 Jahre		-2
Lichtpunktabstand	≥25 m				<25 m	0
Stromversorgung	alle anderen		über Freileitung			0
Sanierungsbedarf bei ≤ -10						-12

1. Vorbetrachtung zu energieeffizienten Lösungen.

Um die Energie- und Kosteneffizienz der öffentlichen Beleuchtung zu optimieren, sollte nach folgenden Grundsätzen verfahren werden:

1. Licht effizient und wirtschaftlich erzeugen
2. Licht lenken. Nur dort beleuchten, wo es erforderlich ist sowie Streulicht vermeiden
3. Licht, wo möglich und sinnvoll, steuern oder dimmen. Nur nach Bedarf beleuchten

Im Fokus stehen dabei das Leuchtmittel sowie die zum Betrieb benötigten elektronischen Baugruppen und Vorschaltgeräte. Ziel ist es, die elektrische Energie möglichst verlustarm in Licht umzuwandeln. Welche Grundsätze hierbei beachtet werden sollten, beschreibt das Kapitel 2.1. Leuchtmittel und Vorschaltgeräte.

Darüber hinaus sollte auf eine möglichst effiziente Lenkung des Lichts durch die verwendete Leuchte geachtet werden. Durch den Einsatz moderner Spiegeloptiken oder Linsensysteme kann das Licht zielgerichtet auf die Nutzfläche verteilt werden. Welche Grundsätze dabei beachtet werden sollten, beschreibt das Kapitel 2.2. Leuchten und Optiken.

Zusätzliches Einsparpotenzial kann durch eine bedarfsgerechte Beleuchtung realisiert werden. Dies setzt voraus, dass Beleuchtungssysteme durch Parameter wie Helligkeit, Zeit oder Verkehrsdichte gesteuert werden können. Welche Steuerungsmöglichkeiten sinnvoll sind, beschreibt das Kapitel 2.3. Steuerung und Dimmung.



Zur Steigerung der Energieeffizienz ist nicht immer ein kompletter Ersatzneubau notwendig. Zunächst sollte deshalb geprüft werden, ob sich der aktuelle Bestand durch relativ kostengünstige Nach- oder Umrüstungen optimieren lässt.

Die folgende Darstellung illustriert beispielhaft einige Möglichkeiten:

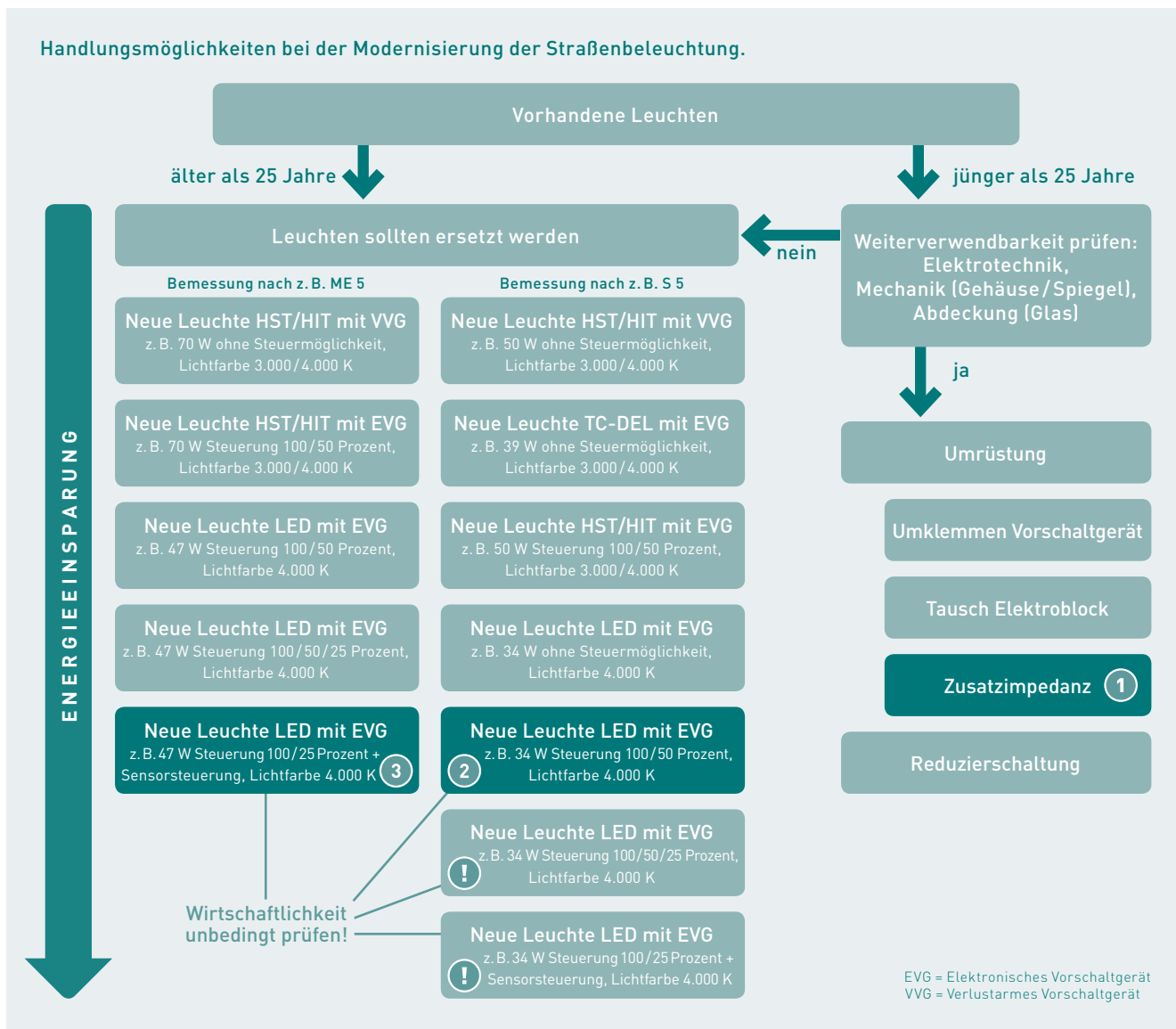



Abb. 01. Modernisierungsmöglichkeiten im Bestand. Die Beispiele 1 – 3 werden im Kapitel 4 Berechnungsbeispiele detaillierter erläutert.

 Excel-Dateien
mit Berechnungen
siehe Anhang

System Lampe-Leuchte.

Die Darstellung einer konventionellen Leuchte mit 70 W Natriumdampf-Hochdrucklampe und einer LED-Leuchte zeigt, wie sehr die einzelnen Komponenten verbunden sind und wie deren Optimierung maßgeblich zur Steigerung der Energieeffizienz beitragen kann.

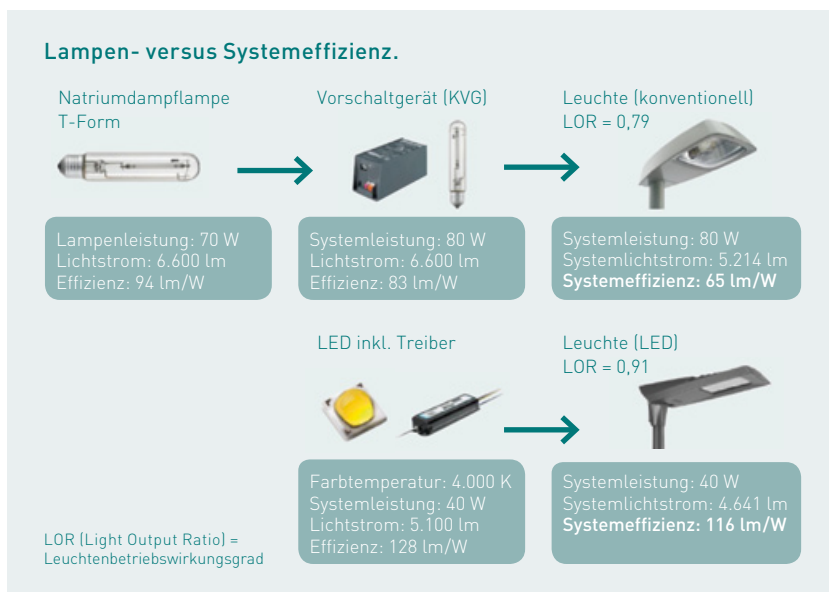


Abb. 02. Die Systemeffizienz beschreibt, wie energieeffizient ein Beleuchtungssystem tatsächlich arbeitet. [1]

Ansatzpunkte für eine effiziente und wirtschaftliche Straßenbeleuchtung.

Die nachfolgende Übersicht zeigt, welche Parameter der maßgeblichen Komponenten Einfluss auf die Energieeffizienz der Beleuchtungsanlage haben.



Abb. 03. Parameter mit Einfluss auf die Energieeffizienz einer Beleuchtungsanlage.

2. Technische Maßnahmen und Lösungen.

2.1. Leuchtmittel und Vorschaltgeräte.

In der Außenbeleuchtung werden bisher konventionelle Leuchtmittel, zumeist Gasentladungslampen eingesetzt. Darunter fallen Quecksilberdampf- und Natriumdampf-Hochdrucklampen, Halogenmetaldampflampen und Leuchtstofflampen bzw. Kompaktleuchtstofflampen.

Sie alle arbeiten nach dem Prinzip der Gasentladung. Hierbei wird innerhalb eines gasgefüllten Glaskolbens eine Mindestspannung zwischen Kathode und Anode angelegt, es kommt zu einer Gasentladung mit Lichtemission. Dabei wird zwischen Hoch- und Niederdruckentladung unterschieden.

Als Alternative zu konventionellen Leuchtmitteln setzt sich die LED-Technik zunehmend durch. Eine lichtemittierende Diode leuchtet, sobald elektrischer Strom in Durchlassrichtung fließt.

Notwendige Betriebsgeräte.

Aufgrund der Art der Lichterzeugung funktionieren sowohl Gasentladungslampen als auch LED-Lichtsysteme nur mit vorgeschalteten Betriebsgeräten. Während bei Entladungslampen Vorschalt- bzw. Zündgeräte verwendet werden, nutzen LED-Systeme eine Treiberelektronik (oft auch als LED-Treiber bezeichnet).

In der Vergangenheit wurden Entladungslampen an konventionellen Vorschaltgeräten betrieben. Diese sind robust und langlebig – als nachteilig erweisen sich jedoch der geringe Wirkungsgrad, die große Bauhöhe und das hohe Gewicht. Inzwischen werden daher auch im Bereich der Entladungslampen für den Außenbereich elektronische Vorschaltgeräte (EVG) verwendet.

Konventionelle Leuchtmittel basieren auf Gasentladung. Energiesparende LEDs nutzen das Prinzip der Halbleiterdiode.

Sowohl Gasentladungslampen als auch LED-Lichtsysteme brauchen zusätzliche Betriebsgeräte.

Elektronische Vorschaltgeräte (EVG)	
Vorteile	Nachteile
Flimmerfreies Licht	Größerer Einschaltstrom
Farbstabilität durch Leistungskonstanz	
Bis zu 50 Prozent längere Lampenlebensdauer (lt. Herstellerangabe)	Höherer Preis
Steigerung des Lichtstroms bis zehn Prozent durch geringere Kathodenverluste in Folge höherer Frequenz	Netzurückwirkungen durch hohe Schaltfrequenz bis ca. 100 kHz
Reduktion der Wiedereinschaltzeit um bis zu 50 Prozent	
Keine akustischen Resonanzen	
Abschaltung bei fehlender oder defekter Lampe	
Übertemperaturabschaltung	
Geringes Gewicht und Baugröße	
Steuerbar (geeignet für Lichtmanagementsysteme)	

Aufgrund höherer Einschaltströme bei EVGs und insbesondere bei LED-Treibern ist die maximal mögliche Anzahl von Leuchten pro Leitungsschutzautomat (Sicherung) zu beachten. Entsprechende Angaben liefern die Hersteller.

Bemessungsleistung.

Die Bemessungsleistung in [W] beschreibt die notwendige elektrische Leistung, bei Betrieb mit Bemessungsnetzspannung und bei definierter Bemessungsumgebungstemperatur (meist 25 °C), um 100 % des Lichtstroms zu erzeugen. Dieser Wert schließt die Leistungsaufnahme aller in der Leuchte eingebauten und für den Betrieb notwendigen Komponenten mit ein.

Technologie- und fertigungsbedingt können bei EVGs, Treiberelektronik und/oder LED-Modulen Schwankungen des Leistungswertes eintreten. Die Toleranzgrenze sollte +10 % der Bemessungsleistung nicht überschreiten. [2] Ein Wert unter der Bemessungsleistung ist nur dann positiv, wenn der Bemessungslichtstrom nicht unterschritten wird.

Wird bei LED-Leuchten die Konstantlichtstrom-Technologie eingesetzt, so ist ein weiterer Wert der Bemessungsleistung am Ende der definierten Lebensdauer anzugeben.

Bemessungslichtstrom.

Im Gegensatz zu konventionellen Leuchten, bei denen der Lichtstrom der eingesetzten Leuchtmittel angegeben wurde und erst mittels des Leuchtenwirkungsgrades der Lichtstrom ermittelt werden konnte, der tatsächlich aus der Leuchte austritt, wird bei LED-Leuchten i.d.R. gleich der Leuchtenlichtstrom als Bemessungslichtstrom angegeben. Dabei sollten die tatsächlichen Werte den Bemessungslichtstrom aus den Datenblättern nicht mehr als 10% unterschreiten. [2] Auch die Angabe des Bemessungslichtstroms gilt nur bei den angegebenen Randbedingungen, also Bemessungsnetzspannung und definierte Bemessungsumgebungstemperatur (meist 25 °C).

Lichtausbeute.

Die Lichtausbeute eines Leuchtmittels gibt an, wie effizient die eingesetzte elektrische Energie in Licht umgewandelt wird. Für die Beurteilung oder den Vergleich verschiedener Lichtausbeuten ist es wichtig, dass diese unter identischen Bedingungen ermittelt wurden und der gleichen Definition folgen.

So wird die Lichtausbeute von den Herstellern oft nur auf das reine Leuchtmittel bezogen, während der Messwert in anderen Fällen Leuchtmittel und Vorschaltgeräte umfasst. Häufig werden die Werte nur unter optimierten Laborbedingungen (bei 25 °C) ermittelt.

Eine hohe Lichtausbeute ist ein entscheidendes Kriterium zur Beurteilung der Energieeffizienz. Vor allem die Lichtausbeute der LED konnte in den letzten Jahren gesteigert werden. Dabei sollte jedoch nicht übersehen werden, dass auch die Technik der Entladungslampen verbessert wurde. [11]

Die nachfolgende Darstellung vergleicht die Lichtausbeute unterschiedlicher Leuchtmittel.

Immer darauf achten, ob sich angegebene Werte auf Leuchte oder Leuchtmittel beziehen.

Die Lichtausbeute ist entscheidend für die Energieeffizienz. Für einen Vergleich sind gleiche Definitionen notwendig.

Lampenlichtausbeute verschiedener Lampentypen in der Straßenbeleuchtung.

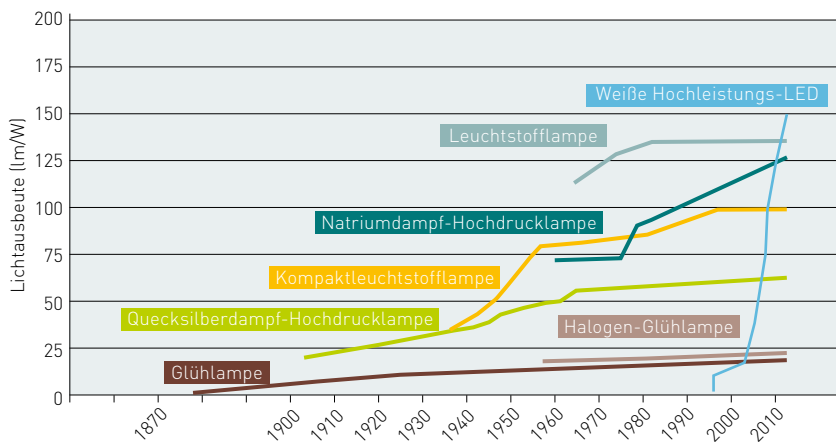


Abb. 04. Lampentypen:

- Glühlampe
- Halogen-Glühlampe
- Quecksilberdampf-Hochdrucklampe
- Kompaktleuchtstofflampe
- Natriumdampf-Hochdrucklampe
- Leuchtstofflampe
- Weiße Hochleistungs-LED

Technologieentwicklungen bei Investitionen berücksichtigen.

Verschiedene Prognosen zeigen, dass in den kommenden zwei bis vier Jahren mit einem weiteren Zuwachs der Lichtausbeute bei LED-Systemen zu rechnen ist. Bei Realisierung anstehender Modernisierungsprojekte in drei Jahren kann davon ausgegangen werden, dass die dann zur Verfügung stehenden Leuchten energieeffizienter sind als zum derzeitigen Zeitpunkt.

📎

Beispiel
Investitionszeitpunkt LED

Lebensdauer und Wartungsfaktor bei konventionellen Leuchten.

Zur Angabe der Lebensdauer eines Leuchtmittels gibt es unterschiedliche Definitionen: Bemessungslebensdauer, Nutzlebensdauer oder mittlere Lebensdauer. Sie liefern jeweils andere Werte, ein Vergleich ist nur bei gleichen zugrunde liegenden Definitionen möglich.

Der Lampenwartungsfaktor (LMF) entscheidet auch über den Energieverbrauch eines Leuchtmittels.

Die Lebensdauer von Leuchtmitteln endet nicht nur durch einen Totalausfall, sondern auch durch einen zu geringen Lichtstrom. Aus diesem Grund werden gegenwärtig meist zwei Kriterien angegeben, die beide Sichtweisen berücksichtigen: der Lampenlichtstromwartungsfaktor LLMF (Lamp Lumen Maintenance Factor) und der Lampenüberlebensfaktor LSF (Lamp Survival Factor). Durch Multiplikation beider Faktoren ergibt sich der Lampenwartungsfaktor (LMF). Funktionieren beispielsweise noch 90 Prozent aller Lampen und der Lichtstrom der Lampen ist auf 85 Prozent gesunken, ergibt sich daraus ein Wert von 76,5 Prozent. Je nachdem welcher Wert für den Anlagenbetreiber noch tolerabel ist, ergeben sich unterschiedliche Lebensdauern. Dieser Wartungsfaktor ist für die Berechnung des Energieverbrauchs über die Lampenlebensdauer von herausragender Bedeutung. Denn anhand des Wertes wird die anfänglich notwendige Überdimensionierung der Beleuchtungsanlage bestimmt. Dabei macht es einen erheblichen Unterschied, ob nach einer bestimmten Lebensdauer im Fall A ein Faktor von 0,65 des Neuwerts oder im Fall B von 0,85 des Neuwerts erreicht wird. Um am Ende der Lebensdauer ein gleiches Beleuchtungsniveau zu erreichen, müsste die neu zu installierende Leistung im Fall A um 15 Prozent höher ausfallen als im Fall B. Der geforderte Wartungsfaktor hat darüber hinaus, speziell bei LED-Systemen, entscheidende Bedeutung für das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung und somit für die Investitionsentscheidung.

Bei konventionellen Leuchtmitteln sind Berechnungsmethoden auf Basis des Lampenlichtstromwartungsfaktors (LLMF) und des Lampenüberlebensfaktors (LSF) fest etabliert. Bei LED-Lichtsystemen lassen sich beide Faktoren nicht nutzen, da hier eine einzelne Leuchte aus einer Vielzahl von Leuchtmitteln besteht. Daher werden bei LED-Systemen abweichende Berechnungsverfahren herangezogen.

Lebensdauerkriterien von LED-Systemen.

Zuallererst wird ein Wert L_x definiert. Dieser gibt an, nach wie vielen Betriebsstunden ein bestimmter Prozentsatz des Ursprungslichtstroms der Leuchte noch vorhanden ist (beispielsweise L80 bei 50.000 h). [2] Bei LED-Leuchten kann dies theoretisch durch Rückgang des Lichtstroms aller LEDs auf 80 Prozent oder einen Totalausfall von 20 Prozent der LEDs oder die Kombination beider Ereignisse ausgelöst werden. Praxisrelevant ist der letztgenannte Fall, weshalb zusätzlich ein Wert B_γ angegeben wird. Dieser sagt aus, welcher Anteil der Leuchten (nicht LEDs in einer Leuchte oder einem LED-Modul) den angegebenen Lichtstrom L_x unterschreiten. L80B10 bedeutet somit: Lichtstromrückgang auf 80 Prozent, wobei 10 Prozent der LED-Leuchten den Restlichtstrom von 80 Prozent unterschreiten. Wird B_γ nicht explizit ausgewiesen, ist von B50 auszugehen.

Entscheidend für die Lebensdauer von LED-Systemen ist der Lichtstromrückgang.

Eine dritte Messgröße ist der Wert L_0C_2 . Dieser gibt an, welcher Anteil der LED-Leuchten bis zum Ende der Bemessungslebensdauer total ausgefallen ist. L_0C_3 bei 50.000 h bedeutet somit, dass drei Prozent der LED-Leuchten nach 50.000 h total ausgefallen sind.

 Exkurs Lebensdauerangaben LED

In Anlehnung an die Angabe von LLMF und LSF sollten Anbieter zur Qualitätssicherung eine einfach handhabbare und gut vergleichbare Tabelle wie im folgenden Beispiel veröffentlichen.

Empfohlene Darstellung von Wartungsfaktoren für LED-Leuchten – Beispiel.

Bemessungslebensdauer			Betriebsdauer in 1.000 h																				
Kennwerte			1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
L80 B10	50.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84	0,82	0,81	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,72	0,70
		LSF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Auch die Verschmutzung der Leuchte und die Vergilbung bzw. Eintrübung des Abdeckglases reduzieren den Lichtstrom. Diese Beeinträchtigungen werden im Leuchtenwartungsfaktor (LMF) abgebildet.

Der Wartungsfaktor berücksichtigt zudem Alterung, Verschleiß und Verschmutzung der Leuchte.

Aus allen bislang vorgestellten Faktoren lässt sich nun der Wartungsfaktor (MF) ableiten. Es gilt:

Wartungsfaktor (MF)	$MF = LLMF \times LSF \times LMF$
---------------------	-----------------------------------

Temperaturverhalten.

Insbesondere bei zwei Anwendungsfällen spielt das Temperaturverhalten der jeweiligen Leuchtmittel in der Außenbeleuchtung eine Rolle: Leuchtstofflampen und LEDs.

Bei Leuchtstofflampen verringert sich der Lichtstrom bei sinkender Umgebungstemperatur stark. Besonders in den Wintermonaten, in denen die Straßenbeleuchtung früher angeschaltet wird, ist dies spürbar. Denn herkömmliche Kompaktleuchtstofflampen erreichen erst bei Temperaturen von 25 °C bis 50 °C einen Lichtstrom oberhalb ca. 90 Prozent.

Speziell für die Außenbeleuchtung entwickelte Lampen begegnen diesem Effekt. So ermöglicht eine andere Positionierung der Brücke zwischen den beiden Leuchtstoffröhren eine Verschiebung des Lichtstrommaximums in Richtung geringerer Außentemperaturen im Bereich von 5 °C bis 30 °C. Alternativ kann durch den Einsatz von Thermoschutzkappen das Lichtstrommaximum auf ca. 5 °C verschoben werden, so dass 90 Prozent des Lichtstroms im Bereich von -7 °C bis 18 °C erreicht werden.

Die moderne Amalgamtechnologie ermöglicht es überdies, einen Lichtstrom oberhalb 90 Prozent in einem deutlich breiteren Temperaturbereich zwischen 10 °C bis 70 °C zu erreichen. Diese Technologie steht derzeit erst für ausgewählte Kompaktleuchtstofflampen zur Verfügung. Die Nachteile bei diesen Technologien sind jedoch eine geringere Schaltfestigkeit und ein langsames Anlaufen der Lampen.

Ein anderer Zusammenhang spielt bei LEDs eine entscheidende Rolle. Während Entladungslampen ca. 30 Prozent der Wärme durch Strahlung abgeben, geben LEDs die meiste Wärme über Wärmeleitung bzw. durch Konvektion an die Umgebung ab. Ohne ein wirkungsvolles thermisches Management verringern sich Lichtausbeute und Lebensdauer rapide. [3]

Als Bemessungstemperatur für LED-Leuchten sind zwei Temperaturkennziffern relevant. Zum einen die höchste Bemessungstemperatur t_a , deren Wert nur kurzzeitig um 10 K im Betrieb überschritten werden darf und zum anderen die Temperaturangabe t_q (Qualität), bei deren Einhaltung die angegebenen Eigenschaften (Lebensdauer, lichttechnische Werte) garantiert werden. Es sind mehrere t_q -Werte mit den entsprechenden Eigenschaften denkbar. Werden keine Werte im Datenblatt oder auf der Leuchte angegeben, so sind t_a und t_q bei 25 °C anzunehmen. [2]

Für die Außenbeleuchtung sind spezielle Leuchtstofflampen verfügbar.

Je kühler, desto länger die Lebensdauer und desto effizienter die LED.

Einfluss der Temperatur auf die Lebensdauer von LED.

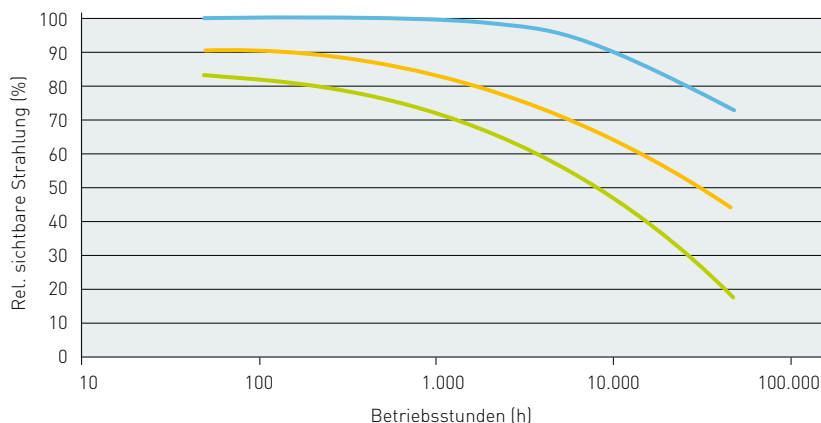


Abb. 05. LED-Lichtausbeute in Abhängigkeit der Chip-temperatur und der Lebensdauer [3]

55 °C
85 °C
100 °C

Farbwiedergabe und Lichtfarbe.

Eine gute Farbwiedergabe trägt in der Praxis zum früheren Erkennen von Gefahrenquellen in den Dunkelstunden bei. Darüber hinaus wird ein kontinuierliches Farbspektrum wie z. B. bei der LED als angenehmer empfunden als das Linienspektrum von Gasentladungslampen.

Im Vorfeld sollte die Lichtfarbe bzw. Farbtemperatur festgelegt werden. Diese Festlegung hat auch Einfluss auf die Energieeffizienz, da bei wärmerem Licht (3.000 K) aufgrund der physiologischen Gegebenheiten nur geringere Lichtausbeuten realisiert werden können. Der Faktor liegt in diesem Fall bei ca. 0,87 gegenüber Leuchtmitteln mit 4.000–5.000 K. Außerdem sinkt bei LEDs gleicher Leistung die thermische Belastung mit höherer Farbtemperatur. Unter dem Aspekt der Energieeffizienz ist eine Farbtemperatur von ≥ 4.000 K empfehlenswert.

Besonders energieeffizient ist der Einsatz von LEDs mit ≥ 4.000 K Farbtemperatur.

Die Farbwiedergabe verschiedener Lampentypen im Vergleich.

Lampe	Farbwiedergabeindex (Ra)
Sonnenlicht, Glühlampe	100
LED-Lampen	80–95
Halogen-Metaldampflampen mit Keramikbrenner	>90
Leuchtstofflampen, Fünfbandenlampen	70–85
Leuchtstofflampen, Dreibandlampen	>80
Kompaktleuchtstofflampen, Energiesparlampen	80–89
Halogen-Metaldampflampen	65–96
Leuchtstofflampen, Standardlampen	60–75
Quecksilberdampf-Hochdrucklampen	40–59
Natriumdampf-Hochdrucklampen	20–39
Natriumdampf-Niederdrucklampen	<20

Abb. 06. Die Farbwiedergabe verschiedener Lampen im Vergleich.

Farbtoleranzen.

Insbesondere für LED-Leuchten aber auch konventionellen Leuchtmitteln ist neben der Farbwiedergabe und Lichtfarbe auch deren Farbtoleranzbereich ein wesentliches Kriterium der Farbqualität.[2] Bedingt durch Technologie und Fertigungsprozess unterliegt die Produktion von LEDs einer sichtbaren Toleranz, beispielsweise hinsichtlich der Lichtfarbe. Die Hersteller nehmen eine Sortierung nach möglichst ähnlicher Lichtfarbe, das sogenannte Farb-Binning, vor.

Zudem sollte der Betreiber einer Straßenbeleuchtung seinerseits maximal akzeptable Toleranzschwellen festlegen, die Leuchten im Neuzustand nicht überschreiten dürfen. Zum Einsatz kommen dann nur LED-Leuchten, die die entsprechenden Grenzwerte laut Datenblatt einhalten.

Zur Beschreibung dieser Toleranzgrenzen und damit zur Festlegung von Farbort, Form und Größe der Bins zur Sortierung der LEDs beim Hersteller hat sich die Angabe von MacAdam-Ellipsen etabliert. MacAdam-Ellipsen beschreiben Bereiche im CIE-Farbdigramm, bei dem noch keine Farbunterschiede zwischen Zentrum der Ellipse und Außengrenze wahrnehmbar sind.

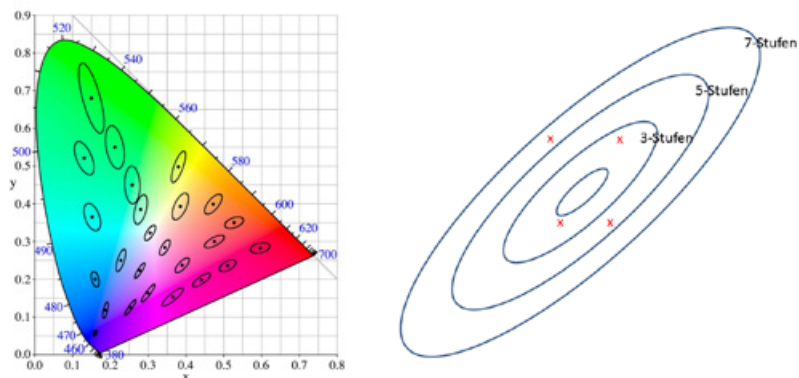


Abb. 06b. MacAdam-Ellipsen, die Ellipsen sind zur Verdeutlichung 10-fach vergrößert. Die Größe einer MacAdam-Ellipse, d. h. die Abweichung vom Ziel-Farort, wird in SDCM [Standard Deviation of Colour Matching] angegeben. [12]

Abb. 06c. Die ursprüngliche, innere MacAdam-Ellipse wird in mehreren Stufen vergrößert. Diese Stufen dienen der Unterscheidung von Lichtquellen hinsichtlich ihrer Abweichungen bei der Lichtfarbe. Die eingezeichneten Punkte entsprechen verschiedenen Lichtquellen.

Die Original-Ellipsen, wie in Abb. 06b dargestellt, werden um das n-fache des Durchmessers vergrößert, so dass man eine Stufung erhält. Diese 3-, 5- oder 7-Stufen-MacAdam-Ellipsen werden zur Unterscheidung zweier Lichtquellen herangezogen. Die Stufung von MacAdam-Ellipsen gibt an, wie weit die Lichtfarbe einzelner LED-Module voneinander abweichen. Z.B. unterscheiden sich Lichtquellen in einer 3-Stufen-MacAdam-Ellipse in der Lichtfarbe weniger stark als Lichtquellen, deren Lichtfarbe nur innerhalb einer 5-Stufen-Ellipse liegen. Bis Stufe 3 sind in der Regel geringe Farbunterschiede wahrnehmbar. LED-Straßenleuchten im Neuzustand sollten Stufe 5 möglichst nicht überschreiten. Durch Alterungsprozesse kommt es über die Lebensdauer zu Veränderungen der Lichtfarbe. Aus diesem Grund ist zu empfehlen, einen maximal tolerablen Stufenwert (z. B. 7) für das Ende der definierten Lebensdauer anzugeben bzw. festzulegen. Alle genannten Werte sollten sich auf die LED-Leuchte und nicht auf das einzelne LED-Modul beziehen.

Steuerbarkeit.

Die Anpassung der Straßenbeleuchtung an den tatsächlichen Bedarf spart Energie. Voraussetzung hierfür ist die Steuerbarkeit der eingesetzten Leuchtmittel bzw. Lichtsysteme. Auch der Einsatz von Lichtmanagementsystemen setzt die Steuerbarkeit der Leuchtmittel voraus. Meist wird die mögliche Leistungsabsenkung mit einer Verschlechterung der Systemlichtausbeute erkauf – pro Watt elektrischer Leistung wird also weniger Licht erzeugt. Entladungslampen eignen sich nur eingeschränkt zum Einsatz mit Lichtmanagementsystemen, da sie nur begrenzt dimmbar sind und auf Spannungsabsenkung mit abfallender Lichtausbeute sowie Farbveränderung reagieren. Demgegenüber ist eine Dimmung von LED-Systemen unter Inkaufnahme einer geringen Verschlechterung der Lichtausbeute gut umsetzbar.

Dimmung: LED und Natriumdampf-Hochdrucklampe im Vergleich.

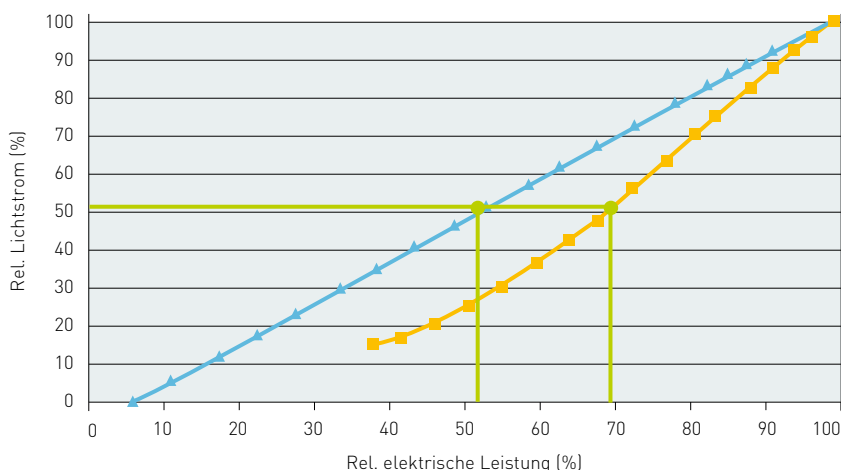


Abb. 07. Verlauf des relativen Lichtstromrückgangs in Abhängigkeit der relativen Leistungsaufnahme bei einer Leuchte mit Natriumdampf-Hochdrucklampe und bei einer LED-Leuchte. [3]

■ LED-Leuchte
■ Leuchte mit Natriumdampf-Hochdrucklampe

Zusammenfassung ausgewählter Leuchtmittel.

Natriumdampf-Hochdrucklampe	
Vorteile	Nachteile
Kostengünstigste Variante	Schlechte Farbwiedergabe
Bewährte, langlebige Technologie	Bei KVG Zündgerät erforderlich
Durch klare Röhrenlampen gute Lichtlenkung möglich	Benötigt Anlaufzeit, nicht sofort wieder zündbar (Ausnahme Doppelbrennerlampe)
Dimmung auf 60 Prozent Leistung möglich	
Sehr gute Lichtausbeute	

Halogen-Metaldampflampe	
Vorteile	Nachteile
Sehr gute Farbwiedergabe	Bedingt dimmbar
Durch klare Röhrenlampen gute Lichtlenkung möglich	Benötigt Anlaufzeit, nicht sofort wieder zündbar
Sehr gute bis gute Lichtausbeute	

Kompaktleuchtstofflampe	
Vorteile	Nachteile
Kostengünstige Variante	Lichtstrom temperaturabhängig
Gute Farbwiedergabe	Eingeschränkte Lichtlenkung durch große Abmessungen
	Teilweise geringere Lebensdauer
	Mögliche Brüche bei waagerechter Brennlage und langer Ausdehnung durch Vibrationen

LED	
Vorteile	Nachteile
Sehr gute Steuer- und Regelungsmöglichkeiten	Keine Langzeiterfahrungen, Wirtschaftlichkeitsberechnungen beruhen auf Annahmen und Schätzungen
Sehr gute Lichtlenkung	
Sehr gute Lichtausbeute	Lichtstrom temperaturabhängig, positiv bei geringen Temperaturen, Thermomanagement erforderlich

2.2. Leuchten und Optiken.

Aufbau.

Im Aufbau unterscheiden sich konventionelle Leuchtmittel und LED-Leuchten grundsätzlich, wie die folgenden Schnittzeichnungen zeigen.

Konventionelle Leuchte:



Konventionelle Leuchte mit Vorschalt- und Zündgerät für Gasentladungslampen.

Abb. 08. Schnittzeichnung konventionelle Leuchte. [4]

Gehäuse:

- ① Verschluss
- ② Dichtung
- ③ Mastansatz mit Neigemöglichkeit
- ④ Fassungsträger

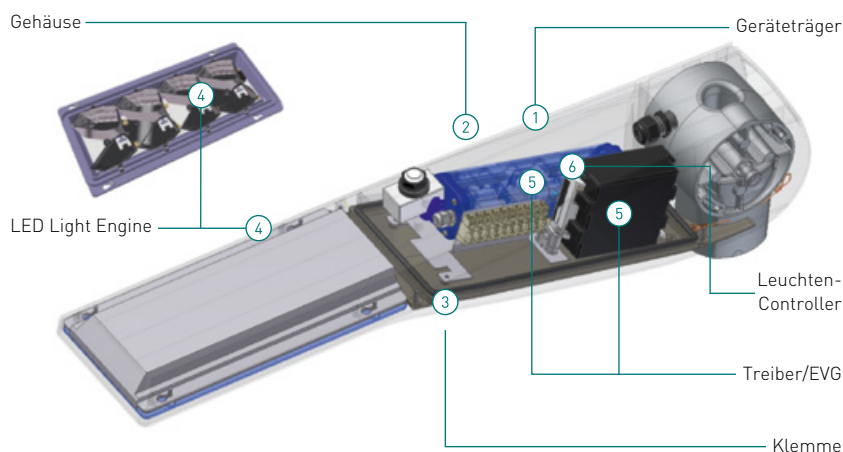
Lichttechnik:

- ⑤ Lichttechnische Einstellung
- ⑥ Reflektor
- ⑦ Abschlusswanne

Elektrische Bauteile:

- ⑧ Vorschaltgerät
- ⑨ Zündgerät
- ⑩ Kondensator
- ⑪ Netztrenner

LED-Leuchte:



LED-Leuchte mit Leuchten-Controller, LED-Treiber und LED-Lichtsystem.

Abb. 09. Schnittzeichnung LED-Lichtsystem. Foto: Siteco Beleuchtungstechnik GmbH [5] w

Lichtverteilung.

Moderne Leuchten bzw. Lichtsysteme zeichnen sich durch ihre gute Lichtlenkung aus. Aus energetischer Sicht spielt die Lichtstärkeverteilungskurve eine zentrale Rolle. Sie gibt Aufschluss darüber, wie viel des vom Leuchtmittel erzeugten Lichts auf eine definierte Nutzfläche gelenkt wird.

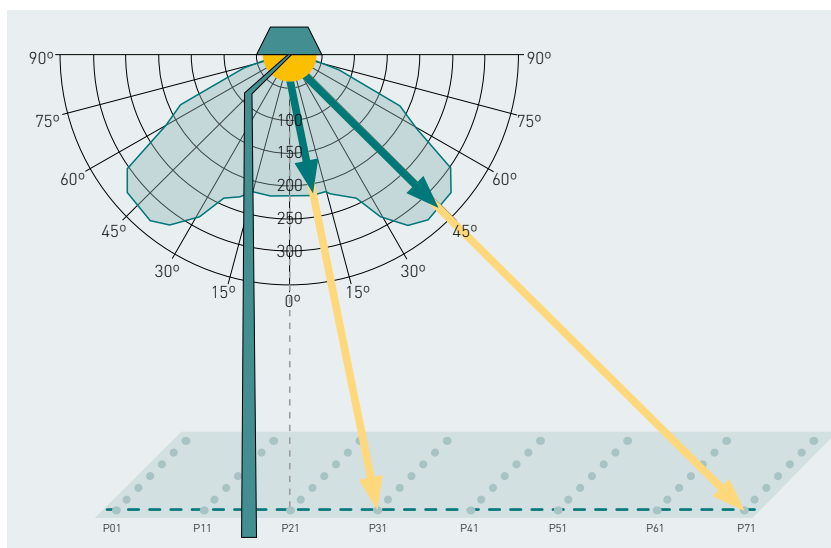


Abb. 10. Lichtstärkeverteilungskurve einer optimierten konventionellen Leuchte. Lichtstärkeverteilungen mit Maxima bei Abstrahlwinkeln von 45° bis 60° zur Horizontalen ermöglichen große Lichtpunktabstände und können damit die Investitionskosten (Anzahl Tragsysteme und Leuchten pro Kilometer Straße) minimieren.

CO-C180

Bei konventionellen Leuchten werden optimale Lichtstärkeverteilungskurven beim Einsatz klarer Lampen und kleiner Brenner (z. B. in HST-Lampen) erreicht, die liegend in optimierten Optiken montiert sind. Oft lässt sich die zu installierende Leistung durch den Einsatz von Leuchten mit modernen Reflektoren reduzieren oder im Falle eines Neu- oder Ersatzneubaus die Lichtpunktanzahl verringern. Aktueller Stand der Technik sind bedampfte Freiformflächen-Facettenspiegeltöpfe mit minimalem Streulichtanteil.

Lichtverteilungscharakteristika.

Für LED-Leuchten existieren zur Lichtverteilung derzeit zwei Ansätze. Beim Multispot-Ansatz bestrahlt jede einzelne LED einen definierten Bereich der zu beleuchtenden Fläche. Beim Multilayer-Ansatz bestrahlen dagegen alle LEDs die Nutzfläche. Kommt es zum Ausfall einzelner LEDs, so entstehen im ersten Fall Dunkelzonen, in denen möglicherweise Hindernisse nicht wahrgenommen werden können. Bei der Multilayer-Technik verringert sich das Beleuchtungsniveau bei unveränderter Gleichmäßigkeit. Damit ist die Gefahr, Hindernisse zu übersehen, geringer. Aus diesem Grund ist die Multilayer-Technik vorzuziehen.

In LED-Leuchten kommen sowohl Linsensysteme als auch Reflektoren zum Einsatz. Beide Systeme erlauben im Vergleich zu konventionellen Leuchten eine noch bessere Lichtlenkung.

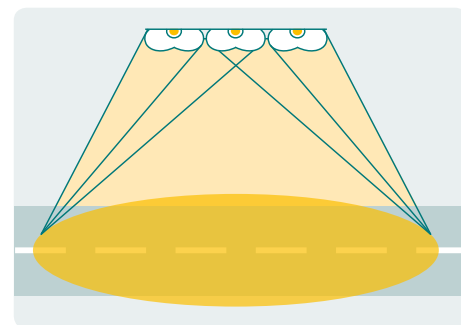
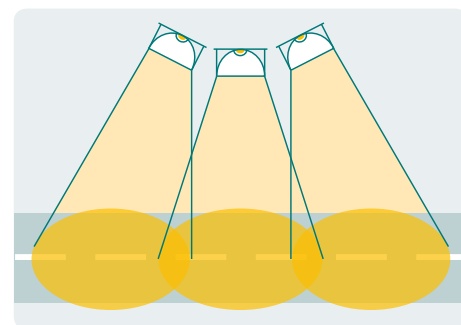


Abb. 11. Multispot- vs. Multilayer-Technik

Linsensystem, Reflektorsystem und LED-Module.



Auswahl LED-Leuchten mit Linsensystem, Reflektorsystem oder linearem LED-Modul.

Abb. 12.

Auswahl LED-Leuchten mit Linsensystem:
 a) Ampera Foto: Schröder GmbH
 b) Baureihe 47 Foto: ADOLF SCHUCH GMBH
 c) Luma Foto: Philips
 d) Alfons Foto: LEIPZIGER LEUCHTEN

Auswahl LED-Leuchten mit Reflektorsystem:
 e) Puro 770 Foto: ZETT HELLUX GmbH
 f) Convia Foto: TRILUX GmbH & Co. KG
 g) 7950 Foto: BEGA

Leuchte mit LLM LED-Modul:
 h) ASL 2010/1 Foto: LEIPZIGER LEUCHTEN
 Diese LED-Module stellen eine Zwischenlösung dar, die ein konventionelles Leuchtmittel nachbilden. Diese sind zwar weniger energieeffizient als optimierte LED-Leuchten mit Linsen- oder Reflektortechnik, passen sich aber dem Altbestand an bzw. sind umrüstbar.

Qualitätsmerkmale.

Leuchten müssen mit dem CE-Zeichen gekennzeichnet sein und sollten ein VDE- oder ENEC-Zeichen tragen. Diese Kennzeichnungen dokumentieren die Normenkonformität und Prüfung der Leuchten. Neben den bereits beschriebenen lichttechnischen Eigenschaften haben mechanische und elektrische Eigenschaften einer Leuchte wesentlichen Einfluss auf die Wartungs- und Instandhaltungskosten. Folgende Grundsätze sollten beachtet werden:

- Bauteile sollten langlebig, standardisiert, modular aufgebaut und austauschbar sein.
- Ersatzteilbeschaffung über die Lebensdauer muss gewährleistet sein.
- Geringes Gewicht der Leuchte (≤ 15 kg).
- Leuchten mit einer IP-Schutzart von mind. IP54, besser IP65 einsetzen. Der IP-Code gibt Aufschluss über den Schutz gegen eindringende Fremdkörper bzw. Feuchtigkeit.
- Austauschbares Druckausgleichventil einsetzen, ab IP65 zwingend erforderlich.
- Vandalismussicherheit, Stoßfestigkeit \geq IK08. Der IK-Code gibt Aufschluss über den Schutz gegen Stoß- bzw. Schlagenergie (mechanische Belastung).
- Werkzeugloser Wechsel von Lampe und Elektroblick bei konventionellen Leuchten.

Achten Sie auf das VDE- bzw. ENEC-Zeichen und einen ausreichend hohen IP- und IK-Schutz der Leuchten.

Normung und Standardisierung.

Um Komponenten herstellerunabhängig und dem aktuellen Stand der Technik entsprechend ersetzen zu können, bedarf es einer Standardisierung der Schnittstellen. Bei herkömmlichen Lampen wurde dies z. B. durch die Standardisierung der Sockel (E27, E40) erreicht. Das globale Industriekonsortium Zhaga widmet sich der Standardisierung der LED-Technik. Schwerpunkt ist aber eher die Vereinheitlichung der internen Komponentenschnittstellen.

Überspannungsschutz.

Überspannungen können durch Kurzschlüsse oder Ein- und Ausschaltvorgänge im Netz, Blitzeinschläge in der Umgebung sowie elektrostatische Entladung entstehen. Aufgrund der hohen Investitionskosten bei modernen Lichtsystemen und deren Sensibilität gegen Überspannungen (bedingt durch den Einsatz von elektronischen Baugruppen), sollte dem Überspannungsschutz ausreichend Rechnung getragen werden.

Folgende Punkte sollten hinsichtlich Überspannungsschutz beachtet werden:

- Nur Leuchten mit ausreichendem Überspannungsschutz installieren (≥ 6 kV, besser ≥ 10 kV).
- Bei größeren Stückzahlen Stoßspannungsfestigkeit überprüfen oder Bestätigung einholen.
- Zusätzliche Überspannungsschutzeinrichtungen vor der Leuchte im Kabelübergangskasten oder/und im Schaltschrank installieren.
- Angaben zur Spannungsfestigkeit in Garantiebedingungen/Ausschreibung verankern.

Wie viel Aufwand für den Überspannungsschutz tatsächlich sinnvoll ist, hängt auch von der Wahrscheinlichkeit von Blitzeinschlägen in der jeweiligen Region und von Anzahl und Höhe von Überspannungen im Netz ab. Es sollte aber beachtet werden, dass bei Blitzeinschlägen in einer Entfernung von ca. 200 m zur Anlage noch Spannungen von > 70 kV zur fernen Erde auftreten können. In diesen Fällen helfen keine der typischerweise eingesetzten Überspannungsschutzeinrichtungen.

Garantiebestimmungen.

Moderne Lichtsysteme, die zumeist auf LED-Technik basieren und mit Steuerungs- oder Regelungstechnik einschließlich der erforderlichen Sensorik ausgerüstet sind, kosten mehr als konventionelle Leuchten. Die Angaben in Werbebroschüren und Datenblättern weichen häufig deutlich von den tatsächlich garantierten Werten ab. Aus diesem Grund ist es von großer Bedeutung genau zu analysieren, was wirklich garantiert wird und welche Voraussetzung dafür zu erfüllen sind. Der Anhang „Übersicht Garantiebedingungen“ stellt beispielhaft einige Angaben von Herstellern gegenüber. Dabei sollte auf einen Garantiezeitraum von mindestens fünf Jahren geachtet werden. Die Garantieleistungsbedingungen sollten folgende Inhalte abdecken:

- Zertifizierungen, Nachweise und Produktdokumentationen
- Garantierte maximale Ausfallraten von Komponenten und Modulen
- Genaue Definition, wann ein Fehler vorliegt (Pixelausfall/Modul/Leuchte)
- Garantieumfang und Ersatzteilbeschaffungsgarantien einschließlich Lieferbedingungen und/oder Austauschkosten im Garantieleistungszeitraum

Achten Sie auf Einschränkungen in den Garantiebedingungen, wie in folgenden Beispielen aus der Praxis enthalten:

- Die Garantiezeit gilt für eine Brenndauer von maximal 4.000 Stunden/Jahr.
- Die Garantie gilt nur für eine maximale Umgebungstemperatur bis +35 °C.
- Im Falle eines Austauschs des Produkts nach einer anerkannten Forderung beginnt keine neue Garantiezeit.
- Die Garantie ist nur gültig, wenn das Produkt in einem elektrischen Netz betrieben wird, das mit einem Schutz gegen atmosphärische Störungen ausgestattet ist.
- Garantieansprüche müssen innerhalb von 30 Tagen nach Entdecken des Fehlers gemeldet werden.
- Die Garantie setzt die Registrierung der Beleuchtungsanlage innerhalb von 90 Tagen ab Rechnungsdatum in einem Online-Portal voraus.

Die Investition in moderne LED-Systeme sollte durch umfangreiche Garantien abgesichert werden.



Übersicht
Garantie-
bedingungen

Praxiserfahrungen mit LED-Leuchten.

Einen wesentlichen Aspekt beleuchtet eine Studie des Lichttechnischen Instituts am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Diese Studie zeigt, dass nur in neun Prozent der Fälle das eigentliche LED-Modul Ausfallursache der LED-Leuchte war. 50 Prozent aller Ausfälle waren auf die Treiberelektronik zurückzuführen. Ebenso ist der Anteil der Ausfälle, der durch das Leuchtengehäuse verursacht wurde, nicht zu vernachlässigen.

LED-Straßenleuchten Ausfallursachen.

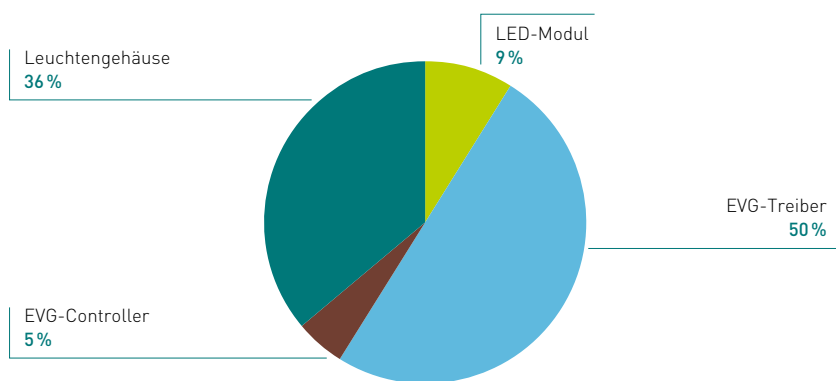


Abb. 13a. Aufschlüsselung der Ausfälle bei LED-Straßenleuchten nach Verursachern. [7]

- LED-Modul
- EVG-Treiber
- EVG-Controller
- Leuchtengehäuse

Solche Ergebnisse zeigen, dass auch bei LED-Leuchten mit Wartungskosten im Lebenszyklus gerechnet werden muss und diese Kosten auch bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht vernachlässigt werden dürfen. Abb. 13b zeigt, dass bei einigen, unter Praxisbedingungen getesteten LED-Leuchten bereits nach 7000 h ein starker Lichtstromrückgang zu verzeichnen ist.

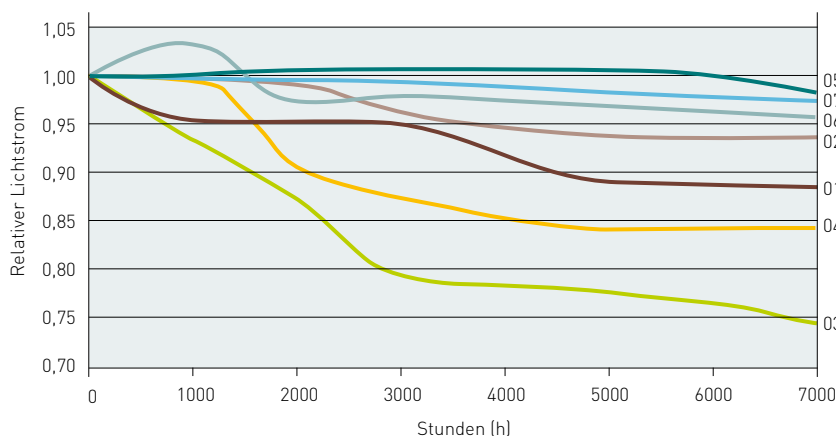


Abb. 13b. Lichtstromrückgang von 7 getesteten LED-Außenleuchten, Messzeitraum 7000 Betriebsstunden [11]

- 01
- 02
- 03
- 04
- 05
- 06
- 07

Die Erkenntnisse aus den Abbildungen 13a und 13b zeigen, dass auf klare Angaben hinsichtlich Lebensdauer, deren Randbedingungen sowie der Ausfallraten geachtet werden muss. Die Garantieaussagen der Hersteller sollten nicht nur einzelne Komponenten (z.B. LED-Modul) umfassen, sondern sich immer auf die gesamte Leuchte beziehen.

Das LED-Leuchtendatenblatt sollte folgende Angaben umfassen:

Leuchtenbezeichnung: Typ:		Beispiel
Leuchtenbemessungsleistung	P [W]	23 W
Leuchtenbemessungslichtstrom	Φ_v [lm]	2.500 lm
Farbwiedergabe	CRI oder Ra	≥ 75
Ähnlichste Farbtemperatur	CCT [K]	4.000 K
Farbtoleranz (Anfangswert)	Anzahl der MacAdam-Ellipsen	5
Farbtoleranz (Endwert)	Anzahl der MacAdam-Ellipsen bei Erreichen der definierten Lebensdauer	7
Bemessungslebensdauer	$L_x B_y$ [h]	$L_{80} B_{10}$ 50.000 h
Rate der Totalausfälle am Ende der Bemessungslebensdauer	C_y [h]	C_5 50.000 h
Umgebungstemperatur, bei der die angegebenen Werte eingehalten werden	t_q [°C]	25 °C
Höchste Umgebungstemperatur	t_a [°C]	35 °C

Die beigefügten Unterlagen und spezifischen Konstruktionseigenschaften einer Leuchte sind für den Betrieb und die spätere Instandhaltung von Bedeutung. Eine Checkliste zu wichtigen Auswahlkriterien finden Sie im Anhang.



Zusammenfassung Leuchten.

Technische Leuchten verfügen gegenüber dekorativen Leuchten i. d. R. über bessere lichttechnische Eigenschaften. Sie verfügen über eine optimierte Lichtverteilung, sind günstiger in der Anschaffung und verbrauchen weniger Energie. Technische Leuchten sind deshalb für die Straßenbeleuchtung zu bevorzugen. Bei Neubau- oder Modernisierungsmaßnahmen muss zwischen stadtgestalterischem Anspruch und der energetisch sinnvollsten Lösung abgewogen werden.

Ein entscheidendes Kriterium bei der Leuchtenwahl sind die Kosten pro Kilometer zu beleuchtender Straße. Eine hohe Lichtausbeute des Leuchtmittels, ein hoher Leuchtenbetriebswirkungsgrad sowie eine optimale Lichtverteilungscharakteristik sind zentrale Eigenschaften, die die Kosten beeinflussen.

Daher dürfen nicht nur die Kosten eines einzelnen Lichtpunkts verglichen werden, auch die erforderliche Lichtpunktzahl pro Kilometer ist zu berücksichtigen. Nur lichttechnisch optimierte Leuchten gestatten einen möglichst großen Lichtpunkt- abstand und damit eine möglichst geringe Anzahl von Leuchten pro Kilometer Straße und halten zugleich das vorgegebene Beleuchtungsniveau ein.

2.3. Steuerung und Dimmung.

Bedarfsgerechte Beleuchtung hilft beim Energiesparen. Dazu muss das Beleuchtungssystem in der Lage sein, seine Leistung in Abhängigkeit von Einflussgrößen wie Verkehrsdichte, Helligkeit oder Zeit zu steuern. Bei der geplanten Absenkung des Beleuchtungsniveaus sollten aktuelle Normen und wahrnehmungspsychologische Aspekte berücksichtigt werden.

Bedarfsgerechte Beleuchtung spart Energie. Voraussetzung dafür sind steuerbare Beleuchtungssysteme.

Es wird zwischen zentraler Steuerung (meist über Tonfrequenz- oder Funksteuerung) und regionaler Steuerung (i. d. R. über Dämmerungsschalter oder Zeitschaltuhren) unterschieden. Dabei werden jeweils ganze Straßenzüge bzw. Stromkreise gemeinsam geschaltet. Eine weitere Möglichkeit sind Steuereinheiten, die sich direkt in den Lichtpunkten befinden. In diesem Fall werden in den Leuchten digitale Leistungsschalter eingesetzt, die je nach Programmierung die Betriebszustände der Leuchte umschalten.

Vor einer Entscheidung für den Einsatz von Steuerungen sollte in jedem Fall eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgen. So ist der Einsatz von Steuerungstechniken zu hinterfragen, die möglicherweise die Störanfälligkeit und Ausfallwahrscheinlichkeit des Systems erhöhen, z. B. bei Verwendung von LED-Leuchten mit ≤ 20 W in Anliegerstraßen.

Maßnahmen zur Leistungsreduzierung bzw. Leuchtensteuerung dienen der Energieeinsparung und nicht der Verbesserung der Energieeffizienz. Die folgende Darstellung gibt einen ersten Überblick über Steuer- und Regelungsmöglichkeiten.

Übersicht über gängige Steuer- und Regeltechnik für Straßenbeleuchtungen.

	Einzel	Gruppe	Netz
	Steuerung nach Zeit: EVG mit Dimmprofil	Steuerung nach Zeit: Astrouhren, Brennstundenkalender	Steuerung nach Zeit: individuelle Dimmprofile, Ereignisse
	Schalten auf Anforderung: SMS, Anruf	Schalten auf Anforderung: SMS, Anruf	Schalten auf Anforderung: SMS, Anruf, Web, App, Zentrale
	Steuerung nach Alter: Konstantlichtstrom	Regelung nach Helligkeit: Dämmerungsschalter	Regelung nach Helligkeit: Dämmerungsschalter
		Regelung nach Verkehrsaufkommen: Bewegungsmelder, Verkehrszählung	Regelung nach Verkehrsaufkommen: Bewegungsmelder, Verkehrszählung
			Zukunft: Regelung nach Wetter, z. B. Änderung Lichtverteilung
Energieeinsparung	X	X	X
Bedarfsgerechte Beleuchtung	—	○	X
Flexibilität	—	○	X
Verbesserung der Wahrnehmungssicherheit	—	—	X
Wartungsoptimierung	—	—	X
Verbrauchszählung	—	X	X

X gut möglich
 ○ bedingt möglich
 — nicht unterstützt

Einflussgrößen für die Steuerung.

Zeit.

Die zeitabhängige Steuerung von Beleuchtungsanlagen wird überwiegend mittels eines Brennstundenkalenders realisiert. Dieser legt die Schaltpunkte abhängig von der Helligkeit im Jahresverlauf fest. Zeiträume für eine Leistungsreduktion können im Kalender hinterlegt werden. Da die Helligkeitsverläufe vom geografischen Standort abhängig sind, existieren für jeden Ort unterschiedliche Brennstundenkalender. Die Berücksichtigung der geografischen Lage kann auch durch astronomische Schaltuhren realisiert werden, in die die Ortskoordinaten eingegeben werden. So wird gewährleistet, dass die Beleuchtungsschaltzeitpunkte sich dem normativen (nicht realen) Dämmerungsverlauf anpassen.

Die Steuerung nach Zeit bzw. Helligkeit bietet Einsparpotenziale. Besser ist die Kombination beider.

Steuerung nach Zeit	
Vorteile	Nachteile
Einfache Umsetzung und Anwendung	Zeitsteuerung berücksichtigt keine Wettereinflüsse (z. B. Schnee)
Steuerung kann über eine einfache Schaltuhr realisiert werden, Staffelung der Schaltzeiten möglich.	Steuerung nicht bedarfsgerecht (z. B. nach Verkehrsaufkommen)
Anpassung an Sommer- und Winterzeit möglich	Die Kernaufgabe „Licht bei Dunkelheit“ wird nicht voll erfüllt

Helligkeit.

Die Beleuchtungssteuerung nach Helligkeit ist bedarfsgerechter als die Steuerung nach Zeit. Meist werden einstellbare Dämmerungsschalter verwendet. Dies führt durchschnittlich zu einer Leuchtenbrenndauer von rund 4.100 Stunden pro Jahr. Durch „Kaskadieren“ der Schaltschränke kann die Beleuchtung einheitlich eingeschaltet werden. Außerdem ist der Aufwand beim Kalibrieren des (dann einzigen) Empfängers geringer. Dies ist wichtig, um große Helligkeitsunterschiede im Verkehrsraum zu vermeiden.

Steuerung nach Helligkeit
Vorteile
Bedarfsgerechte Steuerung möglich
Lösung ist kostengünstig
Kombination aus Dämmerungsschalter und Brennstundenkalender bzw. Schaltzeituhr ist optimale Mehrstufenschaltung (dabei steuert Schaltuhr die Leistungsreduktion in verkehrsschwachen Zeiten)

Anforderung.

Das Schalten der Beleuchtung auf Anforderung lässt sich auf verschiedenen Wegen umsetzen und orientiert sich am Nutzerbedarf im öffentlichen Raum. Als ein in der Praxis umgesetztes Projekt ist die durch Bürger per SMS aktivierbare Beleuchtung zu nennen. Diese Variante ist allerdings nur in Anliegerstraßen sinnvoll.

Steuerung auf Anforderung	
Vorteile	Nachteile
Bedarfsgerechte Steuerung möglich	Hoher technischer Aufwand
	Nach Abschalten der Leuchten ist bei Hochdrucklampen keine sofortige Wiederezündung möglich
	Keine Erfahrung, ob die sporadische Schaltung bei konventionellen Leuchtmitteln die Lampenlebensdauer verkürzt
	Beleuchtungsnetz muss entsprechend aufgebaut sein, um nur die notwendigen Leuchten zuzuschalten
	Turnusmäßige Lampenwechsel sind schwerer realisierbar

Verkehrsaufkommen.

Hierbei wird das Beleuchtungsniveau in Abhängigkeit von Helligkeit und Verkehrsbelastung gesteuert. Technisch kann die Beleuchtungssteuerung durch Sensoren (Bewegungsmelder, Kameras) oder die Anbindung an einen Verkehrsrechner umgesetzt werden. Immer dann, wenn sich keine Verkehrsteilnehmer im Straßenraum aufhalten, kann das Beleuchtungsniveau stark abgesenkt werden. Es lassen sich objektorientierte und bewegungsrichtungabhängige Beleuchtungskonfigurationen programmieren. Das Licht begleitet den Verkehrsteilnehmer auf seinem Weg. Nach einer einstellbaren Haltezeit fahren die Leuchten in ihren energiesparenden Dimmzustand zurück.

Steuerung nach Verkehrsbelastung	
Vorteile	Nachteile
Beleuchtung wird nur bei Nutzerbedarf (Verkehrsteilnehmer) aktiviert	Verhältnismäßig hohe Kosten
Energieeinsparung von bis zu 30 Prozent gegenüber einem Dimmerprofil (aktiv tägl. von 22 bis 6 Uhr mit 50 Prozent Absenkung) [8]	Wenig Praxiserfahrungen
Flexible Anpassung individueller Dimmprofile	

2.4. Steuerungsmöglichkeiten am Lichtpunkt (Leuchte).

Umrüstung.

Der Einsatz von Beleuchtungssteuerungen ist aus finanziellen Gründen oft nur mittelfristig oder aufgrund der hohen Anfangsinvestition gar nicht umsetzbar. In solchen Fällen können vorhandene Lichtpunkte alternativ mit relativ geringem Aufwand umgerüstet werden. Die Energieeinsparung wird durch eine Verringerung der Anschlussleistung erreicht. Beim Eingriff in die Leuchten ist darauf zu achten, dass alle EMV-Vorschriften eingehalten werden.

Umklemmen des Vorschaltgeräts.

Hierbei wird das Vorschaltgerät auf eine geringere Leistung umgeklemmt, z. B. von 70 W auf 50 Watt. Dadurch können Lampen mit geringerer Leistung verwendet werden. Die erzielbare Einsparung ergibt sich aus der Leistungsdifferenz der Lampen. Zur Leistungsreduzierung muss die Lampe über ein Vorschaltgerät verfügen, das für den Betrieb mit zwei Leistungsstufen ausgelegt ist.

Achtung: Diese Maßnahme führt auch zu einer Absenkung des Beleuchtungsniveaus auf etwa zwei Drittel des früheren Niveaus.

Tausch von Komponenten des Elektroblocks.

Um beispielsweise Quecksilberdampf-Hochdrucklampen (HME) auf effizientere Natriumdampf-Hochdrucklampen umzurüsten, kann die komplette Leuchte ausgetauscht werden. Alternativ ist es möglich, lediglich ein Zündgerät nachzurüsten. Dadurch wird das Vorschaltgerät an die Anforderungen der HSE-/HST-Lampen angepasst und liefert die passende Zündspannung. Technisch ist neben dem Einsatz von ellipsoiden HSE-Lampen auch die Verwendung der noch effizienteren röhrenförmigen HST-Lampen möglich. Der prinzipiell mögliche Einsatz von HST-Lampen ist jedoch nicht uneingeschränkt zu empfehlen, da beim Tausch sowohl der Leuchtenkörper als auch der Systemspiegel erhalten bleiben. Dadurch kommt es meist zu einer stärkeren Blendwirkung. Der Grund: Der Spiegel einer ehemals HME-bestückten Leuchte ist nur für ellipsoidförmige Lampen optimiert. Beim Ersatz durch Halogenmetaldampflampen muss zudem beachtet werden, dass weniger effiziente Modelle im Zuge der Umsetzung der EU Ökodesign-Richtlinie im Jahr 2017 vom Markt verschwinden werden.

Ist die Installation von Steuerungstechnik zu kostenintensiv, kann vorerst umgerüstet werden.

Ein Umklemmen des Vorschaltgeräts spart Energie, das Beleuchtungsniveau sinkt auch.

Durch Nachrüstung eines Zündgeräts lassen sich Straßenlaternen auf effiziente HSE-/HST-Lampen umrüsten.

Leistungsreduzierung durch Zusatzimpedanz.

Bei dieser Variante wird in den Leuchten eine Leistungsreduzierschaltung mittels Zusatzimpedanz installiert. Voraussetzung hierfür ist, dass die Lampe mit einem Vorschaltgerät betrieben wird, welches über zwei Anzapfungen und einen Umschalter verfügt. Der Umschalter wird über die Halbnachtphase gesteuert, die sonst i. d. R. die Lichtpunkte versorgt, die lediglich die Hälfte der Nacht betrieben werden. Das Relais schaltet für einen festgelegten Zeitraum von 100 auf rund 60 Prozent der Lampenleistung. Dies führt zu einer Halbierung der verfügbaren Lichtmenge.

Reduzierschaltung bei 2-lampigen Leuchten.

Eine weitere Möglichkeit der Leistungsabsenkung einer Leuchte ist die Reduzierschaltung bei 2-lampigen Leuchten. Eine der Lampen wird (zeitweise) abgeschaltet. Die Steuerung erfolgt über die Halbnachtphase. Die Energieeinsparung liegt bei 50 Prozent und damit höher als beim Einbau einer Zusatzimpedanz.

Reduzierschaltung bei 2-lampigen Leuchten

Nachteile

Verschattung durch abgeschaltetes Leuchtmittel bei 2-lampigen Leuchten, wenn beide Lampen in einer gemeinsamen Spiegeloptik untergebracht sind

Negativer Einfluss auf Beleuchtungsniveau und Gleichmäßigkeit

Gleichmäßige Alterung beider Lampen ist zu gewährleisten



Abb. 15. Zeitgesteuertes Umschaltrelais.

Diese Reduzierschaltung senkt den Energieverbrauch um 50 Prozent, jedoch leidet die Gleichmäßigkeit.

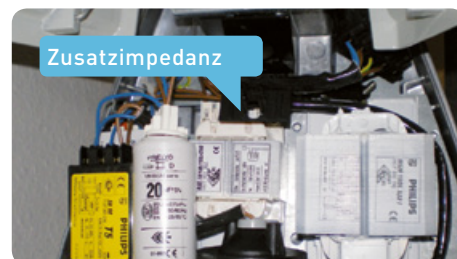
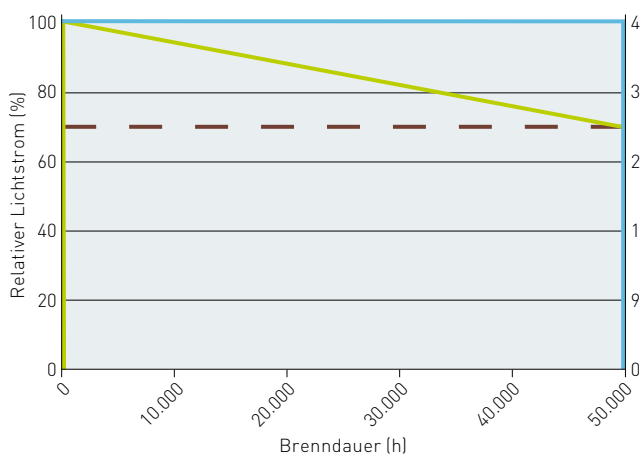


Abb. 16. ZE-Block Leuchte SGS 403.

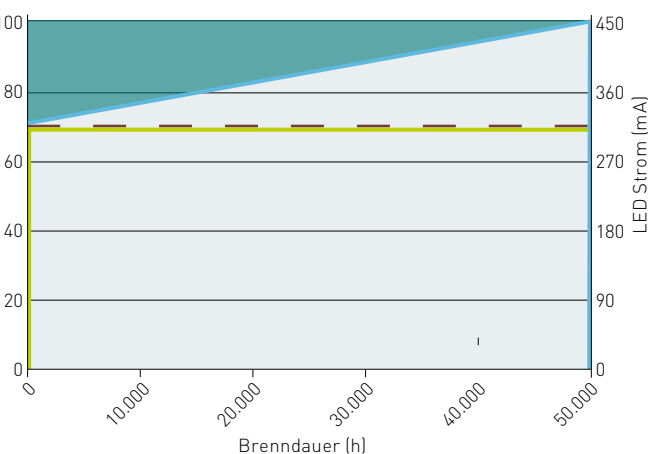
Konstantlichtstromsteuerung.

Bei der Konstantlichtstromsteuerung von LED-Leuchten wird der Ausgangslichtstrom, der durch Alterung bedingt über die Lebensdauer abnimmt, durch kontinuierliche Erhöhung des elektrischen Stroms konstant gehalten. Dadurch kann auf eine anfängliche Überdimensionierung der Anlage verzichtet werden. Die Steuerung spart nach Herstellerangaben über die Lebensdauer der Leuchte rund 20 Prozent Energiekosten. Nachteilig ist, dass durch den steigenden Strom die LED-Lebensdauer in Bezug auf den Anfangslichtstrom sinkt.

Ohne Konstantlichtstromsteuerung.



Mit Konstantlichtstromsteuerung.



Vorschaltgeräte mit eigener Dimmlogik.

Elektronische Vorschaltgeräte können mit einer eigenständigen Steuerung ausgerüstet sein. Diese führt Schaltungen selbstständig ohne Signale von außen durch und kann so z. B. eine stufenweise Nachtabsenkung umsetzen. Die Steuerung kann individuell meist mit zwei Dimmstufen programmiert werden. Auf Grundlage der gemessenen Betriebszeiten der vorangegangenen Nächte wird eine neue Betriebsdauer berechnet und an die sich im Jahresverlauf ändernde Nachtlänge angepasst. Vorschaltgeräte mit eigener Dimmlogik sind für Hochdruckentladungslampen und für LED-Systeme erhältlich.

Beispiel einer Nachtabsenkung.

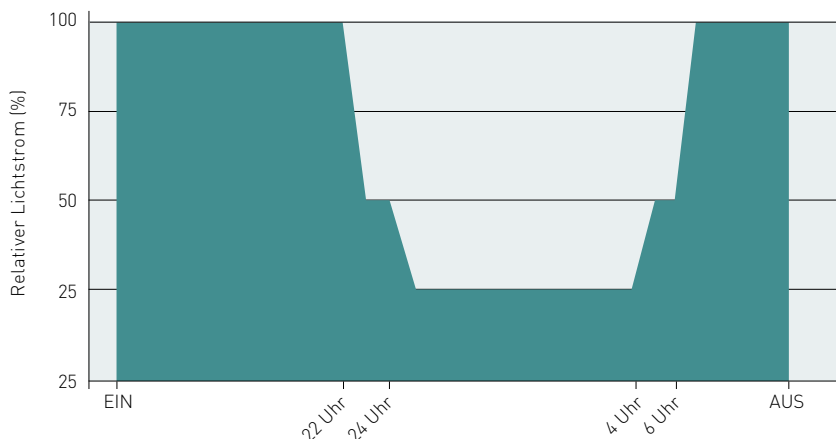


Abb. 17. Darstellung Energieverbrauch ohne bzw. mit Konstantlichtstromsteuerung. [9]

- LED Strom (mA)
- - - Vorgegebener rel. Mindest-Lichtstrom
- Rel. Lichtstrom
- Energieeinsparung
- Energieverbrauch

Abb. 18. Die Grafik zeigt die Nachtabsenkung mittels EVG mit eigener Dimmlogik in der Zeit von 22 Uhr bis 7 Uhr morgens.

- Betriebszeit der Beleuchtungsanlage

Vorschaltgeräte für Steuerphase.

In vielen Beleuchtungsnetzen existieren zwei Außenleiter (L1, L2), wobei L2 typischerweise für die Nachtabschaltung genutzt wird. Die Steuerphase, auch Halbnachtsphase genannt, ermöglicht eine Schaltung zwischen zwei Leistungsstufen: dem „normalen“ Betrieb und der sogenannten „Halbnachtschaltung“. Wird nun L2 beispielsweise gegen 22 Uhr abgeschaltet, reduziert das EVG auf einen voreingestellten Wert. Sobald L2 wieder zugeschaltet wird (z. B. 5 Uhr), erhöht das EVG die Leistung wieder auf 100 Prozent.

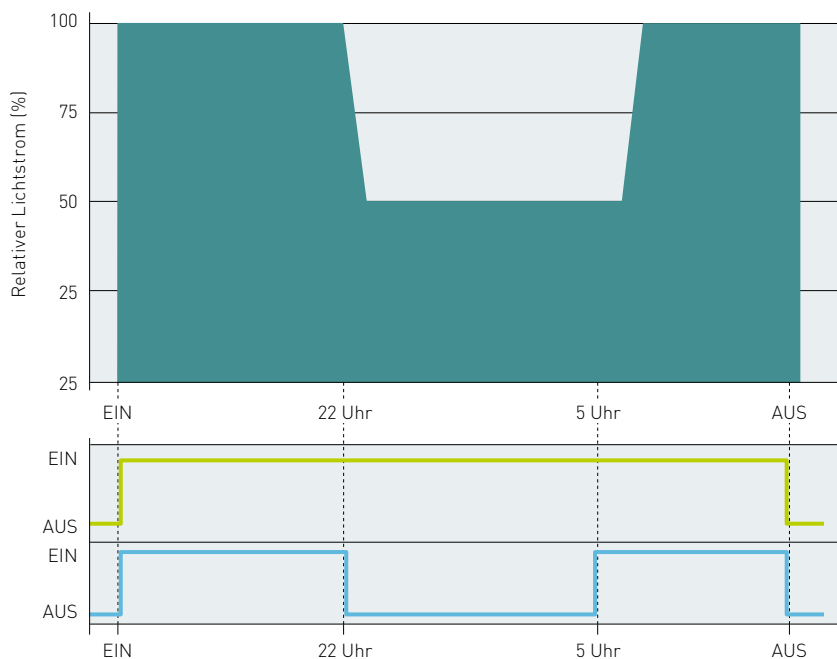


Abb. 19. Dimmung über EVG mittels Steuerphase.

- █ Netzleitung
- █ Steuerleitung

2.5. Steuerungsmöglichkeiten am Schaltschrank.

Durch Dimmsysteme im Schaltschrank wird die Leistungsaufnahme der Leuchtmittel gesteuert. Die Steuerung kann in Stufen oder stufenlos erfolgen. Dabei sollte beachtet werden, dass sich je nach Leuchtmittel die Lichtfarbe beim Dimmen mehr oder weniger verändert und der Lichtstrom i. d. R. stärker abnimmt als die Leistungsaufnahme.

Hierbei gilt für Gasentladungslampen:

60 Prozent Lampenleistung → Lichtstrom 50 Prozent
(50 Prozent/60 Prozent) → nur noch 83 Prozent Lichtausbeute

50 Prozent Lampenleistung → Lichtstrom 35 Prozent
(35 Prozent/50 Prozent) → nur noch 70 Prozent Lichtausbeute

20 Prozent Lampenleistung → Lichtstrom 5 Prozent
(5 Prozent/20 Prozent) → nur noch 25 Prozent Lichtausbeute

Die Beispiele zeigen:

Der Lichtstromabfall verläuft nicht linear zur Leistungseinsparung, sondern ist größer. Zwar wird Energie eingespart, die Energieeffizienz sinkt jedoch. Für Dimmsysteme im Schaltschrank gilt: Sie lösen keine strukturellen Probleme der öffentlichen Beleuchtung wie Überalterung und Investitionsstau.

Die Lampen eines gedimmten Schaltschranks sollten möglichst gleich alt sein, da die Wiederzündspannung mit zunehmendem Lampenalter steigt und daher eine Nichtzündung älterer Lampen nicht ausgeschlossen werden kann.

Eine Dimmung direkt im Schaltschrank ist sinnvoll, wenn:

- in den vorhandenen Leuchten keine Reduziermöglichkeit vorgesehen wurde und Nachrüstmaßnahmen in den Leuchten unwirtschaftlich sind
- eine Beleuchtungsanlage überdimensioniert ist, z. B. durch fehlerhafte Lichtplanung oder eine Umrüstung von HME- auf HSE-Lampen mit wesentlich höherem Lichtstrom
- eine Sanierung der Leuchten unwirtschaftlich ist

Amplitudensteuerung.

Diese Art der Steuerung am Schaltschrank eignet sich nur für Leuchten mit konventionellen Vorschaltgeräten. Die Dimmung wird durch Absenken der Ausgangsspannung erreicht. Dabei sollte auf max. 65 Prozent der Nennleistung gedimmt werden. Dazu muss sichergestellt sein, dass die Abschaltbedingungen weiterhin gewährleistet sind (Schleifenimpedanzmessung, Berechnung der maximalen Schleifenimpedanz). Üblicherweise werden zweistufige, feste Dimmp Profile angewandt.

Dabei sollte beachtet werden, dass die Lampenherstellergarantie i. d. R. nur für $U_N = 230 \text{ V} \pm 10 \text{ Prozent}$ gilt.

Die Steuerung am Schaltschrank ermöglicht die zentrale Absenkung der angeschlossenen Leuchten.

Stromregelung.

Auch diese Steuerungsart eignet sich nur für Leuchten mit konventionellen Vorschaltgeräten. Der Strom wird bei konstanter Ausgangsspannung begrenzt. Die maximal mögliche Dimmstufe beträgt 33 % der Nennleistung der Lampe. Dabei müssen weiterhin die gleichen Abschaltbedingungen wie vor Einsatz der Stromregelung eingehalten werden. Zusätzlich sollte eine Spannungsfestigkeit von ≥ 4 kV gegeben sein. In der Regel sind individuelle Dimmprofile einstellbar. Bei der Installation muss ein Großteil der in den Leuchten verbauten Kompensationskondensatoren (ca. 80 Prozent) demontiert werden.

Steuerung am Schaltschrank	
Vorteile	Nachteile
Auch für Mischbestand zulässig	Eine Dimmung von 60 Prozent und mehr der installierten Leistung führt zu sehr schlechten Wirkungsgraden
Energieeinsparung in verkehrsschwachen Zeiten	Herstellerseitig ausgewiesene Dimmgrade bei gemischtem Lampenbestand aufgrund unterschiedlicher Spannungs- bzw. Leistungskennlinien teils nicht erreichbar
Falls vorhandene Schaltschränke keinen Platz mehr bieten, können die Systeme in separaten Schaltschränken installiert werden	Bei Amplitudensteuerungen sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich
	Lichtfarbe kann sich je nach Lampenart und Hersteller erheblich ändern, bei Natriumdampf-Hochdrucklampen in dunkelgelb bis orange, bei Halogen-Metaldampflampen in blau oder grün
	Systeme benötigen Platz in vorhandenen Schaltschränken, ggf. entstehen Kosten für zusätzliche Schaltschränke

2.6. Lichtmanagementsysteme.

Lichtmanagementsysteme ermöglichen die Steuerung sowie Überwachung eines oder mehrerer Lichtpunkte über ein Netzwerk. Innerhalb des Netzwerks können mehrere Lichtpunkte zu Gruppen zusammengefasst werden. Die Gruppenbildung ermöglicht es, Schalt- und Dimmbefehle für einzelne Lichtpunkte, definierte Straßenzüge oder ein zusammenhängendes Gebiet über zentrale bzw. lokale Bedienelemente einzustellen und auszulösen.



Die Systeme lassen sich nach Art der Datenübertragung in Gruppen teilen:

Powerline.

Powerline ist der Oberbegriff für die Übertragung von Daten über stromführende Kabel. Das erforderliche Signal wird mittels Powerline Communication (PLC) direkt über die Stromleitung an die Leuchten geschickt.

Funk (RF) oder Handynet.

Funk steht für die drahtlose Übermittlung von Informationen durch elektromagnetische Wellen. Es sind unterschiedliche Funktechnologien in Anwendung (z. B. ZigBee, WLAN, GPRS/GSM).

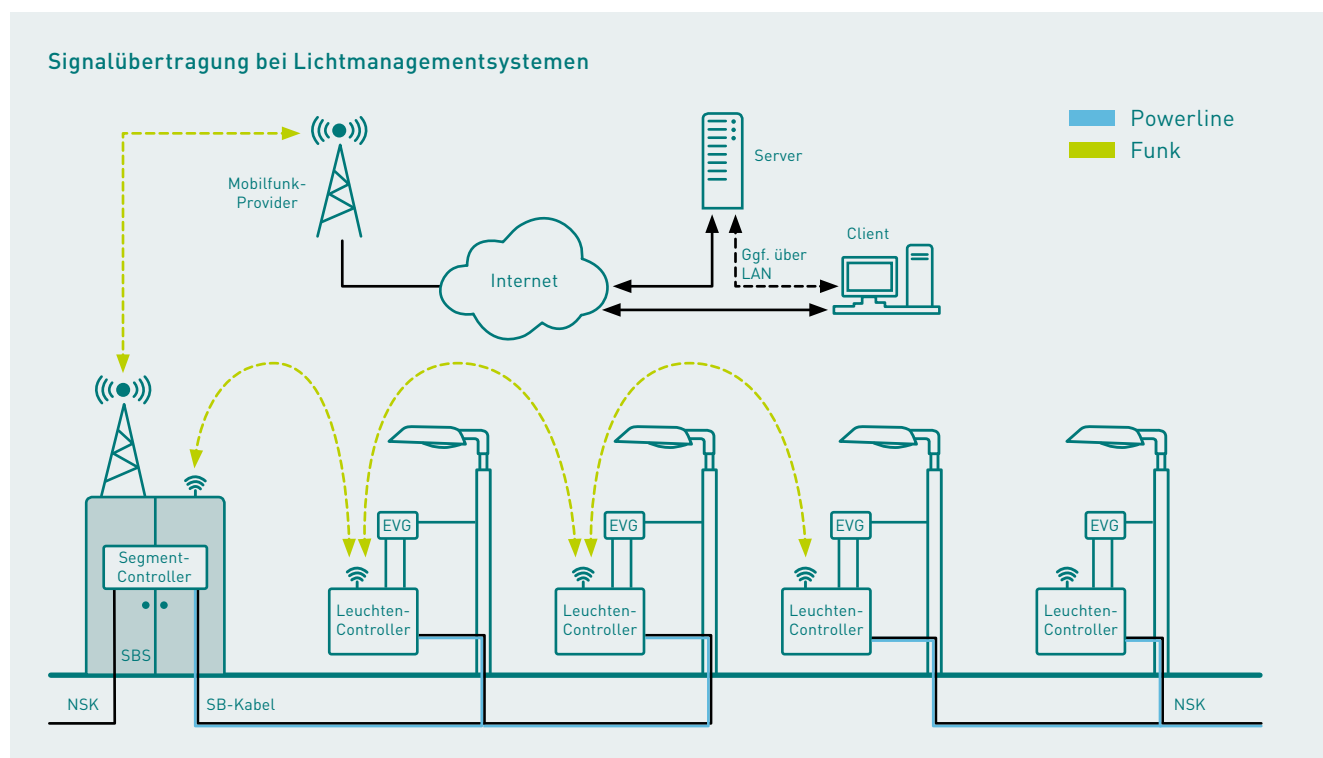


Abb. 20. Datenübertragung bei Lichtmanagementsystemen über Powerline bzw. Funk (RF). [10]

SBS = Straßenbeleuchtungsschrank
 SB-Kabel = Straßenbeleuchtungskabel
 NSK = Niederspannungskabel

Powerline	
Vorteile	Nachteile
Vorhandenes Stromnetz kann genutzt werden, d.h. Infrastruktur schon vorhanden	Vernetzung nur unter Leuchten möglich, die vom gleichen Schaltschrank versorgt werden
Keine Störung der Kommunikation durch Witterung	Max. 200 Leuchten pro Systemcontroller
Dynamische Singalverstärkung zur Reichweitenoptimierung möglich	
Erprobte Technologie	

Funktechnologie	
Vorteile	Nachteile
Kommunikation kann bei Ausfall im vermaschten Netzwerk über andere Knoten umgeleitet werden	Die begrenzte Sendeleistung sorgt für eingeschränkte Maximalabstände zwischen den kommunizierenden Lichtpunkten (z. B. 400 m)
Durch die Funkkommunikation ist eine flexible Definition von Lichtpunktgruppen möglich – auch bei Lichtpunkten, die durch unterschiedliche Schaltstellen versorgt werden	Datenverschlüsselung und Schutz vor unberechtigtem Zugriff müssen berücksichtigt werden
Bereits heute existieren Lösungen, bei denen sich neue Leuchten automatisch im Lichtmanagementsystem anmelden und GPS-basiert ihren Standort übermitteln	Störanfälliger als kabelgebundene Systeme
	Bandbreitenbeschränkungen
	Strahlungsbelastung
Handynetz: einfachste Integration, da weder Systemcontroller noch Schaltschrankkomponenten nötig	Handynetz: hohe laufende Kosten
Handynetz: Anmeldung am System erfolgt automatisch, kein Inbetriebnahmeaufwand	

Fazit Lichtmanagementsysteme:

Ein Preisvergleich zwischen den Anbietern ist aufgrund der unterschiedlichen Funktionalitäten und der verschiedenen technischen Plattformen schwierig. Der Einsatz von Lichtmanagementsystemen kann, speziell bei weiter sinkenden Systempreisen, wirtschaftlich sinnvoll sein. Derzeit liegt die Amortisationszeit häufig bei über 20 Jahren. Mitarbeiter sollten für die neuen Aufgabenbereiche fortgebildet werden, da die Komplexität der Anlagen steigt. Durch die Zunahme elektronischer Bauteile ist mit einer höheren Ausfallwahrscheinlichkeit zu rechnen.

3. Energiekennwerte für die Straßenbeleuchtung.

Wie viel Energie eine Beleuchtungsanlage letztendlich benötigt, wird von der Wahl der in diesem Kapitel vorgestellten Komponenten wie Leuchtmittel, Leuchte und Steuerungssystem maßgeblich beeinflusst. Dies kann durch Energiekennwerte wie streckenspezifische Anschlussleistung und streckenspezifischer Energieverbrauch abgebildet werden.

Es ist wichtig, dass solche Energiekennwerte nicht losgelöst von der Einhaltung der Güte Merkmale wie Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte und Gleichmäßigkeit betrachtet werden. Vor diesem Hintergrund hat die Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH Grenz- und Zielwerte für die streckenspezifische Anschlussleistung und den streckenspezifischen Verbrauch pro Jahr entwickelt. Neben diesen beiden Kennwerten findet auch die Gleichmäßigkeit als maßgebliches Gütekriterium in der Straßenbeleuchtung Berücksichtigung, eine unzureichende Gleichmäßigkeit wird durch einen Abschlag bestraft.

Die Grenzwerte stellen dabei Werte dar, die in der Regel mindestens erreicht werden sollten. Die Zielwerte sind demgegenüber als Hinweis zu verstehen, welche Werte durch eine optimale Planung und den Einsatz besonders energieeffizienter Technik in Verbindung mit einer bedarfsgerechten Beleuchtungssteuerung erreicht werden können. Grenz- und Zielwerte werden jeweils für die Anschlussleistung und den jährlichen Energieverbrauch ausgewiesen. Bei der Ermittlung des Energieverbrauchs werden als Referenz 4.200 Betriebsstunden sowie eine Absenkung auf 70 Prozent der Leistung in der Zeit von 22 Uhr bis 5 Uhr vorgegeben.

Streckenspezifischer Energieverbrauch: Grenz- und Zielwertkennlinie.

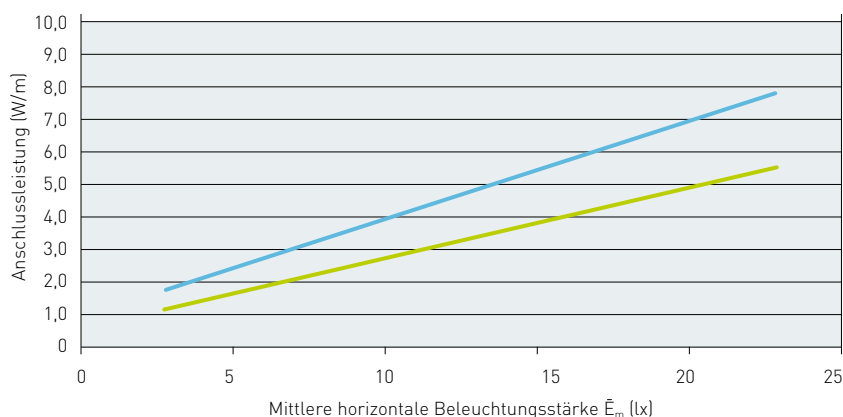


Abb. 21. Beispiel Grenz- und Zielwertkennlinie bei einer Straßenbreite $> 4 \leq 5$ m für die streckenspezifische Anschlussleistung.

— Grenzwert
— Zielwert

Wertebereich b: Breite der zu beurteilenden Verkehrsfläche

Diese Empfehlung spiegelt den derzeitigen Stand der Technik wider; Grundlage sind empirische Daten, Veröffentlichungen und Berechnungen. Sie richtet sich an die Entscheidungsträger in Städten und Gemeinden sowie an Betreiber und Planer von öffentlichen Beleuchtungsanlagen.

Ausführliche Informationen zum Ansatz der Empfehlung Energiekennwerte der SAENA finden Sie in der Broschüre „Energieeffiziente Straßenbeleuchtung Empfehlung Energiekennwerte: Grenz- und Zielwerte für Anschlussleistung und Energieverbrauch“, die auch im Anhang zu finden ist.



Broschüre Energiekennzahlen

4. Berechnungsbeispiele zu Modernisierungsoptionen.

Zu den bereits beschriebenen Lösungen werden nun mehrere Beispiele vorgestellt. Dabei werden sowohl die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme als auch die Energieeinsparung betrachtet.



Beispiel-
rechnungen

Eine detaillierte Aufstellung finden Sie im Anhang. Die dort verfügbaren Excel-Tabellen können als Vorlage für eigene Berechnungen genutzt werden.

Randbedingungen für alle Beispiele:

- Umrüstung an 10 Leuchten
- Einschaltzeit der öffentlichen Beleuchtung: 4.000 h/p. a.;
2.600 h/p. a. bei Leistungsreduktion oder Halbnachtschaltung
- Strompreis brutto: 0,17 €/kWh; jährliche Preissteigerung 1,5 Prozent
- Betrachtungszeitraum: 11 bzw. 24 Jahre

Altbestand erhalten – Leuchten umrüsten.

Beispiel 1	Umrüstung: Einbau einer Zusatzimpedanz in eine HST 70 W Leuchte (Reduzierung auf 50 W)			
	Nach 11 Jahren		Nach 24 Jahren	
	Kapitalwert (€)	Energieverbrauch (kWh)	Kapitalwert (€)	Energieverbrauch (kWh)
alt	7.567	39.360	15.398	82.000
neu	6.051	27.840	11.939	58.000

Im ersten Beispiel rechnet sich der Einbau einer Zusatzimpedanz bereits im Betrachtungszeitraum von elf Jahren. Es sollte allerdings berücksichtigt werden, dass das Beleuchtungsniveau dauerhaft abgesenkt wird. Zudem sinkt die Lichtausbeute, also die Energieeffizienz.

Neue Leuchten installieren – Beibehaltung von Lichtpunktstandorten und -höhen.

Beispiel 2	Tausch einer HSE 50 W Leuchte ohne Leistungsreduzierung gegen LED-Leuchte 34 W mit Leistungsreduzierung			
	Nach 11 Jahren		Nach 24 Jahren	
	Kapitalwert (€)	Energieverbrauch (kWh)	Kapitalwert (€)	Energieverbrauch (kWh)
alt	6.014	27.840	12.242	58.000
neu	7.717	11.016	12.443	22.950

Im zweiten Beispiel rechnet sich der Wechsel auf die LED-Leuchte erst am Ende der betriebsüblichen Nutzungsdauer von 25 Jahren. Allerdings beträgt die CO₂-Einsparung pro Leuchte ca. zwei Tonnen. Unter Klimaschutzaspekten ist die Umrüstung daher sinnvoll. Wird angenommen, dass die HSE-Leuchte im Betrachtungszeitraum ersetzt werden muss, ergibt sich ein deutlicher wirtschaftlicher und energetischer Vorteil zugunsten der LED.

Beispiel 3 Tausch einer HME 125 W Leuchte ohne Leistungsreduzierung gegen eine LED-Leuchte 47 W mit Bewegungssensor				
	Nach 11 Jahren		Nach 24 Jahren	
	Kapitalwert (€)	Energieverbrauch (kWh)	Kapitalwert (€)	Energieverbrauch (kWh)
alt	12.699	65.760	25.681	137.000
neu	13.240	12.972	18.297	27.025

Das dritte Beispiel zeigt, dass die Installation einer LED-Leuchte mit Bewegungssensor während des Betrachtungszeitraums von elf Jahren nicht wirtschaftlich ist. Grund hierfür sind die hohen Anfangsinvestitionen. Über einen längeren Betrachtungszeitraum, hier 24 Jahre, rechnet sich das LED-System mit Sensor hingegen. Unter Berücksichtigung der geltenden Ökodesign-Anforderungen ist der Weiterbetrieb der alten HME-Beleuchtung nahezu ausgeschlossen, ein Ersatz ist somit zwingend erforderlich.

5. Musterstadt.

Im Kapitel Voraussetzungen wurde die Erfassung des Straßenbeleuchtungsbestands in Musterstadt beschrieben. Im Rahmen der Erfassung wurden u. a. der Wert der Beleuchtungsanlage und die Betriebsführungskosten ermittelt. Auf Basis dieser Daten erfolgt nun eine Analyse möglicher Energiesparmaßnahmen.

Randbedingungen für Musterstadt:

- Einschaltzeit der öffentlichen Beleuchtung: 4.000 h/p. a.;
2.600 h/p. a. bei Leistungsreduktion oder Halbnachtschaltung
- Strompreis brutto: 0,17 €/kWh; jährliche Preissteigerung 1,5 Prozent
- Betrachtungszeitraum: 11 bzw. 24 Jahre

Da Musterstadt noch über Leuchten mit Quecksilberdampflampen verfügt, sollen diese umgerüstet werden. Die Erfassung der Lampentypen ergab, dass noch 147 HME-Leuchten mit 80 Watt Leistung vorhanden sind. Diese Leuchten stehen in Bereichen, in denen Lichtpunktanzahl und -höhe nicht verändert werden können. Aus diesem Grund bleibt die Anzahl der alten und neuen Leuchten gleich. Ziel ist es, ein Beleuchtungsniveau der Beleuchtungsklasse S5 (nach DIN EN 13201) zu erreichen.

Als Ersatz der Leuchten mit 80 W HME-Lampen bieten sich für Musterstadt drei Möglichkeiten, die im Folgenden energetisch und wirtschaftlich miteinander verglichen werden. Für alle Leuchten wird eine Dimmung für 2.600 h auf 50 Prozent Leistung vorgesehen. Die unten stehenden Tabellen vergleichen Wirtschaftlichkeit und Energiesparpotenzial der drei Leuchtenmodelle über einen Zeitraum von 11 bzw. 24 Jahren.



Betrachtungszeitraum 11 Jahre.

Leuchtenmodell	Kapitalwert Differenzen (€)				Kapitalwert (€)
	HME 80 W	CPO 45 W	HST 50 W Doppelbrenner	LED 34 W Leuchte	
HME 80 W		2.417	3.197	2.046	9.225
CPO 45 W			780	-371	6.808
HST 50 W Doppelbrenner				-1.151	6.028
LED 34 W Leuchte					7.179

Leuchtenmodell	Energieverbrauch Differenzen (kWh)				Energieverbrauch (kWh)
	HME 80 W	CPO 45 W	HST 50 W Doppelbrenner	LED 34 W Leuchte	
HME 80 W		31.656	29.808	36.144	45.120
CPO 45 W			-1.848	4.488	13.464
HST 50 W Doppelbrenner				6.336	15.312
LED 34 W Leuchte					8.976

Betrachtungszeitraum 24 Jahre.

Leuchtenmodell	Kapitalwert Differenzen (€)				Kapitalwert (€)
	HME 80 W	CPO 45 W	HST 50 W Doppelbrenner	LED 34 W Leuchte	
HME 80 W		6.714	8.793	7.185	18.653
CPO 45 W			2.079	472	11.939
HST 50 W Doppelbrenner				-1.608	9.860
LED 34 W Leuchte					11.467

Leuchtenmodell	Energieverbrauch Differenzen (kWh)				Energieverbrauch (kWh)
	HME 80 W	CPO 45 W	HST 50 W Doppelbrenner	LED 34 W Leuchte	
HME 80 W		65.950	62.100	75.300	94.000
CPO 45 W			-3.850	9.350	28.050
HST 50 W Doppelbrenner				13.200	31.900
LED 34 W Leuchte					18.700

Die Darstellung zeigt, dass die LED-Leuchte auch im langen Betrachtungszeitraum von 24 Jahren nicht die wirtschaftlichste Alternative darstellt. Unter den getroffenen Annahmen liegt sie nur auf dem zweiten Platz, bleibt aber in der Energie- und somit auch CO₂-Einsparung ungeschlagen.

Musterstadt entscheidet sich dennoch für eine Umrüstung auf LED-Leuchten. Denn die hohe CO₂-Einsparung und der geringe Rückgang der Lichtausbeute beim Dimmen geben den Ausschlag pro LED. Mit dem hierfür erforderlichen Vergabeverfahren in Musterstadt beschäftigt sich das Kapitel Vergabe.

Zusätzlich werden in Musterstadt 250 Stück HST-100-W-Leuchten mit einer Reduzierschaltung nachgerüstet, die die Leistungsaufnahme auf 50 Prozent reduziert.

	Nach 11 Jahren		Nach 24 Jahren	
	Kapitalwert (€)	Energieverbrauch (kWh)	Kapitalwert (€)	Energieverbrauch (kWh)
alt	247.570	1.356.000	504.938	2.825.000
neu	191.889	915.300	274.952	1.906.875

Die Analyse zeigt, dass die Nachrüstmaßnahme bereits im Betrachtungszeitraum von elf Jahren wirtschaftlich ist.

Als dritte Maßnahme wird Musterstadt zunächst 500 der noch vorhandenen 1.254 Straßenleuchten mit HSE 70 W ohne Leistungsreduzierung gegen LED-Leuchten 47 W mit Leistungsreduzierung austauschen.

	Nach 11 Jahren		Nach 24 Jahren	
	Kapitalwert (€)	Energieverbrauch (kWh)	Kapitalwert (€)	Energieverbrauch (kWh)
alt	393.507	1.992.000	799.935	4.150.000
neu	414.202	761.400	679.923	1.586.250

Hinweis:

Die Berechnungen beinhalten teils prognostizierte Annahmen. In der Praxis können diese aufgrund der langen Betrachtungszeiträume von den realen Werten abweichen. Daher ist es immer empfehlenswert, getroffene Annahmen in Beispielrechnungen zu variieren, um die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit abschätzen zu können. Nur so lassen sich solide Entscheidungsgrundlagen generieren.

Zusammenfassung.

Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Modernisierung der Straßenbeleuchtung, die zu Verbesserungen der Energieeffizienz führen. Beim Einsatz von LED-Leuchten mit höherer Leistung (≥ 30 W) sollten zusätzlich Maßnahmen zur Steuerung bzw. Regelung der Beleuchtung realisiert werden.

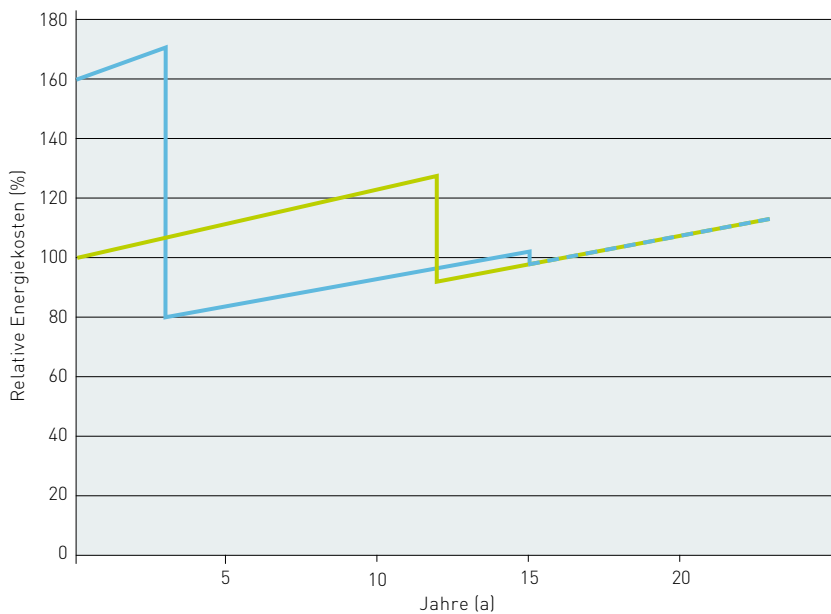
Quellen:

- [1] Batarilo, Miroslav: Energieeffizienz und Lichtqualität in der Straßenbeleuchtung, Tagung „Zwischen Ems und Elbe“, 12.02.2014, Ritterhude.
- [2] ZVEI: Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung. Begriffe, Definitionen und Messverfahren: Grundlagen für Vergleichbarkeit, Überarbeitung der 2. Ausgabe, März 2016.
- [3] Heinz, Roland: LED in Außenleuchten. Tagung Stadt- und Außenbeleuchtung, Mai 2012, Dresden.
- [4] Cgwalther, „Streetlights selection“, Lizenziert unter CC BY-SA 3.0 über Wikimedia Commons – http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Streetlights_selection.jpg
- [5] Härtl, Michael: Vortrag im Rahmen der „Darmstädter Fachtage für Beleuchtung“, Darmstadt 2010.
- [6] Bressem, Jörg: LED-Leuchten: Anforderungen und Auswahlverfahren in der Landeshauptstadt Hannover. Vortrag im Rahmen der Veranstaltung „Kommunale Straßenbeleuchtung. Öffentliches Licht zwischen Harz und Heide 2015“ in Hannover, 04. Februar 2015.
- [7] Kling, Rainer: Elektronische Vorschaltgeräte: Einsatztrends und Ausfälle. Vortrag im Rahmen der Veranstaltung „Stadt, Licht & Verkehr“ in Leipzig, 26. November 2014.
- [8] Barth, R.: „Erfahrungen bei der Einführung von weißem Licht in Leipzig“, Vortrag im Rahmen der 9. Tagung Stadt- und Außenbeleuchtung, Dresden, 7./8. Mai 2013.
- [9] Schmidt, P.: „Energieeffiziente/normgerechte LED Straßenbeleuchtung“, Vortrag LiTG-Treffen Bezirksgruppe Hannover, Lengede, 11. Juli 2012.
- [10] Pretzsch, B. (2015): Testprojekte Lichtmanagement in der Straßenbeleuchtung. Vortrag im Rahmen des Fachseminars „Energieeffiziente Beleuchtung für Kommunen“ der enso Netz GmbH, Januar 2015.
- [11] Khan, T. Q. et al. (Hrsg.) (2015): LED Lighting. Technology and Perception. 1. Ausgabe. Wiley VCH. 2015.
- [12] PAR-commonswiki, „CIExy1931 MacAdam“, Lizenziert über Wikimedia Commons – https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:CIExy1931_MacAdam.png, File: CIExy1931 MacAdam.png Januar 2015.

Beispiel Investitionszeitpunkt LED.

Modellbetrachtung Zeitpunkt Umrüstung auf LED-Beleuchtung.

Insbesondere bei größeren Sanierungsmaßnahmen ist eine sofortige Umsetzung nicht immer optimal. Besonders wenn absehbar ist, dass die gewählte Technik kurzfristig noch starke technologische Fortschritte machen wird, der Trend aber mittelfristig abflacht. Dieser Umstand trifft auf die derzeitige Entwicklung bei der LED zu. Bedingt durch lange Nutzungsdauern moderner LED-Module (50.000 Stunden → 12,5 Jahre), sollte diesem Punkt Aufmerksamkeit geschenkt werden. Eine Modellrechnung stellt die zu erwartenden Modernisierungsergebnisse beim sofortigen bzw. zeitverzögerten Start der Umrüstung exemplarisch gegenüber.



Modellrechnung unter Berücksichtigung der Entwicklungsdynamik der LED-Technologie (Annahme Preissteigerung ein Prozent).

■ Sofortige Umrüstung
■ Umrüstung in drei Jahren

Die Grafik zeigt einen Vergleich zwischen sofortiger Umrüstung (grüne Linie) und Umrüstung nach drei Jahren (blaue Linie). Es wird davon ausgegangen, dass das veraltete System derzeit ca. 60 Prozent mehr Energie benötigt als ein heutiges LED-System. Unter den Annahmen eines weiteren starken technologischen Fortschritts wird das alte System in drei Jahren modernisiert, mit der dann weiter verbesserten Energieeffizienz der LED-Systeme. Nach jeweils 12 Jahren (Lebensdauer 48.000 h/ 4.000 Brennstunden jährlich) werden die Systeme wiederum erneuert und bis dahin ein weiterer technologischer Fortschritt von 15 Prozent unterstellt. Der Energieverbrauch beider Vorgehensweisen ist dabei etwa gleich. Die Annahme eines geringeren technologischen Fortschritts nach 12 Jahren oder eine starke Verteuerung der Energie über die Laufzeit verändern die Aussage zugunsten der Variante „Umrüsten erst in drei Jahren“. Gleichzeitig könnten die Preise für LED-Leuchten in den nächsten drei Jahren noch sinken und die Standardisierung auch der Steuer- und Regelungskomponenten ein höheres Niveau erreicht haben.

Checkliste Lichtmanagementsysteme.

Als Grundlage bei der Entscheidung für ein Lichtmanagementsystem bzw. bei der Auswahl eines geeigneten Systems sollten folgende Überlegungen einbezogen werden:

Entscheidungskriterien

- Darlegung einer transparenten Kostenstruktur, die auch die Folgekosten nicht ausspart
- Abhängigkeit vom externen Anbieter (z. B. für Leistungen, die nach Erweiterung nicht vom eigenen Personal erbracht werden können/dürfen)
- Nutzbarkeit vorhandener Komponentenschnittstellen
- Digitale Lichtsteuerung → DALI
- Analoge Lichtsteuerung → 0-10 V
- Powerlinekommunikation → ISO/IEC 14908, EN 50065
- Schnittstellen zu bereits vorhandener Software
- Unabhängigkeit von Betriebssystem und Hardware
- Kommunikation auf lizenzfreien Frequenzen
- Datensicherheit (Verschlüsselung, Zugriff durch Unbefugte)
- Geringer Leerlaufverbrauch (Stand-by)
- Zugriffsmöglichkeiten für verschiedene Nutzergruppen (Polizei, THW, Feuerwehr ...) mit unterschiedlichen Berechtigungen

Wünschenswerte Grundfunktionen

- Individuell wählbare Dimmprofile z. B. bezüglich Anzahl und Höhe der Dimmstufen
- Energieeinsparfunktionen, d. h. Regelung durch Sensoren (Dämmerung, Bewegung, Verkehrszählung) möglich
- Vorkonfiguration von Profilen für Ereignisse (Konzerte, Sport, Unterstützung, Kameraüberwachung, Polizei-/Feuerwehreinsatz), aber auch manueller Eingriff möglich
- Alarmmeldung von vordefinierten Ausfällen (FGÜ, Kreuzungen etc.)
- Möglichkeit der Betriebs- und Bestandsführung mit Grundfunktionen
- Kommunikation mit Verkehrsrechner
- Einbindung von Sensorik
- Möglichst automatisches Einloggen ins Netzwerk und GPS-gestützte Positionsmeldung durch die Leuchte

Wünschenswerte Analyse- und Auswertfunktionen

- Erfassung des Energieverbrauchs pro individuellem Lichtpunkt, pro Lichtgruppe
- Sortier- und Filtermöglichkeiten
- Fehleranalyse, Wartungsplanung
- Erfassung und Auswertung von Störungsmeldungen
- Dokumentation des Anlagenzustands

Exkurs Lebensdauerangaben LED.

Werden seitens der Leuchten-Hersteller keine konkreten Angaben wie im Kapitel Lösungen 2.1 „Empfohlene Darstellung von Wartungsfaktoren für LED-Leuchten – Beispiel“ geliefert, veranschaulichen nachfolgende Überlegungen den Spielraum der Angaben:

Die Angabe $L_{80}B_{10}$ bei 50.000 h sagt lediglich aus, dass nach 50.000 h Betriebsdauer 10 Prozent der gleichartigen LED-Leuchten einer Beleuchtungsanlage den Wert von 80 Prozent des Ursprungslichtstroms unterschreiten. 90 Prozent der Leuchten besitzen also noch einen Lichtstrom oberhalb oder gleich 80 Prozent. Keine dieser Leuchten ist total ausgefallen.

Dies kann in einem sehr positiven Fall bedeuten:

→ 90 Prozent der Leuchten besitzen eventuell noch einen Lichtstrom von 99 Prozent, der Wert liegt also weit über 80 Prozent, und 10 Prozent der Leuchten liegen vielleicht bei 79 Prozent, da folgerichtig 10 Prozent der Leuchten unter 80 Prozent liegen müssen. Der LLMF der fiktiven Beleuchtungsanlage entspräche dann $0,9 \times 0,99 + 0,1 \times 0,79 = 0,97$

Im negativsten Fall kann dies dagegen auch bedeuten:

→ 90 Prozent der Leuchten besitzen noch einen Lichtstrom von 80 Prozent, und 10 Prozent der Leuchten liegen bei vielleicht 1 Prozent, da folgerichtig 10 Prozent unter 80 Prozent liegen müssen (in diesem Fall allerdings weit unter 80 Prozent). Der LLMF der fiktiven Beleuchtungsanlage entspräche somit $0,9 \times 0,80 + 0,1 \times 0,01 = 0,721$.

Keine der Leuchten ist total ausgefallen.

Die beiden Berechnungsbeispiele verdeutlichen, dass der LLMF bei der Angabe $L_{80}B_{10}$ zwischen ca. 0,72 und 0,97 liegen kann. Eine genauere Aussage ist nicht möglich bzw. anders ausgedrückt: Garantiert wird ein Anlagenlichtstrom in Höhe von rund 72 Prozent des Anfangslichtstroms nach 50.000 Betriebsstunden. Es wird deshalb empfohlen, dass Anbieter hierzu konkrete Werte veröffentlichen.

Bezüglich des Lampenlichtstromwartungsfaktors (LLMF) ergibt sich eine große Spannweite.

Lampendaten.

Für jeden Zweck die richtige Lampe: Hier finden Sie zusammengefasst alle wichtigen Daten zu den gängigen Lampentypen.

LBS	Bezeichnung	Bauform	Lampenleistung (W)	Systemleistung (W)	Lichtstrom (lm)	Lampenlichtausbeute (lm/W)	Systemlichtausbeute (lm/W)	LLMF/LSF								Lichtausbeute	Lebensdauer	Temperaturabhängigkeit	Farbwiedergabe	Regelbarkeit																		
								2.000	4.000	6.000	8.000	12.000	16.000	20.000	24.000						30.000	40.000	48.000															
HST	Natriumdampf-Hochdrucklampe	Röhrenform (klar)	50	57	4.200	84	74	0,92/0,99	0,90/0,98	0,89/0,98	0,87/0,97	0,86/0,97	0,84/0,96	0,83/0,95					++	++	~	-	o															
			70	78	6.600	94	85	0,92/0,99	0,91/0,98	0,90/0,98	0,89/0,97	0,89/0,97	0,88/0,96	0,88/0,96																								
			100	110	10.700	107	97	0,94/0,99	0,92/0,98	0,90/0,98	0,89/0,97	0,88/0,97	0,87/0,96	0,86/0,96																								
			150	167	17.500	117	105	0,98/0,99	0,97/0,99	0,96/0,98	0,95/0,98	0,94/0,97	0,94/0,96	0,94/0,96																								
HSE		Ellipsoidform (matt)	50	57	4.000	80	70	0,92/0,99	0,90/0,98	0,88/0,98	0,86/0,97	0,84/0,96	0,83/0,95	0,79/0,85										+	+	~	++	o										
			70	77	6.300	90	82	0,92/0,99	0,91/0,98	0,90/0,98	0,89/0,97	0,89/0,97	0,88/0,96	0,88/0,96																								
			100	110	10.400	104	95	0,94/0,99	0,92/0,98	0,89/0,98	0,89/0,97	0,88/0,97	0,87/0,96	0,86/0,96																								
			150	167	17.000	113	102	0,98/0,99	0,97/0,99	0,96/0,98	0,95/0,98	0,94/0,97	0,94/0,96	0,94/0,96																								
HIT	Metall-dampflampe	Röhrenform (klar)	35	43	3.700	106	86	0,86/0,99	0,82/0,98	0,78/0,97	0,75/0,96	0,73/0,80							+	+	~	++	o															
			50	61	6.100	122	99	0,92/0,99	0,90/0,99	0,89/0,98	0,88/0,97	0,85/0,97	0,83/0,95	0,75/0,78																								
			70	82	8.000	114	97	0,92/0,99	0,90/0,99	0,89/0,98	0,88/0,97	0,85/0,97	0,83/0,95	0,75/0,78																								
			100	110	12.000	120	109	0,94/0,99	0,92/0,99	0,90/0,98	0,89/0,97	0,85/0,97	0,84/0,95	0,75/0,78																								
			150	162	17.300	115	106	0,93/0,99	0,90/0,99	0,88/0,98	0,85/0,97	0,84/0,97	0,83/0,95	0,75/0,78																								
HIE		Ellipsoidform (matt)	35	44	4.200	120	95	0,92/0,99	0,90/0,99	0,89/0,98	0,88/0,97	0,85/0,97	0,83/0,95	0,75/0,78															+	+	~	++	o					
			50	61	6.100	122	99	0,92/0,99	0,90/0,99	0,89/0,98	0,88/0,97	0,85/0,97	0,83/0,95	0,75/0,78																								
			70	81	7.900	113	97	0,92/0,99	0,90/0,99	0,89/0,98	0,88/0,97	0,85/0,97	0,83/0,95	0,75/0,78																								
HIT	Keramische Metallhalogen-dampflampe	Röhrenform (klar)	45	49	4.650	103	94	0,92/0,99	0,90/0,99	0,90/0,99	0,90/0,99	0,89/0,99	0,87/0,99	0,86/0,97	0,84/0,90	0,82/0,63								o	+	!	+	o										
			60	66	7.090	118	108	0,88/0,99	0,86/0,99	0,86/0,99	0,86/0,99	0,85/0,99	0,83/0,99	0,82/0,97	0,80/0,90	0,78/0,63																						
			90	99	10.140	113	103	0,93/0,99	0,91/0,99	0,90/0,99	0,88/0,99	0,87/0,99	0,86/0,96	0,85/0,90	0,84/0,78	0,83/0,50																						
			140	154	16.000	114	104	0,96/0,99	0,96/0,99	0,95/0,99	0,93/0,99	0,88/0,97	0,85/0,90	0,81/0,74	0,78/0,50																							
TC-LEL	Kompaktleuchtstofflampe langlebig	Röhrenform (matt)	18	20	1.200	67	61		0,90/0,99	0,88/0,99	0,86/0,99	0,84/0,99	0,81/0,99	0,80/0,99					o	+	!	+	o															
			24	26	1.800	75	69		0,90/0,99	0,88/0,99	0,86/0,99	0,84/0,99	0,81/0,99	0,80/0,99																								
			36	39	2.900	81	74		0,90/0,99	0,88/0,99	0,86/0,99	0,84/0,99	0,81/0,99	0,80/0,99																								
	Kompaktleuchtstofflampe für Außeneinsatz	Röhrenform (matt)	18	20	1.150	64	59		0,90/0,99	0,88/0,99	0,86/0,99	0,84/0,95	0,81/0,81	0,80/0,50																				o	o	~	+	o
			24	26	1.675	70	64		0,90/0,99	0,88/0,99	0,86/0,99	0,84/0,95	0,81/0,81	0,80/0,50																								
			36	39	2.900	81	74		0,90/0,99	0,88/0,99	0,86/0,99	0,84/0,95	0,81/0,81	0,80/0,50																								
	Kompaktleuchtstofflampe spezial	Röhrenform (matt)	18	20	1.200	67	61	0,98/1,00	0,97/1,00		0,94/1,00	0,92/1,00	0,90/1,00	0,90/1,00		0,90/0,99	0,90/0,97	0,90/0,90											o	++	!	+	o					
			24	26	1.800	75	69	0,98/1,00	0,97/1,00		0,94/1,00	0,92/1,00	0,90/1,00	0,90/1,00		0,90/0,99	0,90/0,97	0,90/0,90																				
			36	39	2.900	81	74	0,98/1,00	0,97/1,00		0,94/1,00	0,92/1,00	0,90/1,00	0,90/1,00		0,90/0,99	0,90/0,97	0,90/0,90																				

- ++ sehr gut
- + gut
- mittel
- o schlecht
- ! unbedingt beachten
- ~ unkritisch

LLMF/LSF

Bezeichnung	1.000	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	35.000	40.000	45.000	50.000	Lichtausbeute	Lebensdauer	Temperaturabhängigkeit	Farbwiedergabe	Regelbarkeit
LED L80B10 bei 50.000 h	1,00/1,00	0,99/1,00	0,97/1,00	0,96/1,00	0,94/1,00	0,93/1,00	0,91/1,00	0,90/1,00	0,88/1,00	0,87/1,00	0,85/1,00	++	++	!	+	++
LED L70B10 bei 50.000 h	0,99/1,00	0,97/1,00	0,95/1,00	0,92/1,00	0,90/1,00	0,87/1,00	0,84/1,00	0,82/1,00	0,79/1,00	0,77/1,00	0,74/1,00					

Übersicht Garantiebedingungen – Praxisbeispiele.

		Hersteller 1	Hersteller 2 Premium	Hersteller 2 Standard	Hersteller 2 Basis	Hersteller 3	Hersteller 4	Hersteller 5	Hersteller 6*	Hersteller 7	Hersteller 8	Hersteller 9*	Hersteller 10	Hersteller 11
Garantiezeitraum									nur auf Anfrage, nicht alle Leuchtentypen					
	LED-Modul	5 Jahre	10 Jahre	5 Jahre	3 Jahre	5 Jahre	5 Jahre	1 Jahr	5 Jahre	5 Jahre	5 Jahre	keine Angabe	auf Anfrage	5 Jahre
	Vorschaltgeräte/Treiber	5 Jahre	3 Jahre	5 Jahre	3 Jahre	5 Jahre	5 Jahre	1 Jahr	5 Jahre	5 Jahre	5 Jahre	keine Angabe	auf Anfrage	5 Jahre
	Leuchte	keine Angabe	3 Jahre	3 Jahre	3 Jahre	keine Angabe	5 Jahre	1 Jahr	keine Angabe	5 Jahre	5 Jahre	5 Jahre	keine Angabe	keine Angabe
	Beginn der Fristen	Kaufdatum	Rechnungsdatum	Rechnungsdatum	Rechnungsdatum	ab Installation oder 3 Monaten nach Auslieferung	Rechnungsdatum	Lieferdatum	Rechnungsdatum	Rechnungsdatum	Rechnungsdatum	ab Übergabe	Rechnungsdatum	Kaufdatum
Garantiebedingungen	Lichtstromrückgang	> 0,6 % pro 1.000 h	Gesamtlichtstrom < 80 %			> 0,6 % pro 1.000 h	> 0,6 % pro 1.000 h	LED-Leuchten werden, wenn nur einzelnen LED-Komponenten fehlerhaft sind, nicht als fehlerhaft erachtet, sofern die Anzahl der funktionsunfähigen Komponenten weniger als 10 % der Gesamtzahl an LED Komponenten in der LED-Leuchte beträgt	> 0,6 % pro 1.000 h	> 5 % pro Jahr	keine Angabe	> 30 % während der Garantiezeit	> 0,4 % pro 1.000 h	Gesamtlichtstrom < 80 %
	Ausfallrate	> 0,2 % pro 1.000 h	Gesamtlichtstrom < 80 %			> 0,2 % pro 1.000 h	> 0,2 % pro 1.000 h (LED-Leuchte gilt als defekt, wenn 10 % der LEDs oder 3 Stück nicht mehr funktionieren)		> 0,2 % pro 1.000 h	> 0,2 % pro 1.000 h	> 5 % aller LEDs der Leuchte	> 10 % der Komponenten während der Garantiezeit	> 0,2 % pro 1.000 h > 10 % aller LEDs in einem Produkt	> 10 % bei L ₈₀ B ₁₀
	max. Betriebsstunden im Jahr	4.000	4.000	vom Hersteller vorgegebene Bedingungen (Leuchten-datenblatt)			4.000	keine Angabe	bei 4.000 h pro Jahr, gesamt 20.000 h	keine Angabe	durchschnittlich 3.000 h	ca. 4.000 h	< 4.300 h	keine Angabe
	max. Umgebungstemperatur in Betrieb	Angabe im Leuchten-datenblatt	T _a < 35 °C				Leuchten-datenblatt	Leuchten-datenblatt	Leuchten-datenblatt	Leuchten-datenblatt	T _a < 45 °C oder Produktdatenblatt	Leuchten-datenblatt	keine Angabe	keine Angabe
	max. Schaltzyklen am Tag	1	1	1	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	1	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe		
	Registerung der Bestellung	bis 3 Monate nach Inbetriebnahme	nicht notwendig	bis 3 Monate nach Inbetriebnahme	30 Tage nach Lieferung, wenn Garantie nicht auf Vertrag oder Rechnung ausgewiesen ist	keine Angabe	keine Angabe	innerhalb von 90 Tagen ab Rechnungsdatum, auf Online-Portal	keine Angabe	keine Angabe	30 Tage nach Inbetriebnahme, mittels Formblatt	keine Angabe	keine Angabe	
	Meldefrist im Garantiefall	30 Tage	30 Tage	unmittelbar, schriftlich	keine Angabe	30 Tage	keine Angabe	30 Tage, im Online-Portal	30 Tage	unverzüglich	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	
	Einhaltung Wartungsarbeiten	Nachweis durch Dokumentation	Nachweis durch Betriebsprotokoll			keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	Wartung nach Montageanleitung muss eingehalten werden	Der Kunde muss nachweisen, dass die Fehler, Mängel oder Schäden am Produkt oder an Teilen davon keine direkte oder indirekte Folge von Nachlässigkeit, Fehlgebrauch sind. Das Produkt muss durchgängig am gleichen Ort betrieben werden.	keine Angabe	Nachweis	keine Angabe
	Einhaltung Umgebungstemperatur und Netzspannung	Nachweis durch Dokumentation	Nachweis durch Betriebsprotokoll			keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	kein Nachweis erforderlich	keine Angabe	Nachweis	keine Angabe	
Einhaltung Betriebszeiten und Schaltzyklen	Nachweis durch Dokumentation	Nachweis durch Betriebsprotokoll			keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	kein Nachweis erforderlich	keine Angabe	Nachweis	keine Angabe		

Auffällige Garantiebedingungen sind hervorgehoben. * Montage von Austauschkomponenten durch den Auftraggeber vorgesehen.

Übersicht Garantiebedingungen – Praxisbeispiele.

		Hersteller 1	Hersteller 2 Premium	Hersteller 2 Standard	Hersteller 2 Basis	Hersteller 3	Hersteller 4	Hersteller 5	Hersteller 6*	Hersteller 7	Hersteller 8	Hersteller 9*	Hersteller 10	Hersteller 11
Garantieleistungen	Reparatur	ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	keine Angabe	keine Angabe
	Einsatz von wiederverwendbaren Materialien	ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	keine Angabe	keine Angabe
	Ersatz durch vergleichbares Produkt	ja	ja			ja, kann zu Veränderungen der lichttechnischen Eigenschaften kommen	ja, Ersatzprodukt kann in geringem, vertretbarem Ausmaß bezüglich Abmessungen und Design abweichen	keine Angabe	ja, aufgrund des technischen Fortschritts sind vertretbare, geringfügige Abweichungen hinsichtlich Technik und Design möglich	ja, es sind eine Abweichung vom ursprünglichen Produkt aufgrund des technischen Fortschritts sowie eine vertretbare, geringe Abweichung hinsichtlich Design und Eigenschaften vorbehalten	ja, wenn Produkt nicht mehr hergestellt wird oder aus anderen Gründen nicht verfügbar ist, kann ein alternatives Produkt, welches vergleichbar ist, angeboten werden	ja, es kann wegen nutzungsbedingter Veränderungen des Lichtstroms, der Farbtemperatur o.ä. von LED-Modulen und im Zuge des technischen Fortschritts zu Abweichungen in den Lichteigenschaften kommen	ja, wegen des technischen Fortschritts bei den LED-Modulen und der nutzungsbedingten Veränderung des Lichtstroms kann es im Einzelfall zu Abweichungen bei Lichteigenschaften, Abmessungen und Design kommen	keine Angabe
	Kaufpreiserstattung	ja	ja			ja	ja	keine Angabe	keine Angabe	ja	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe
	bei Ablehnung des Garantiefalles trägt Besteller Prüf- und Transportkosten	ja	ja			keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe

Auffällige Garantiebedingungen sind hervorgehoben. * Montage von Austauschkomponenten durch den Auftraggeber vorgesehen.

Checkliste Auswahlkriterien einer Leuchte.

Die folgende Aufstellung ist ein Vorschlag, keine vollständige Checkliste. Sie soll als Anregung dienen, welche Kriterien im Vorfeld zu bedenken und bei der Ausschreibung festzulegen sind.

In den verschiedenen Anwendungsbereichen sind noch weitere Forderungen an erforderliche Unterlagen oder auch Leuchtenkriterien aus Sicht der Instandhaltung denkbar, beispielsweise „Leuchte soll von oben geöffnet werden können, wegen einfacherer Arbeitsweise“ versus „Leuchte soll von unten geöffnet werden können, damit Arbeit bei Regen möglich“.

Vorzulegende Unterlagen

- LVK in digitaler Form
- Montageanleitung
- Bedienungsanleitung (z. B. Regelung)
- Angaben zu Wartungsfaktoren und Einsatzbedingungen
- Zertifizierungsunterlagen
- Datenblätter
- Garantiebedingungen
- Evtl. Beschreibung von Referenzprojekten (mit Nennung eines Ansprechpartners)

Relevante Kriterien für Betrieb und Instandhaltung der Leuchte

- Leichte und schnelle Wechselbarkeit des LED-Moduls
- Schnelles Öffnen und Schließen der Leuchte (werkzeuglos ist keine Bedingung)
- Leichte und schnelle Wechselbarkeit des Abdeckglases, Leuchtenabdeckung gesichert gegen Absturz
- Leichte und schnelle Wechselbarkeit der Dichtungen
- Leichte und schnelle Wechselbarkeit der Leuchtenbauteile
- Keine außenliegenden Kühlrippen (Verschmutzung)
- Abtropfkante (Eiszapfen)
- Standardsteckeranschluss (handelsüblich) an Anschlussleitung
- Automatische Spannungsfreiheit der Leuchte nach Öffnen (gefahrloses Arbeiten)
ODER
- Keine Steckverbindung des Elektroblocs (damit Messungen an der Leuchte und deren Bauteilen vor Ort möglich und keine umständliche Überbrückung der Abschaltmechanik notwendig)

1. Ausschreibung und Vergabe.

Öffentliche Auftraggeber sind grundsätzlich dazu verpflichtet, ihre kommunale Straßenbeleuchtung gemäß öffentlichem Vergaberecht zu beschaffen. Liegen die Kosten der geplanten Maßnahme oberhalb bestimmter europaweit geltender Schwellenwerte für die Auftragsvergabe, muss ein europaweites Vergabeverfahren durchgeführt werden.

Aktuelle Schwellenwerte für die Auftragsvergabe [1] liegen derzeit bei:

- 215.000 € (netto) für Liefer- und Dienstleistungsverträge
- 5.382.000 € (netto) für Bauaufträge

Die EU-Schwellenwerte werden von der Europäischen Kommission alle zwei Jahre geprüft und, falls erforderlich, per Verordnung geändert. Die nächste Prüfung der Schwellenwerte erfolgt zum 01. Januar 2024.

Liegt der geschätzte Auftragswert unterhalb der EU-Schwellenwerte, erfolgt die Vergabe nach nationalen Richtlinien. Es gilt dann das Haushalts- sowie Landesvergaberecht der jeweiligen Bundesländer. Dieser Rechtsrahmen und die dazugehörigen Verwaltungsvorschriften bestimmen, dass in Sachsen bei der öffentlichen Ausschreibung und Vertragsgestaltung zwingend die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) bzw. Vergabe- und Vertragsordnung für Lieferungen und Dienstleistungen (VOL) angewendet werden müssen. Welche Vergabe- und Vertragsordnung zur Anwendung kommt, richtet sich danach, ob der überwiegende Anteil der Leistungen am Gesamtvolumen der Ausschreibung im Bereich der Bauaufträge oder der Lieferungen und Dienstleistungen liegt.

Typische Ausschreibungen im Bereich der öffentlichen Beleuchtung sind:

- Beschaffung von Leuchten
- Demontage/Montageleistungen von Leuchten (mit oder ohne Mast)
- Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten

Zur Aufstellung eines technischen Standards bzw. der technischen Anforderungen müssen die Ausschreibungsgegenstände (Leuchten etc.) systematisch beschrieben werden. Dies kann anhand der Aufstellung technischer Funktionen und Eigenschaften sowie der Form und Farbgebung geschehen.

1.1. Technischer Standard.

Technische Standards werden aufgestellt, um im Wettbewerb gleiche Rahmenbedingungen für alle Bieter zu schaffen sowie eine einheitliche technische Ausführung zu gewährleisten. Dabei sollte außerdem sichergestellt werden, dass die gewünschten geometrischen Formen der Standardleuchten von mehreren Herstellern angeboten werden.

Wenn die Material- bzw. Produktvielfalt eingegrenzt wird, können darüber hinaus meistens auch unnötige Lagerhaltungskosten eingespart werden.

Um zu einem qualitativ hochwertigen Ergebnis zu gelangen, sind spezielles Know-how und fundierte technisch-wirtschaftliche Erfahrung nötig. Denn die Modernisierung sollte auch dazu genutzt werden, den bisherigen technischen Standard zu hinterfragen. Dabei sollte über folgende, teils durchaus gegensätzliche Aspekte in den entsprechenden Gremien der Kommune entschieden werden:

- Lichtfarbe und Effizienz der Leuchtmittel
- Investitionskosten und Langlebigkeit der Komponenten (z. B. Maststärken)
- Vielfalt an Leuchtendesigns und Technologien
- Arten der Steuerungen und Dimmprofile (z. B. Dimmlösung im Lichtpunkt oder Einsatz eines Lichtmanagementsystems)

Diese Überlegungen bilden die Grundlage für die Ausschreibung der Produkte im späteren Beschaffungsprozess.



Beispiel
technischer
Standard

1.2. Bedarfsermittlung.

Im nächsten Schritt muss geklärt werden, was konkret beschafft werden soll (z. B. für eine Sanierung). Dazu müssen, mit potenziell geeigneten Leuchtentypen aus dem technischen Standard, lichttechnische Berechnungen für die konkrete Situation angefertigt werden. Die Massen werden entsprechend der elektrotechnischen und lichttechnischen Planung ermittelt. Auch eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur betreffenden Maßnahme muss angestellt werden. Hierzu können Sie die bereits im Kapitel Lösungen vorgestellten Excel-Tabellen der Berechnungsbeispiele nutzen. Daran schließt sich die Schätzung der Auftragshöhe an.

Nachdem die technische Beschreibung der zu beschaffenden Gegenstände, deren Anzahl und der Auftragswert ermittelt wurden, muss nun die geeignete Vergabeart ausgewählt werden. Bei der Bestimmung des voraussichtlichen Auftragswerts muss umso mehr auf Genauigkeit geachtet werden, je näher die Kostenschätzung an die EU-Schwellenwerte herankommt.



Berechnungs-
beispiele

1.3. Verfahrensarten.

Die Lieferung von Leuchten (als reine Lieferleistung) wird nach VOL und die Errichtung von Leuchten nach VOB ausgeschrieben. Bereits bei der Einordnung von Instandhaltungsleistungen ist die Lage je nach Sachverhalt verschieden.

Komplizierter ist der Sachverhalt, wenn in einem Auftrag sowohl die Beschaffung von Leuchten als auch die Errichtung ausgeschrieben werden sollen. Die Abgrenzung der einzelnen Leistungen ist für die Praxis äußerst wichtig: zum einen in Hinblick auf die abweichenden Schwellenwerte und Bestimmungen, zum anderen in Hinblick auf die juristischen Konsequenzen bei Wahl des falschen Verfahrens. Ein Beispiel für letzteren Aspekt ist die Entscheidung der Vergabekammer Baden-Württemberg, nach der trotz preislicher Übergewichtung des Lieferanteils (d. h. der Leuchten) gegenüber den Bauleistungen der Gesamtauftrag trotzdem als Bauauftrag gewertet werden kann [2].

Verfahren	Öffentliche Ausschreibung	Beschränkte Ausschreibung [3]	Freihändige Vergabe [3]
Wertobergrenzen Sachsen		VOL/A keine VOB/A 50.000 Euro (Straßenausstattung)	VOL/A bis 25.000 Euro VOB/A bis 25.000 Euro
Aufwand	groß	mittel	gering
Vorteile	Möglichkeit besteht, dass sich neue Bieter beteiligen. Stammbieter geben i. d. R. preiswerteres Angebot ab als bei beschränkter Ausschreibung, da mit unbekanntem Bieter zu rechnen ist.	Es können nur Bieter beteiligt werden, deren Zuverlässigkeit in der Vergangenheit gewährleistet war.	Bei kleinen und kurzfristigen Beschaffungen gut geeignet. Es sollten mindestens drei Angebote eingeholt werden.
Nachteile	Zuverlässigkeit unbekannter Bieter kann nicht eingeschätzt werden. Bei besonders preiswerten Bietern (Abweichung ≥ 10 Prozent) muss eine Prüfung der Kalkulation erfolgen.		

Sowohl bei einer beschränkten Ausschreibung als auch bei der freihändigen Vergabe kann ein Teilnehmerwettbewerb vorgeschaltet werden. Dieser dient einerseits dazu, die Zahl der Bieter, die zur Abgabe eines Angebots aufgefordert werden, zu reduzieren, und andererseits dazu, die Sachkunde und Leistungsfähigkeit der potenziellen Bieter zu bewerten.

Über die Zulassung von Nebenangeboten, also von Sondervorschlägen, die von der vorgesehenen Leistungsausführung abweichen, sollte in jedem Einzelfall nachgedacht werden. Zwar wird die Einschätzung und Wertung der Angebote dadurch komplizierter, jedoch kann der Auftraggeber von der Kompetenz der Bieter profitieren: Die Nutzung des speziellen Know-hows eines Bieters kann z. B. große Chancen für die Wirtschaftlichkeit des Einkaufs eröffnen. Dem Bieter wiederum verschaffen Nebenangebote die Möglichkeit, eigene Lösungen einzubringen. Grundsätzlich dienen Nebenangebote der Innovationsförderung sowie der Steigerung der Angebotsvielfalt. Regelungen zu Nebenangeboten beschreiben die jeweiligen Vergabe- und Vertragsordnungen sowie die korrespondierende Rechtsprechung.

1.4. Vergabeunterlagen.

Die Erhebung der technisch-wirtschaftlichen Grundlagen ist die Basis der Bieterinformation im Vergabeverfahren. Wie Bestandserfassung, Wertanalyse und Analyse der Betriebsführung erfolgen kann, wurde im Kapitel Voraussetzungen vorgestellt.

Als wesentliche Bestandteile der Vergabeunterlagen sind Leistungsbeschreibung und Zuschlagskriterien geeignete Unterlagen, um Energieeffizienz in die Vergabeunterlagen zu integrieren. Die Vergabeunterlagen stehen allen Bietern zur Verfügung und bilden die Grundlage für deren Angebote.

Leistungsbeschreibung.

Zusammen mit der Definition des technischen Standards bietet die Leistungsbeschreibung mit Leistungsverzeichnis (LV) die größten Freiräume, um Umwelt- und Energieeffizienzkriterien einfließen zu lassen, da die Nichterfüllung eines Leistungskriteriums in der Regel zum Ausschluss des Angebots führt.

Die Leistungsverzeichnisse sollten so formuliert sein, dass die Bieter die geforderten Leistungen auch klar kalkulieren können. Eine Leistungsposition wie z. B. „Errichten, Betreiben, Abbauen von provisorischen Beleuchtungsanlagen, die zur Beleuchtung der Gehwege oder der Baustraße erforderlich sind“ lässt erheblichen Auslegungsspielraum und ist für den Bieter nicht ohne Risiko kalkulierbar. Eine genauere Beschreibung der Art und Anzahl der Beleuchtungsanlage sowie die Vorgabe eines Beleuchtungsniveaus gibt dem Bieter die nötige Sicherheit. Zwei Muster-LV für Bau und Leuchten stehen als PDF sowie im GAEB-Format zum Download zur Verfügung.

Gewichtungs- und Bewertungsmatrix.

Die Zuschlagskriterien werden über eine Gewichtungs- und Bewertungsmatrix veröffentlicht. Dabei wird nach KO-Kriterien, die zwingend einzuhalten sind und Wertungskriterien, die mittels Punktesystem gewichtet werden, unterschieden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die unbedingt einzuhaltenden Kriterien bereits im LV zu beschreiben und die Matrix nur aus Wertungskriterien bestehen zu lassen. Die Einbindung weiterer Kriterien neben dem Preis stellt sicher, dass die Kommune das wirtschaftlichste und nicht nur das preiswerteste Angebot wählt. Die im Anhang bereitgestellte einfache, auf Excel basierende Gewichtungs- und Bewertungsmatrix stellt eine Kombination aus einem geschlossenen Punktesystem, einem offenen Punktesystem in Abhängigkeit von Minimal- bzw. Maximalwerten und einem funktionalen Erwartungsgrad dar. Die Matrix steht zum Download bereit. Die Bewertungskriterien und deren Gewichtungen können je nach Bedarf überschrieben oder ergänzt werden. Der Blattschutz kann jederzeit aufgehoben und die Datei Ihren konkreten Bedürfnissen angepasst werden. [4]

Allgemeine Angebotsinhalte, Kriterien für Qualitätsprodukte und Lichtqualität sowie technische Mindestanforderungen.



Muster-LV
für Bau



Muster-LV
für Leuchten



Bewertungs-
matrix neutral

Der funktionelle Erwartungsgrad sollte im LV genau beschrieben sein (z. B. Dokumentation/Unterlagen → entspricht den Anforderungen).

Diese Anforderungen sollten im LV stehen:

- Datenblätter
- Lichtverteilungskurve (LVK) in digitaler Form
- Bedienungsanleitung
- Montageanleitung usw.

Eine Festsetzung von Mindestquoten für Zuschlagskriterien ist nicht vorgesehen. Es ist lediglich sicherzustellen, dass der Preis ein wichtiges, die Vergabeentscheidung substantiell beeinflussendes Entscheidungskriterium bleibt und nicht bis zur Bedeutungslosigkeit marginalisiert wird. [5]

Bei der Bewertung von Design/Ästhetik oder Konzepten sollte eine mehrköpfige Jury unabhängig nach einer vorgegeben Systematik entscheiden.

Bei der Wertung der Angebote für die spätere Vergabeentscheidung wird streng darauf geachtet werden, dass nur Sachverhalte, die vorher benannt (Vertragsbedingungen, LV) oder in der Bewertungsmatrix veröffentlicht wurden, auch bewertet werden dürfen.

2. Musterstadt.

Musterstadt hat sich für den Ersatz der noch vorhandenen 147 Leuchten mit 80 W Quecksilberdampflampen durch LED-Leuchten entschieden. Die Entscheidung wurde im Kapitel Lösungen vorgestellt. Musterstadt schreibt nur die Lieferung der LED-Leuchten aus und nutzt dazu das Beispiel-Leistungsverzeichnis für Leuchten nach der VOL/A. Musterstadt kauft die Leuchten, lagert sie und stellt sie dem späteren Bauausführenden bereit. Die Ausschreibung der Bauleistung soll an dieser Stelle nicht behandelt werden.

Die Straßenbreite beträgt 5 m, und es wird eine Lichtpunkthöhe von 7,5 m sowie ein Lichtpunktastand von 35 m bei Beleuchtung nach der Klasse S5 vorgegeben. Die neutrale Bewertungsmatrix Musterstadt wurde den Bietern im Verfahren zur Verfügung gestellt.



Bewertungsmatrix
Musterstadt

Eingegangen sind vier Angebote mit folgenden technischen Eckdaten, die Bewertungsmatrix im Anhang liefert eine Übersicht über alle Kriterien:

Leuchtenmodell	Systemleistung (W)	\bar{E}_m (lx)	E_{min} (lx)	Leistungskennwert Musterstadt (W/m)	Leistungsgrenzwert (W/m)	Leistungszielwert (W/m)
Leuchte 1	45	4,37	1,74	0,96	1,95	1,27
Leuchte 2	28	4,45	0,87	0,89	1,98	1,29
Leuchte 3	19	3,00	0,91	0,54	1,54	0,93
Leuchte 4	63	3,26	0,85	1,80	1,62	1,00

Der Ansatz der Leistungsgrenz- und -zielwerte wurde bereits im Kapitel Lösungen vorgestellt. Eine ausführliche Beschreibung zu diesem Thema findet sich im Anhang.



Broschüre Energie-
kennzahlen

Da sowohl Lichtpunktastand also auch Lichtpunkthöhe durch die Beibehaltung der Standorte vorgegeben waren, werden die Mindestanforderungen der Beleuchtungskategorie S5 von $\bar{E}_m = 3 \text{ lx}$ und $E_{min} = 0,6$ nicht exakt erreicht, sondern das Beleuchtungsniveau liegt, im Rahmen des Toleranzbereichs, etwas höher. Die Auswertung wurde mittels der vorgeschlagenen Bewertungsmatrix durchgeführt, die weitere Kriterien wie Preis, Wartungsfreundlichkeit, Ästhetik und Farbwiedergabe berücksichtigt. Im Ergebnis wurden in Musterstadt 147 Stück der Leuchte 3 beschafft. Das Angebot unter Verwendung von Leuchte 3 zeichnet sich gegenüber den anderen Angeboten durch den geringsten streckenspezifischen Anschlusswert aus und verfügt über die Möglichkeit einer mehrstufigen Steuerung.

Quellen:

- [1] Aktuelle EU-Schwellenwerte online unter <http://www.vergabe.sachsen.de/170.html>
- [2] Vergabekammer Baden-Württemberg. Beschluss vom 02.12.2014 (Az.: 1 VK 21/14)
- [3] Auftragsberatungsstelle Hessen e.V.: Wertgrenzen für beschränkte Ausschreibungen/
freihändige Vergaben. Stand: 03.03.2017.
Online unter https://www.absthessen.de/pdf/Wertgrenzen_Bund_%20Bundesländer_2017.pdf
- [4] Die Bewertungsmatrix Musterstadt basiert auf einer Bewertungsmatrix, die im Rahmen der
LED-Leitmarktinitiative des BMU in Kooperation mit dem ZVEI (Zentralverband der Elektro-
industrie) erarbeitet wurde. Diese ist verfügbar unter:
https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/vorlage_bewertungsmatrix_led_2012_v1-0.xlsx
- [5] OLG Düsseldorf, Beschluss vom 29.12.2001, Verg 22/1

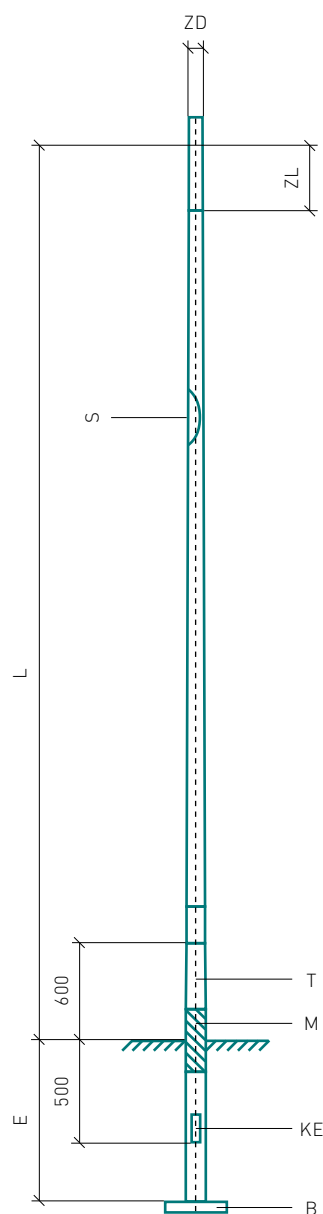
Technischer Standard öffentlicher Beleuchtung.

Technische Standards stellen gleiche Wettbewerbsbedingungen bei einer Ausschreibung und eine einheitliche technische Ausführung sicher. Gleichzeitig werden auch die Materialvielfalt und die damit verbundenen Lagerhaltungskosten beim Dienstleister im Sinne der Kommune minimiert. Hier finden Sie Eckpunkte für die Erstellung eines technischen Standards öffentlicher Beleuchtung.

A. Allgemeine Bedingungen zur Ausführung von Kabellegearbeiten.

B. Allgemeine Bedingungen zu Masten und Mastgründung.

→ Ein Standard für Tragsysteme wird hier beispielhaft an konischen Aufsatzmasten dargestellt.



Höhe über Erde	L	4,0 m
Erdlänge	E	0,8 m
Manschette, Stahl	M	450 mm
Zopfmaß	ZD	76 mm
Zopflänge	ZL	100 mm
Wandstärke	S	3,0 mm
Bodenplatte	B	300 x 300 x 4 mm
Türöffnung	T	100 x 350 mm
Kabeleinführungsöffnung	KE	50 x 150 mm

Technischer Standard öffentlicher Beleuchtung.

C. Allgemeine Bedingungen der elektronischen Beschaltung.




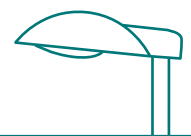
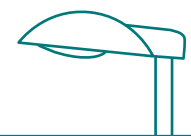
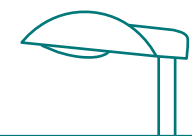



C.1 Streckenkabel.

C.2 Leuchten.

→ Sowohl für den zukünftigen Neubau als auch bei der Erneuerung sind die Leuchten des Gestaltungsleitbilds der Kommune einzusetzen. In Ergänzung bzw. Präzisierung wird festgelegt:

- Zusätzlich ist der Einsatz von Leuchten des Typs „A“ und „B“ gestattet.
- Als Ersatz der Leuchten der Firma „X“ ist die Leuchte Modell „C“ der Firma „Y“ zugelassen.

→ Alternative Angaben: Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad neu einzusetzender Leuchten darf ... Prozent nicht unterschreiten.

Beispiel für Sammelstraßen 5 – 6 m	Hersteller 1	Hersteller 2	Hersteller 3
			
Lichtstrom	3.500 lm	3.500 lm	3.050 lm
Anzahl möglicher Lichtverteilungen	12	1	5
Systemleistung	34 W	33 W	28 W
Lichtfarbe	4.000 K		
Beispiel für Sammelstraßen 6 – 8 m	Hersteller 1	Hersteller 2	Hersteller 3
			
Lichtstrom	7.000 lm	6.800 lm	7.600 lm
Anzahl möglicher Lichtverteilungen	12	3	6
Systemleistung	60 W	58 W	77 W
Lichtfarbe	4.000 K		
→ Für alle Leuchtentypen sollten auch Fußgängerüberweg (FGÜ)-Leuchten angeboten werden, damit sich die geometrische Form der Leuchten nicht im Straßenbild an FGÜ ändert.			
Beispiel für Anliegerstraße 3 – 4 m	Hersteller 1	Hersteller 2	Hersteller 3
			
Lichtstrom	2.000 lm	1.800 lm	1.800 lm
Anzahl möglicher Lichtverteilungen	1	1	1
Systemleistung	19 W	17 W	25 W
Lichtfarbe	4.000 K		
→ Zusätzlich zu den oben dargestellten lichttechnischen Eigenschaften der Leuchten können weitere Kriterien berücksichtigt werden:			
Gehäuse/Mechanik	Elektrik		
Schutzart	Schutzklasse		
Stoßfestigkeitsgrad	Überspannungsschutz		
Material	Art der Leistungsreduzierung		
Farbe			
Material Abdeckung/Lichtaustrittsfläche			
Zopfmaß			

Technischer Standard öffentlicher Beleuchtung.

C. Allgemeine Bedingungen der elektronischen Beschaltung.

C.3 Lichtfarben/Lampen.

- Die einzusetzenden Lichtfarben/Lampen ergeben sich aus dem Gestaltungsleitbild der Kommune. In Ergänzung bzw. Präzisierung wird festgelegt:
 - Als warm-weißes Licht wird Licht mit einer Farbtemperatur ≤ 3300 K verstanden, als neutral-weiß 3300 K bis 5300 K.
 - Der Tausch von Natriumdampf-Hochdrucklampen oder Quecksilberdampf-Hochdrucklampen hin zu Leuchtstofflampen ist nicht gestattet.
 - Es hat der kontinuierliche Austausch aller Quecksilberdampf-Hochdrucklampen zu erfolgen.
- Alternative Angaben: Neue einzusetzende Lampen sollen eine Mindestlichtausbeute von ... lm/W besitzen. Die Lampensysteme (inkl. Vorschalt- und/oder Steuergeräte) haben den Anforderungen der Ökodesign-Richtlinie zu entsprechen.

C.4 Leistungsreduzierung und Steuerung.

- Einlampige Leuchten mit einer Lampenleistung ab 50 W werden, sofern zukünftig keine zentrale Leistungsreduzierung eingesetzt werden soll, mit einer Möglichkeit zur Leistungsreduzierung gefordert. Die Schaltschränke haben folgendes, zeitgleiches Schaltprogramm zu realisieren:
 - Zeitverzögertes (2 min) Einschalten der Beleuchtung
 - Ausschalten der Beleuchtung bei ... lx

D. Erneuerung/Umbau/Änderung von Beleuchtungsanlagen.

- Das bei Erneuerung/Umbau herrschende Beleuchtungsniveau darf sich nicht verschlechtern. Auf Wunsch der Kommune muss die lichttechnische Gleichwertigkeit zwischen den Alt- und Neuanlagen vor Erneuerung/Umbau durch eine Berechnung belegt werden.

E. Ersatzneubau.

F. Erfordernisse für Demontagen und umweltgerechtes Recycling.

- Nach Freischaltung der allgemeinen Beleuchtungsanlage sind alle zugehörigen Teile (z. B. Freileitungen, Ausleger, Leuchten und Leuchtmittel) fachgerecht zu demontieren und nach geltendem Recht umweltgerecht zu entsorgen.