

ES WERDE LICHT II.

Energieeffiziente Straßenbeleuchtung.

Modernisierung der Straßenbeleuchtung:
Was ist zu tun? Wie fängt man an?

LENA



Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt GmbH

Wir machen Energiegewinner.



VORWORT

zum Leitfaden der LENA

Modernisierung der Straßenbeleuchtung: Was ist zu tun? Wie fängt man an?

Sehr geehrte Damen und Herren,
liebe Leserinnen und Leser,

unsere Städte und Gemeinden stehen vor vielfältigen Herausforderungen. Da sind einerseits die umfangreichen Pflichtaufgaben, die sie zu erfüllen haben, und andererseits ihr Engagement für freiwillige Ziele. In der heutigen Zeit kommt noch eine weitere Anforderung hinzu: die Verantwortung und Vorbildrolle der Kommunen bei der Umsetzung der Klimaziele. Längst ist es nicht mehr erforderlich, die Notwendigkeit von Maßnahmen zum Schutz des Klimas zu verdeutlichen. Entscheidungen darüber, welche Maßnahmen umgesetzt werden sollen, können aber nur vor dem Hintergrund des finanziell Möglichen getroffen werden.

Dabei liegt es im Rahmen der kommunalen Selbstverwaltung in der Entscheidungshoheit jeder einzelnen Kommune, ob und wie sie diesbezüglich handelt. Maßnahmen, die einerseits einen Beitrag für den Klimaschutz leisten und andererseits den kommunalen Haushalt entlasten, können auch eine Möglichkeit für Kommunen in Haushaltsschwierigkeiten darstellen. Voraussetzung für die Durchführung einer Investitionsmaßnahme ist, dass die Maßnahme haushaltskonsolidierende Wirkung entfaltet, d.h. dass der Haushalt durch die Maßnahme im konkreten Einzelfall nicht höher belastet wird, sondern eine nachhaltige Entlastung durch z.B. geringere Betriebskosten erfährt.

Eine Maßnahme stellt auch die Modernisierung der Straßenbeleuchtung dar. Nicht nur steigende Energiepreise, sondern auch hohe Aufwendungen für Störungsbeseitigung und Wartung sind

bei veraltetem Leuchtenbestand Ursache für steigende Kosten der Betriebsführung. In vielen Städten und Gemeinden wurde bereits begonnen, die Straßenbeleuchtung zu modernisieren. Oft jedoch scheitert die flächendeckende Einführung von LED-Leuchten zunächst an hohen Anschaffungs- und Umrüstkosten. Eine systematische und umfassende Herangehensweise bezieht neben der technischen Lösung auch das Betriebsführungs- und Finanzierungsmodell in die Überlegungen ein.

Der vorliegende Leitfaden „Es werde Licht II – Was ist zu tun? Wie fängt man an?“ will grundlegende Fragen beantworten, die am Anfang des Prozesses stehen, Hilfestellung geben, sich der Lösung Schritt für Schritt zu nähern und auf verschiedene Möglichkeiten der Finanzierung hinweisen.

Ihr

Holger Stahlknecht,
Minister für Inneres und Sport
des Landes Sachsen-Anhalt

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT	3
INHALTSVERZEICHNIS	5
EINLEITUNG	6
RAHMENBEDINGUNGEN	7
Warum Straßenbeleuchtung modernisieren?	7
Gesetzliche Rahmenbedingungen, Normen und Empfehlungen	9
HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	16
Bestandserfassung	16
Konzeptbearbeitung	19
Umsetzungsvarianten	25
Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	28
INFORMATIONSQUELLEN	35
Weiterführende Links	35
Weiterführende Literatur	35
GLOSSAR	36
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	37
QUELLENVERZEICHNIS	38

EINLEITUNG

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 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. [12]

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 Städten, Gemeinden und Landkreisen zeigt, dass sich eine nachhaltige kommunale Energiepolitik durch sinkende Energiekosten auch finanziell lohnt. [5]

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.

Rund 30 bis 50 Prozent ihres jährlichen Stromverbrauchs wenden deutsche Kommunen für die Straßenbeleuchtung auf. Durch die energetische Modernisierung können davon bis zu 80 Prozent,

insgesamt ca. 2,2 Mrd. kWh, eingespart werden. Dies ist ein wichtiger Beitrag zur Erreichung der europäischen und nationalen Energie- und Klimaschutzziele. Gleichzeitig können langfristig die Stromkosten spürbar gesenkt werden, wodurch auch der Haushalt entlastet wird.

Zusätzlicher Handlungsbedarf entsteht durch die EU-Ökodesign-Verordnung, nach der ab 2015 keine Quecksilberdampf-Hochdrucklampen (HME) oder Natriumdampf-Hochdrucklampen mit Ellipsoidkolben (HSE) mehr in den Markt gebracht werden dürfen [1]. Gerade jetzt ist der richtige Zeitpunkt, um die Modernisierung der Straßenbeleuchtung einzuleiten. Durch die rasante Entwicklung der LED-Beleuchtungstechnik, verbesserte konventionelle Lampen und innovative Steuerungen stehen vielfältige Möglichkeiten bereit.

Nach der gemeinsam mit der Deutschen Energieagentur (dena) 2015 organisierten „Roadshow Energieeffiziente Straßenbeleuchtung“ und der Herausgabe eines zugehörigen Tagungsbandes initiierte die Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt GmbH (LENA) 2016 Untersuchungen zur Umstellung der Straßenbeleuchtung auf LED in den Städten Oberharz am Brocken und Calbe/Saale. In Günstigen begleitete die LENA ebenfalls den Vorbereitungsprozess. Die Modernisierung der Straßenbeleuchtung war auch Thema vielfältiger Diskussionen im Rahmen des Landesnetzwerkes „Energie & Kommune“. Der vorliegende Leitfaden bündelt Informationen und gibt Handlungsempfehlungen für die Umstellung der kommunalen Beleuchtung auf LED-Technik. Kommunen sollen unterstützt werden, den Stromverbrauch durch Umstellung auf LED-Straßenbeleuchtung nachhaltig zu senken.

RAHMENBEDINGUNGEN

Warum Straßenbeleuchtung modernisieren?

Die Straßenbeleuchtung hat einen erheblichen Anteil am kommunalen Stromverbrauch, etwa 36 Prozent. Durch die Modernisierung der Straßenbeleuchtung auf LED-Technik können bis zu 80 Prozent des Stromverbrauches für die Straßenbeleuchtung eingespart werden. Der gesamte kommunale Stromverbrauch kann um 25 Prozent gesenkt werden.

Alternativ zur LED-Leuchte sind diverse Übergangstechnologien verfügbar. Hierzu zählt beispielsweise die Halogenmetall-dampflampe mit Keramiktechnologie als ebenfalls effizientes und mit der ErP-Richtlinie (2009/125/EC) konformes Leuchtmittel, das der angesprochenen EU-Richtlinie entspricht. Die Übergangstechnologien werden nicht weiter betrachtet.

Die Nutzung von Einsparpotentialen im Einklang mit der Umstellung auf LED-Technik darf die Aufgaben der kommunalen Straßenbeleuchtung nicht konterkarieren. Es sind ausreichend Sichtverhältnisse und eine gleichmäßige Ausleuchtung für alle Verkehrsteilnehmer zu schaffen. Hindernisse, Einschränkungen und öffentliche Zonen sollten so ausgeleuchtet sein, dass ein

frühzeitiges Erkennen möglich ist. 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 eine gute Straßenbeleuchtung in der Lage, die Sicherheit der Bürger vor kriminellen Übergriffen zu erhöhen sowie ein subjektives Empfinden von mehr Sicherheit auszulösen. [6]

Der Gesetzgeber hat die Kommunen in die Pflicht genommen. Sie sollen beim Energiesparen mit gutem Beispiel vorangehen. Gleichzeitig geht es darum, Städte im weltweiten Wettbewerb zu profilieren. Dabei spielt die nächtliche Beleuchtung und Inszenierung der Stadt eine wichtige Rolle. Sie erhöht die Attraktivität, schafft Image, gibt Sicherheit – und birgt ein enormes Sparpotenzial. Der ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. schätzt beispielsweise, dass allein in der Straßenbeleuchtung durch einen Wechsel zu effizienten Lösungen jährlich rund 400 Millionen Euro eingespart werden könnten. [17]

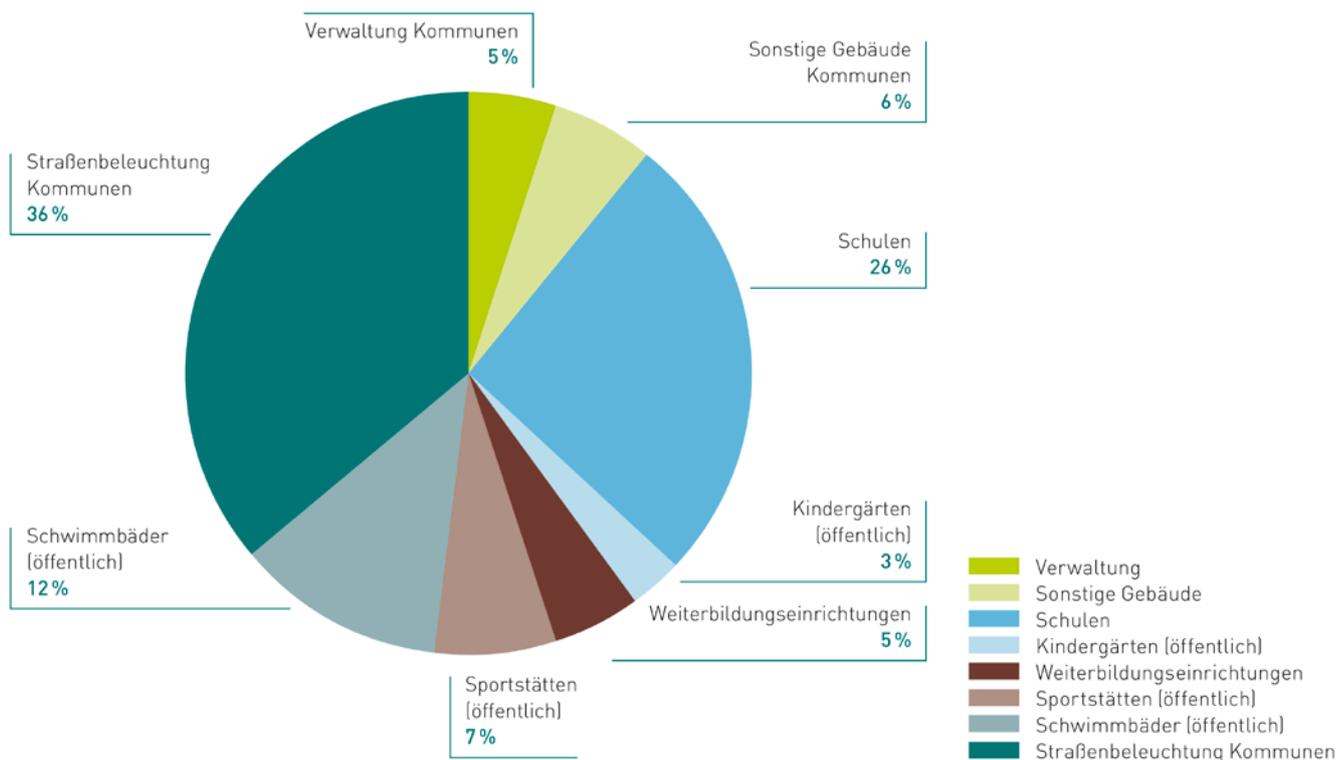


Bild 1: Anteil der Straßenbeleuchtung am kommunalen Stromverbrauch nach [5]



Bild 2: LED-Strassenbeleuchtung, Quelle: www.luglightfactory.com

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 Insekenschutz zuträglich und reduzieren unerwünschte Lichtimmissionen auf ein Minimum. [5]

Nachtaktive Insekten können von den im Vergleich zu Mond und Sternen deutlich helleren künstlichen Lichtquellen angelockt 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 diese aus. Im Wesentlichen kann die Naturverträglichkeit durch die Wahl eines moderaten Helligkeitsniveaus und des richtigen Leuchtmittels sowie durch die Konstruktion der Leuchte erhöht werden.

Neben den wirtschaftlichen, sicherheitsrelevanten und ökologischen Randbedingungen werden durch Richtlinien und Verordnungen der Europäischen Union (EU) und der Bundesrepublik Deutschland (BRD) Kriterienkataloge erlassen.

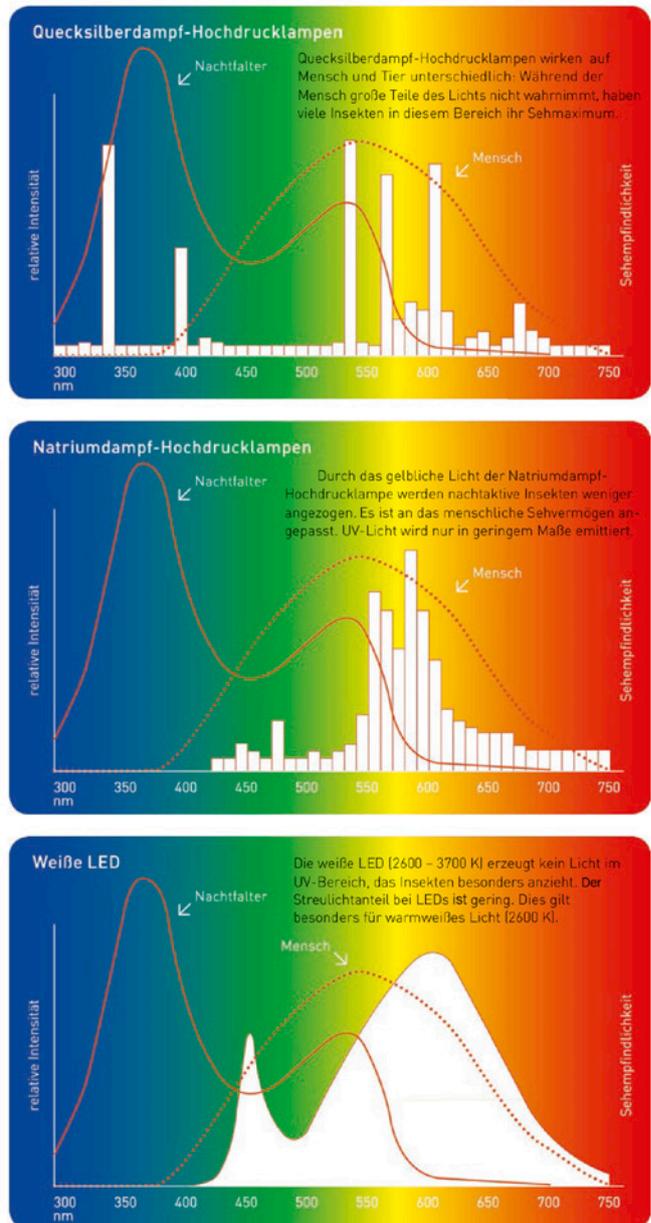


Bild 3: Einfluss von Lampentypen auf den Lebensraum von Insekten nach [5]

Gesetzliche Rahmenbedingungen, Normen und Empfehlungen

In Verbindung mit der Umstellung auf LED-Außen- und Innenbeleuchtung ist die Ökodesign-Richtlinie [8] 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 Umweltaforderungen an energieverbrauchsrelevante Produkte. Dafür sind zwei Mechanismen vorgesehen: Zum Ersten ordnungsrechtlich erlassene Durchführungsmaßnahmen, zum Zweiten Selbstregulierungsinitiativen der Industrie. Die Europäische Ökodesign-Richtlinie wurde durch das Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG) in der Fassung vom 25.11.2011 in deutsches Recht umgesetzt. Konkret bedeutet dies, dass beispielsweise keine Quecksilberdampflampen oder Leuchtstofflampen mit 38mm Durchmesser mehr in den Markt eingeführt werden dürfen.

Parallel werden aber auch Anforderungen an LED-Lampen und deren Vorschaltgeräte im Rahmen einer gesonderten Durchführungsverordnung zusammen mit Lampen mit gebündeltem Licht geregelt.

Für die Ermittlung der effektiven Beleuchtung gibt es zunächst eine Reihe von allgemeinen grundlegenden Normen:

- DIN EN 12665 „Licht und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung“
- DIN EN 13032-2 „Licht und Beleuchtung – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten, Teil 2: Darstellung von Daten für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien“
- DIN EN 13032-3 „Licht und Beleuchtung – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten, Teil 3: Darstellung von Daten für die Notbeleuchtung von Arbeitsstätten“
- DIN EN 13032-4 „Licht und Beleuchtung – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten – Teil 4: LED-Lampen, -Module und -Leuchten“
- DIN EN 1838 „Angewandte Lichttechnik – Notbeleuchtung“

Anforderungen an Leuchtmittel (Auszug).

Stufe	Anforderung	Auswirkung und Beispiele
April 2010	Mindest-Lichtausbeuten für bestimmte Leuchtstofflampe	> Marktausschluss ineffizienter Leuchtstofflampen
April 2012	Mindest-Lichtausbeuten für bestimmte Natriumdampf-Hochdruck- und Halogen-Metaldampflampen	> Marktausschluss ineffizienter Lampen Beispiel für HST-Klarglaslampen: Mindest-Lichtausbeute $LA_{min} \geq 90 \text{ lm/W}$ für den Leistungsbereich $55 < P_{Nenn} \leq 75 \text{ W}$ bei $LA_{BAT}^1 \geq 91 \text{ lm/W}$
	Mindest-Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor (LLMF ²) und Mindest-Lampenüberlebensfaktoren (LSF ³) für Natriumdampf-Hochdrucklampen	Beispiel für HST-Klarglaslampen: (Lebensdauer 12.000 h und Leistung $P \leq 75 \text{ W}$): Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor $LLMF_{min} > 0,8$ und Lampenüberlebensfaktor $LSF_{min} > 0,9$ bei $LLMF_{BAT} > 0,94$ und $LSF_{BAT} > 0,92$
April 2015	Mindestlichtausbeuten für sonstige Hochdruckentladungslampen	> Marktausschluss HME und HSE Plug-In Beispiel für HME-Lampen: Mindest-Lichtausbeute $LA_{min} \geq 70 \text{ lm/W}$ für den Leistungsbereich $70 < P_{Nenn} \leq 125 \text{ W}$ bei LA_{HME} von 36 bis 51 lm/W
	Mindest-Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor (LLMF) und -Lampenüberlebensfaktoren (LSF) für Halogen-Metaldampflampen	
April 2017	Verschärfung Mindest-Lichtausbeuten, Mindest-Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor und -Lampenüberlebensfaktoren für Halogen-Metaldampflampen	> Marktausschluss eines wesentlichen Teils der derzeit auf dem Markt verfügbaren Halogen-Metaldampflampen im Leistungsbereich $P_{Nenn} \leq 405 \text{ W}$

¹ Best available technique (beste verfügbare Technik)

² Lamp Lumen Maintenance Factor (Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor)

³ Lamp Survival Factor (Lampenüberlebensfaktor)

Bild 4: Anforderungen an Leuchtmittel (Auszug) nach [8]

- DIN EN 60529 (VDE 0470-1):2000-09, „Schutzarten durch Gehäuse“ (IP-Code) (IEC 60529:1989 + A1:1999); Deutsche Fassung EN 60529:1991 + A1:2000
- DIN EN 60598-1 (VDE 0711-1): 2005-03, Leuchten – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen (IEC 60598-1:2003, modifiziert); deutsche Fassung EN 60598-1:2004
- DIN EN ISO 7010 „Graphische Symbole - Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen - Registrierte Sicherheitszeichen (ISO 7010:2011); deutsche Fassung EN ISO 7010:2012
- DIN VDE 0100 „Bestimmungen für das Errichten von Niederspannungsanlagen“

Darüber hinausgehend gelten für den Innenbereich:

- DIN 5034 „Tageslicht in Innenräumen“
- DIN 5035 „Beleuchtung mit künstlichem Licht“
- DIN EN 12193 „Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung“
- DIN EN 12464-1 „Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten“, Teil 1: „Arbeitsstätten in Innenräumen“
- DIN EN 15193 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Energetische Anforderungen an die Beleuchtung“
- Zur Berufsgenossenschaftlichen Regel BGR 131 „Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten“

Für den Außenbereich sind zu berücksichtigen:

- DIN 67523 „Beleuchtung von Fußgängerüberwegen mit Zusatzbeleuchtung“
- DIN 67524 „Beleuchtung von Straßentunneln und Unterführungen“
- DIN EN 12193 „Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung“
- DIN EN 12464-2 „Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 2: Arbeitsplätze im Freien“
- DIN EN 13201 „Straßenbeleuchtung“

Diese DIN-Normen regeln inhaltlich nicht ausschließlich den Lichtstrom, sondern auch die Lichtverteilung. Ein wesentliches Augenmerk wird dabei auf Hell-Dunkel-Zonen gelegt. Insbesondere in kritischen Abschnitten sollten Lichtplanungen ausgeführt werden. Hierfür stehen eine Reihe von Softwarelösungen zur Verfügung, die die vorhandenen europäischen und deutschen Normen berücksichtigen.

Während die Differenzierung der Helligkeitsstandards in der DIN EN 13201 durchaus einer sinnvollen Logik folgt, fehlt bis heute

eine wissenschaftlich-empirisch gesicherte Basis, um die Festlegung von Beleuchtungsniveaus und ihre Anwendung in der kommunalen Praxis zu legitimieren. Aber: Industrienormen sind keine Rechtsnormen. Der Deutsche Städtetag hat bereits 1982 auf die Fehlentwicklungen durch die Vorgabe zu hoher Helligkeitsstandards bei der Normung hingewiesen und sich gegen die Vorgehensweise des Deutschen Instituts für Normung e.V. (DIN) ausgesprochen. Das Norm setzende Gremium des DIN kann weder die gesellschaftspolitische Repräsentanz noch eine demokratische Legitimation beanspruchen, weil es von den Experten aus der Lampen- und Leuchtenindustrie dominiert wird. Diese Grundsatzposition wurde vom Präsidium des Deutschen Städtetags 2003 und 2006 erneut bekräftigt. [7]

Aktuell wird die DIN in Deutschland überwiegend nicht eingehalten. Seit 1953 gibt es auch keine Verurteilung einer Kommune zur Haftung wegen unzureichender Beleuchtung. Juristische Sachverständige gehen davon aus, dass eine schlechte Beleuchtung als Verstoß gegen die Verkehrssicherungspflicht gelten kann, abhängig von Gefährdungspotenzial, Bedeutung des Verkehrsweges und Häufigkeit der Benutzung. Die Werte der DIN werden daher gerne als Anscheinbeweis herangezogen, dass Kommunen ihre Beleuchtungspflichten einhalten. Das bedeutet also nicht, dass generell die Erfüllung der DIN-Anforderungen erforderlich ist. Rechtlich gesehen gibt es durchaus Entscheidungs- und Gestaltungsspielräume für die Kommunen bei der Festlegung des erforderlichen Beleuchtungsniveaus. Sie können – und sollten – ggf. räumlich und zeitlich differenziert eigene Helligkeitsstandards setzen, müssen aber die Abweichungen von der Norm gut begründen. Viele Städte und Gemeinden verfügen leider nur noch über stark eingeschränkte Ressourcen und Kompetenzen, weil sie alle Dienstleistungen rund um die Straßenbeleuchtung leider vertraglich über lange Zeiträume in die Hände von Energieversorgern gelegt haben und bei der Sanierungsplanung im Wesentlichen von den Empfehlungen der jeweiligen Technikanbieter abhängig sind.

In Wohnstraßen sind Unfälle aufgrund nicht ausreichender Beleuchtung ein äußerst seltenes Ereignis, auch weil überwiegend eine Verkehrsberuhigung auf 30 km/h eingeführt wurde. Entsprechend hat sich für Wohnstraßen ein Planungswert für die Beleuchtungsstärke von 1 Lux bewährt, während eine wirksame Beleuchtung von Verkehrsstraßen ab 10 Lux beginnt – also dem zehnfachen Planungswert einer Wohnstraßenbeleuchtung! Die Anwendung der DIN EN 13201 führt aber faktisch zu einer flächendeckenden und übermäßigen Anhebung des Beleuchtungsniveaus auch in Wohnstraßen auf Werte zwischen 3 und 10 Lux. Außerdem haben das Bundesverkehrsministerium und später auch die EU die Finanzierung von Neuanlagen von der Einhaltung der Norm abhängig gemacht, genauso wie verschiedene Förderprogramme für die Modernisierung der Straßenbeleuchtung einen entsprechenden Nachweis zur DIN-gerechten Sanierung einfordern. [7]

Dem gegenüber steht die Diskussion um die zunehmende Lichtverschmutzung. Zur Beurteilung dieser bietet das Immissionschutzrecht (BImSchG) und die Einführung einer TA Licht Anhaltspunkte. In Deutschland gibt es bisher nur einen Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) aus

dem Jahr 2012 in Form einer Richtlinie zur Reduzierung von unerwünschten Lichtemissionen mit dem Titel „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtemissionen“. Danach darf z.B. die Beleuchtungsstärke auf ein Schlafzimmerfenster in Wohngebieten in der Zeit von 22:00 Uhr bis 6:00 Uhr maximal 1 Lux betragen, was allerdings nicht für öffentliche Beleuchtungsanlagen wie die Straßenbeleuchtung gilt.

Kommunen sollten das Thema besser selbst und proaktiv aufgreifen und sich dabei an Vorreitern mit Lichtmasterplänen und stadtweiten Beleuchtungskonzepten orientieren. Lichtplanung ermöglicht die Integration der verschiedenen Anforderungen an die Stadtbeleuchtung, insbesondere durch räumliche und zeitliche Differenzierung. [7]

Leuchten lenken das von der Lampe abgegebene Licht. Je nach Bauart gelangt dabei ein unterschiedlich großer Anteil des abgestrahlten Lichts in den zu beleuchtenden beziehungsweise in den nicht zu beleuchtenden Bereich. Werden Bereiche beleuchtet, die nicht beleuchtet werden sollen, spricht man von Lichtverschmutzung. Diese sollte stets möglichst gering sein, besonders sollte kein Licht in den oberen Halbraum abgestrahlt werden.

Zur Erfüllung beziehungsweise Annäherung an die genannten Normungen werden bestehende Lichtpunkte gegebenenfalls angepasst/umgebaut. Als Folge der technischen Veränderung und der Betriebsbedingungen der bestehenden Leuchte erlischt in der Regel das CE-Zertifikat (Eigenerklärung) des ursprünglichen Leuchtenherstellers aber auch vorliegende TÜV, ENEC oder VDE Zertifizierungen (Fremderklärungen).

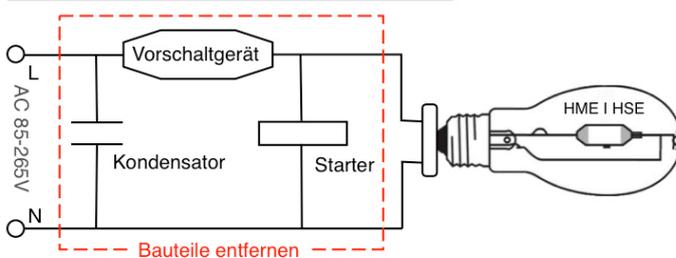
Das CE-Kennzeichen (CE steht für „Communautés Européenes“ und bedeutet „Europäische Gemeinschaften“) ist ein Kennzeichen der Europäischen Union (EU). Es ist ein Hauptindikator für die Konformität eines Produkts mit den geltenden rechtlichen Bestimmungen der EU.

Daher ist das CE-Kennzeichen als eine Information anzusehen, die für die Stellen der Mitgliedstaaten und für andere maßgebliche Betroffene (z.B. Händler, Verbraucher und sonstige Benutzer) von grundlegender Bedeutung ist. Der Hersteller dokumentiert durch die Anbringung des CE-Kennzeichens an seinen Produkten in eigener Verantwortung gegenüber den Marktaufsichtsbehörden (eines jeden Mitgliedsstaates der EU), dass die gekennzeichneten Produkte mit allen jeweils dafür einschlägigen europäischen Richtlinien (und nationalen Gesetze) zur Produktsicherheit übereinstimmen und die Produkte (ggf. durch eine benannte Stelle) dem vorgeschriebenen Konformitätsbewertungsverfahren unterzogen wurden. Wurde ein Produkt mit der CE-Kennzeichnung versehen, wird davon ausgegangen, dass es den Bestimmungen der anzuwendenden Richtlinien (und nationalen Gesetzen) entspricht und somit dem freien Warenverkehr innerhalb des europäischen Marktes zugänglich ist. Nach der Niederspannungsrichtlinie (1. GSGV – 1. Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz) dürfen elektrische Betriebsmittel mit Spannungen größer AC (Wechselspannung) 50V – 1 000V bzw. größer DC (Gleichspannung) 75V – 1.500V nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn sie der Niederspannungsrichtlinie entsprechen, was durch eine CE-Kennzeichnung dokumentiert wird. Es **kann** auch eine CE-Kennzeichnung im Sinne weiterer Richtlinien, z.B. der EMV-Richtlinie, notwendig sein.

Es sind für die Konformitätserklärung von Beleuchtungsanlagen insbesondere von Bedeutung:

- Allgemeine Produktsicherheits-Richtlinie 2001/95/EG
- Niederspannungs-Richtlinie 2006/95/EG
- Richtlinie über Elektromagnetische Verträglichkeit 2004/108/EG
- Richtlinie über die Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe 2011/65/EU
- Ökodesign Richtlinie 2009/125/EG

(1) Ausgangszustand bei HSE, HSE und HQI



(2) Endzustand bei Nutzung von LED Leuchtmittel

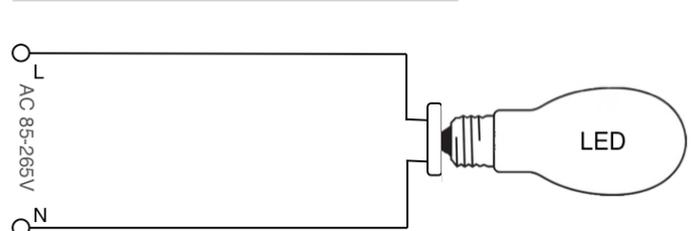


Bild 5: Umbauanweisung von LED-Leuchtmittelherstellern

- Richtlinie über den Elektro- und Elektronikabfall 2002/96/EG

EU-Konformitätserklärung		
Dokument-Nr./Monat/Jahr: xxx/xx/April 2013		
Hersteller	Firma/Muster	
Anschrift	Musterstraße 1, 12345 Musterhausen	
erklärt in alleiniger Verantwortung, dass das Produkt		
Bezeichnung	LED Spotlight	
auf das sich diese Erklärung bezieht, mit der/den folgenden EU-Richtlinie(n) übereinstimmt:		
2001/95/EG	Produktsicherheits-Richtlinie	
2004/108/EG	Elektromagnetische Verträglichkeits-Richtlinie - EMC	
2006/95/EG	Niederspannungs-Richtlinie - LVD	
2011/65/EU	Beschränkung (der Verwendung bestimmter) gefährlicher Stoffe - RoHS	
2009/125/EG	Öko-Design-Richtlinie - ErP	
2002/96/EG	Elektro- und Elektrogeräte-Abfall - WEEE	
und das folgende harmonisierte und/oder nationale und/oder internationale Normen (oder Teile/Abschnitte hieraus) zur Anwendung gelangt:		
Fundstelle	Ausgabedatum	Titel
Harmonisierte Normen für die EMC-Richtlinie		
EN 55015 +A1 +A2	2006 2007 2009	Grenzwerte und Messverfahren für Funkstörereigenschaften von elektrischen Beleuchtungseinrichtungen und ähnlichen Elektrogeräten
EN 61000-3-2 +A1 +A2	2006-04 2009-07 2009-07	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 3-2: Grenzwerte – Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Geräte-Eingangstrom ≤ 16A je Leiter)
EN 61000-3-3	2008-09	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 3-3: Grenzwerte – Hauptabschnitt: Grenzwerte für Spannungsschwankungen und Flicker in Niederspannungsnetzen für Geräte mit einem Eingangsstrom ≤ 16A
EN 61547	2009	Vorrichtungen für allgemeine Beleuchtungszwecke - EMV-Störfestigkeitsanforderungen
Harmonisierte Normen für die Niederspannungsrichtlinie		
EN 60968 +A1 +A2	1990 1999	Lampen mit eingebautem Vorschaltgerät für Allgemeinbeleuchtung - Sicherheitsanforderungen
EN 62471 +A1 +A2	1994 2008	Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen
EN 62493	2010-09	Beurteilung von Beleuchtungseinrichtungen bezüglich der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern
Harmonisierte Normen für die WEEE - Richtlinie		
EN 50581	2013-02	Technische Dokumentation zur Beurteilung von Elektro- und Elektronikgeräten hinsichtlich der Beschränkung gefährlicher Stoffe
Harmonisierte Normen für die RoHS - Richtlinie		
EN 50419	2009-08	Kennzeichnung von Elektro- und Elektronikgeräten entsprechend Artikel 11(2) der Richtlinie 2002/96/EG (WEEE)
Durchführungsmaßnahmen für die Öko-Design-Richtlinie		
Verordnung 874/2012	2012-09-26	Verordnung (EG) Nr. 874/2012 der Kommission vom 26. Sep. 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Energieverbrauchs-kennzeichnung von elektrischen Lampen und Leuchten
Verordnung 1194/2012	2012-12-14	Verordnung (EU) Nr. 1194/2012 der Kommission vom 14. Dez. 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
Musterhausen, 18.04.2013	Dipl.-Ing. Hans Mustermann	
Ort/Datum	Rechtsgültige Unterschrift:	

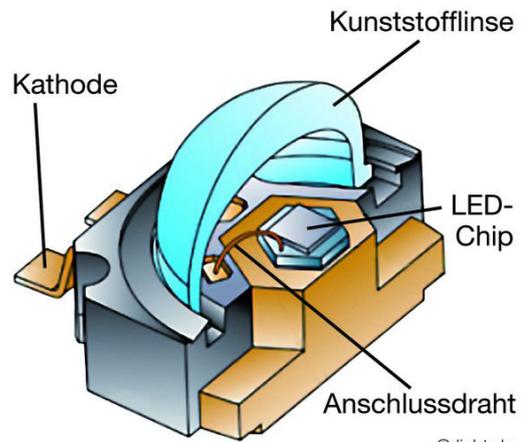
Bild 6: Muster EU-Konformitätserklärung für eine umgebaute Leuchte, [20]

Die CE-Konformitätsbewertung der umgebauten Leuchte ist durchzuführen. Dies kann durch den Errichter oder durch einen externen Anbieter geschehen. Derjenige, der die Konformitätsbewertung vornimmt, gilt dann als Hersteller der „neu gestalteten“ Leuchte. Der Ablauf der CE-Kennzeichnung wird beispielsweise in [19] dokumentiert. Der Aufwand ist überschaubar und in geringem Zeitumfang erbracht, meist einige Stunden. [20]

Eigenschaften von LED

Im Jahr 1962 kam die erste rote Lumineszenzdiode (Typ GaAsP) auf den Markt, entwickelt von dem Amerikaner Nick Holonyak. Sie markiert die Geburtsstunde der industriell gefertigten LEDs. Die ersten LEDs erreichen eine Lichtausbeute von 100 Lumen pro Watt im Jahr 2006. Ihre Effizienz wird zu diesem Zeitpunkt nur noch von Gasentladungslampen übertroffen. Ein kleiner (ca. 1 mm) Elektronik-Chip aus speziellen Halbleiterkristallen wird unter Strom gesetzt und beginnt zu leuchten. Trotzdem handelt

es sich um eine junge Technologie, die Entwicklungszyklen und damit Vorurteilen unterliegt.



© licht.de

Bild 7: LED Prinzipaufbau, Quelle: licht.de

Hierfür wird sehr wenig Strom benötigt, so dass die LED im Vergleich zu herkömmlichen Leuchtmitteln eine sehr hohe Energieeffizienz aufweist. Immer mehr Kommunen setzen auf die effiziente LED. Allein zwischen 2010 und 2014 stieg der LED-Anteil von 4 Prozent auf etwa 11 Prozent, während der Bestand an Quecksilberdampflampen geringer wurde. Dies lag neben der zurückliegenden Förderung vor allem an den Vorteilen dieser Technologie. Gegenüber anderen Leuchtmitteln benötigt die LED bis zu 80 Prozent weniger Strom. Für LED wird aktuell die Nutzungsdauer mit bis zu 100.000 Stunden angegeben.

Energieverbrauch verschiedener zur Straßenbeleuchtung eingesetzter Leuchtmittel.

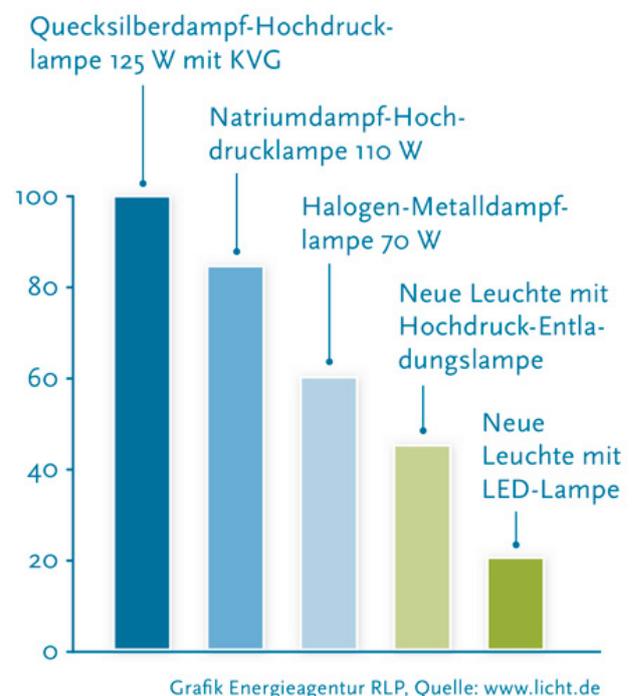


Bild 8: Energieverbrauch Straßenbeleuchtung, [15]

Die längere Betriebszeit kann sich natürlich auch positiv auf die Wartungskosten auswirken. Statt der bisherigen, in der Regel vierjährigen Wartungszyklen mit Leuchtmittelaustausch für Natriumdampf-Hochdrucklampen schlagen Hersteller von LED-Leuchten Zyklen von bis zu zwölf Jahren vor. Parallel zu den Wartungszyklen sind aber die Inspektionsintervalle nach DGUV zu berücksichtigen.

Von wenigen Einzelfällen abgesehen – meist verbunden mit einem Schaden der Elektronik – fallen LED nicht auf einmal aus, sondern ihre Leuchtkraft wird langsam schwächer. Hersteller geben daher als Nutzlebensdauer den Wert an, bei dem die Lampe noch einen definierten Prozentsatz ihrer ursprünglichen Leuchtkraft besitzt. Danach sollte sich auch der Wartungszyklus richten.

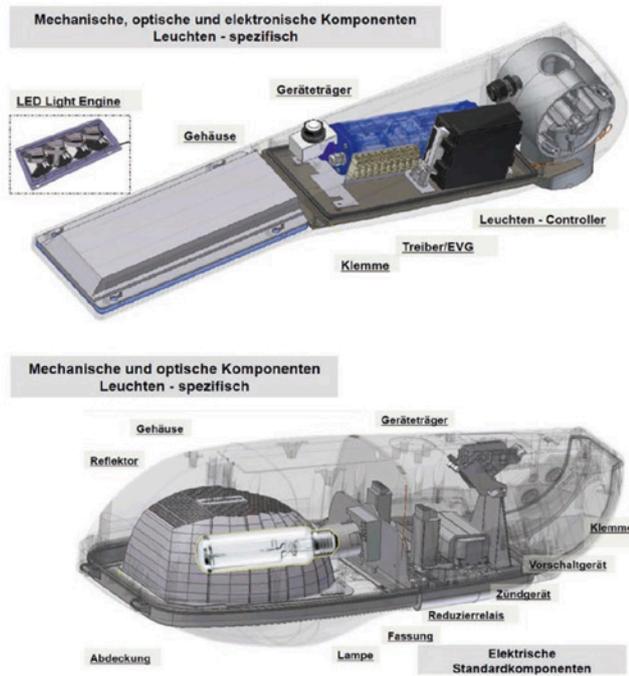


Bild 9: Typische Struktur einer LED- und einer klassischen Straßenleuchte, [24]

Das Licht der LED kann besonders gut gelenkt werden, sodass wenig Streuverluste vorhanden sind. Im Gegensatz zur Energiesparlampe ist ein Sofortlicht ohne Einschaltverzögerung möglich, d.h. LED-Leuchten sind gut mit Bewegungsmeldern kombinierbar. LEDs sind in verschiedenen Lichtfarben (korrekt Lichttemperatur) erhältlich, vor allem das weiße Licht bietet eine gute Farbwiedergabe. Gebräuchlich sind Lichttemperaturen von 4.000 Kelvin; für die Nutzung in der Altstadt werden LEDs mit ca. 3.000 – 3.500 Kelvin angeboten.

Die LED kann stufenlos gedimmt werden. Hier muss, wie auch bei anderen zusätzlichen Komponenten (Treiber, Vorschaltgeräte, Bewegungsmelder), auf die Wahl des richtigen Dimmers geachtet werden, um die Funktionsfähigkeit zu gewährleisten (Wärmemanagement, Lebensdauer, Qualität).

Kälte schadet LEDs nicht – wogegen sie wärmeempfindlich sind und unbedingt ein Wärmemanagement (auch als Thermoregulation

bezeichnet) benötigen. Um eine lange Nutzungsdauer und Energieeffizienz zu erreichen, ist der Leuchtenkopf mit einem innenliegenden Kühlkörper zu versehen oder muss selbst als Kühlkörper fungieren.



Bild 10: LED-Leuchte von innen, Quelle: Vizulo.com

Nutzerfreundliche modulare Systeme (einfacher Zugriff vor Ort, möglichst mit Standardwerkzeugen) bieten die Möglichkeit, Leuchtgehäuse, Netzteil und LED-Einsatz getrennt voneinander auszutauschen, was aufgrund der unterschiedlichen Lebensdauer sinnvoll ist. So können Anschaffungs-, Wartungs-, Reparatur- und gegebenenfalls Personalkosten eingespart werden. Auch ist der nachträgliche Einbau von Komponenten auf dem neuesten Stand der Technik möglich.

LEDs tragen zur Schonung nachtaktiver Insekten bei, da keine UV- und Infrarotstrahlung emittiert wird. Insekten, die vom Licht angezogen werden, verkleben nicht die Leuchtenscheibe, da die Wärme nach hinten abgeleitet wird (geringerer Reinigungsaufwand). LEDs enthalten kein Quecksilber. Die notwendige fachliche Entsorgung ist dem Recycling der elektronischen Bauteile geschuldet. Die Anzahl von Ein- und Ausschaltungen hat bei LEDs nur einen geringen Einfluss auf Haltbarkeit oder Lebensdauer. [15]

Wie bei nahezu jeder technologischen Entwicklung gibt es auch eine Reihe von Vorurteilen. Zu diesen gehören beispielsweise der erreichte technologische Entwicklungsstand, die Akzeptanz der Beleuchtung und die nachhaltige Verfügbarkeit von Ersatzteilen im Hinblick auf die rasanten Entwicklungsschritte.

Es ist zwischenzeitlich ein hoher Effizienzstandard erreicht. Die verfügbaren Leuchten und Leuchtmittel weisen eine hohe Lebensdauer auf. Die Kosten sind in den vergangenen Jahren erheblich gesunken, sodass es bereits aktuell wirtschaftlich ist, vorhandene historische Beleuchtung gegen LED-Leuchten und Leuchtmittel zu ersetzen und dabei erhebliche Einsparungen auszuweisen. Zukünftige Entwicklungssprünge sind schwer vorherzusagen. Diese werden zu weiteren Effizienzsteigerungen und Kostensenkungen führen. Unter aktuellen Randbedingungen kann sich die Umrüstung auf LED-Leuchten oder Leuchtmittel bereits nach drei bis fünf Jahren amortisieren.

Das einseitige kalte Weißlicht wird häufig als unangenehm empfunden. Heutige LED werden in nahezu jeder Lichtfarbe hergestellt. Daneben gibt es sogenannte RGB-Leuchten, die während des Betriebs die Lichtfarbe anpassen können. Durch spezielle Farbtemperaturen werden LED bereits als Wachstumsbeleuchtung in Gewächshäusern eingesetzt.

Mit der Einführung der LED-Technik und deren vorausgesetzter Langlebigkeit geht einerseits die Miniaturisierung der Leuchttechnik einher, andererseits sind Leuchten wenig reparatur- und wartungsfreundlich gebaut. Der Austausch von Komponenten ist oft nicht vorgesehen. Das Design rückt in den Vordergrund. Insofern an der Leuchte Defekte vorliegen können diese nur durch alternative Produkte ersetzt werden. Diese alternativen Produkte weichen dabei in Bauform und technischem Aufbau nicht selten ab. Die Instandsetzungskosten sind entsprechend hoch und nahezu identisch mit den ursprünglichen Anschaffungskosten, was letztlich die Wirtschaftlichkeit der Investition in Frage stellt.



Bild 11: Kompakte LED-Straßenleuchte, Quelle: alibaba.com

Diese Problematik wurde durch die Hersteller zwischenzeitlich erkannt. Viele Leuchten sind modular aufgebaut, sodass einzelne Komponenten unter Beibehaltung der äußeren Bauform ersetzt werden können. Eine zunehmende Anzahl von Herstellern garantiert zudem eine Ersatzteilverfügbarkeit von zehn Jahren.



Bild 12: Modulare Straßenleuchte, Quelle: e-con.de

Eine der zentralen Kenngrößen der Beleuchtung ist die Effizienz des Leuchtmittels, also das Verhältnis zwischen abgestrahlter Lichtleistung in Lumen (lm) und dafür aufgewendeter Energie in Watt (W). Die Entwicklung der konventionellen, heute im Markt etablierten Leuchtmittel ist nahezu abgeschlossen. Die Effizienz sowohl der Leuchtstofflampe, als auch der Metall- und Natriumdampf-Hochdrucklampe konnte in den vergangenen Jahrzehnten nur unwesentlich verbessert werden. Die überwiegend in der Innenraumbelichtung verwendeten modernen Leuchtstofflampen weisen Effizienzen von bis zu 100 lm/W auf. Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, deren Anteil in der deutschen Straßenbeleuchtung aktuell 35 Prozent bis 40 Prozent umfasst, liegen bei ca. 50 lm/W. Natriumdampf-Hochdrucklampen, die vielerorts als mögliche Ersatzlichtquellen für die Quecksilberdampf-Hochdrucklampen betrachtet werden, haben heute eine Lichtausbeute von maximal 130 lm/W. [2]

Während vor einigen Jahren LED mit einer Effizienz von 90 lm/W zum Standard gehörten, erreichen moderne LED aktuell bis zu 175 lm/W. Die Umstellung auf moderne LED-Technik ermöglicht dabei offensichtlich erhebliche Einsparpotentiale und erhebliche Reduktionen im CO₂-Ausstoß.

Auch die Bauform der Leuchte gegebenenfalls mit Reflektor und das Vorschaltgerät sind wichtige Hebel zur Steigerung der Effizienz einer Beleuchtungsanlage. Die Gesamteffizienz einer Leuchte setzt sich aus der Effizienz ihrer einzelnen Bestandteile zusammen.

Die Farbwiedergabe als Resultat der Beleuchtung im öffentlichen Raum ist ebenfalls bedeutend. Weißes Licht setzt sich aus einem Spektrum verschiedener Farbbereiche zusammen. Der Farbwiedergabeindex R_a (englisch: Colour Rendering Index, CRI) ist dabei eine Qualitätskennzahl. Herkömmliche LED-Lampen können Farben nahezu wirklichkeitsgetreu wiedergeben. Mit zunehmendem Farbwiedergabeindex werden angestrahlte Farben natürlicher und vor allem für das menschliche Auge angenehmer wiedergegeben. Übrigens lässt sich der Farbwiedergabeindex erhöhen, indem man auf warmweiße Leuchtmittel ausweicht. Auf der anderen Seite nimmt der Index ab, je monochromatischer und schmalbandiger das ausgesendete Licht wird.

Lampentyp und Farbwiedergabeindex R_a (CRI)	
Glühlampen und Halogenglühlampen	100
Quecksilberdampf-Hochdrucklampen	60-70
Leuchtstofflampen	70-95
Kompaktleuchtstofflampen	80-85
Halogenmetaldampf-Hochdrucklampen	75-95
Natriumdampf-Hochdrucklampen	20-25
Weißes LED	65-95
Sonnenlicht	< 100

Bild 13: Farbwiedergabeindex für Leuchtmittel

Darüber hinaus gibt es eine Reihe von weiteren Planungsparametern. Diese sind in [1], [12] sowie in den genannten Normen und Richtlinien definiert.



Bild 14: Ein blaues Auto unter dem Licht einer Natriumdampf-Hochdrucklampe (links) und einer weißen LED (rechts), [24]

Außer der hohen Energieeffizienz und dem guten Wirkungsgrad der LED-Technologie sind auch Langlebigkeit sowie neue Gestaltungsmöglichkeiten als wesentliche Vorteile zu nennen. Auch bietet die LED-Technologie weitere technische Vorzüge an, wie etwa die optimierte Lichtverteilung aufgrund der Bauform, eine Unempfindlichkeit gegen hohe Schalthäufigkeiten, die problemlose Dimmbarkeit und die Ansteuerbarkeit einzelner Leuchten. Diese Vorzüge ermöglichen in der Praxis einen energiesparenden und wirtschaftlichen Betrieb, die Anpassung an das örtliche Verkehrsgeschehen und die individuelle Regelung. Zu den Nachteilen zählen die relativ hohen Anschaffungskosten, wengleich das Preis-Leistungsverhältnis mittlerweile sehr gut ist. Die qualitativen Unterschiede bei den Herstellern spiegeln sich in einem unübersichtlichen Marktangebot wieder. Probleme mit der Gewährleistung sind bei No-Name-Produkten und Plug-In Lösungen zu beobachten.

Für die Ableitung von Handlungsempfehlungen ist es von Vorteil mit einigen Grundgrößen der Lichttechnik vertraut zu sein. Hierzu gehören:

- Der **Lichtstrom** wird in Lumen (lm) gemessen und gibt die Lichtleistung einer Lampe an, die sie in alle Richtungen im sichtbaren Bereich abstrahlt.
- Die **Lichtstärke**, gemessen in Candela (cd), bezieht sich nur auf den Teil des Lichtstromes, der in eine bestimmte Richtung strahlt. Es gibt viele verschiedene Leuchten und Reflektorlampen, deren Unterscheidungsmerkmal in ihren spezifischen Lichtausstrahlungen liegt. Diese bestimmen, wie sich das Licht auf der Straße verteilt.
- Die **Leuchtdichte** sagt etwas darüber aus, welchen Eindruck das Auge von der Helligkeit einer Fläche hat, die selbst leuchtet oder beleuchtet wird. In Candela pro Quadratmeter (cd/m²) beschreibt sie, wie hoch die Lichtstärke in einem definierten Ausschnitt dieser Fläche ist.
- Die **Beleuchtungsstärke** ist das Maß für den Lichtstrom, der von einer Lampe auf eine definierte Fläche trifft. Diese Einheit wird in Lux (lx) angegeben und beträgt 1 Lux, wenn eine Fläche von 1m² gleichmäßig mit 1 Lumen Lichtstrom beleuchtet wird. Beispiel: Eine normale Kerzenflamme erzeugt im Abstand von 1 m zirka 1 Lux. [12]

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Das konkrete Energieeinsparpotenzial in der Kommune hängt stark von der Ausgangssituation ab. Zur Bewertung ist ein Leuchtenkataster hilfreich, aus dem insbesondere Alter, Beleuchtungstechnik, Leistungsaufnahme und Steuerungsmöglichkeiten aller Lichtpunkte hervorgehen. Auf dieser Basis kann dann abgeleitet werden, für welche Leuchten Erneuerungsmaßnahmen möglich sind und welche Einsparpotenziale sich daraus ergeben.

Unter den auf Deutschlands Straßen eingesetzten Leuchten machen Koffer- (52 Prozent), Pilz- (20 Prozent), Langfeld- (12 Prozent) und Hängeleuchten (16 Prozent) den größten Anteil aus. Dabei lässt sich keine Bauform als grundsätzlich effizient oder ineffizient bezeichnen, die geeignete Form hängt von der jeweiligen Anwendung ab.

Als Leuchtmittel kommen Quecksilberdampf-Hochdruckdampflampen, Natriumdampf-Hochdruckdampflampen, Leuchtstofflampen, Halogen-Metaldampf-Lampen und LED-Lampen zum Einsatz. Am meisten verbreitet sind Natriumdampf-Hochdrucklampen und Quecksilberdampf-Hochdrucklampen. Bislang machen LED-Systeme in der Straßenbeleuchtung nur einen untergeordneten Anteil am Bestand aus.

Mit der Kenntnis über Zustand und Energiebedarf der aktuellen Systeme können anschließend Sanierungsziele definiert und ein Maßnahmenplan entwickelt werden. Aufgrund der rasanten technologischen Entwicklung steht mittlerweile eine Vielzahl von Energieeffizienztechnologien bereit. Für eine Prüfung und eine wirtschaftliche Bewertung der verschiedenen Optionen ist die Einbindung eines Beraters oder Lichtplaners sehr zu empfehlen.

So kann bei einigen Lampentechnologien (beispielsweise Natriumdampf-Hochdrucklampen) eine hohe Lichtausbeute nur auf Kosten einer mäßigen Farbwiedergabe erreicht werden, in anderen Fällen weisen Modelle mit hoher Lichtleistung technologiebedingt nur eine geringe Lichtausbeute auf. Demnach kann erst die Technologie mit der höchsten Effizienz gewählt werden, wenn die weiteren Parameter bewertet wurden, die den Verwendungszweck unterstützen. Entscheidender als die Effizienz der Lampe ist die Effizienz des Gesamtsystems, bestehend aus Vorschaltgerät, Optik und Leuchtmittel.

Bestandserfassung

Die „allumfassende“ und „richtige“ Standortaufnahme gibt es nicht, da weder Art, Umfang und Inhalt verbindlich geregelt sind. Die Standortaufnahme und deren Inhalt sind durch Empfehlungen geprägt. Begriffe wie Leuchte und Lampe werden im allgemeinen Sprachgebrauch oft nicht eindeutig verwendet. Es ist daher sinnvoll die weitere Verwendung diverser Begriffe inhaltlich zu unterlegen.

Als Straßenbeleuchtungsanlage gelten alle technischen Einrichtungen zur Beleuchtung der öffentlichen Verkehrsräume. Sie umfasst:

- Die **Brennstellen**, jeweils bestehend aus dem eigenständigen Bauelementen Leuchte= Leuchtenkopf (einschließlich Leuchtmittel=Lampe, Starter, Vorschaltgerät, Wanne, Verbindungsleitungen, usw.), Mast (bzw. Wandausleger oder Überspannungen), den Zuleitungen, dem Kabelübertragungskasten (einschließlich den Sicherungselementen) bis zu dessen Eingangsklemmen (ohne diese),
- Das **Straßenbeleuchtungsnetz** für den Anschluss der Brennstellen an das Niederspannungsnetz des örtlichen Netzbetreibers, bestehend aus Kabel oder Freileitung ab den Eingangsklemmen des Kabelübergangskastens der einzelnen Brennstellen bis zu den jeweiligen Schalt- und Steuerungseinrichtungen (ohne diese) und
- Die **Schalt- und Steuerungseinrichtungen** (z. B. Dämmerungsschalter, Schütze, Hauptsicherungen, Abzweigungen vom Niederspannungsnetz).

Nicht zur Straßenbeleuchtungsanlage zählen kommunale Beleuchtungsanlagen, die nicht zur Beleuchtung von Verkehrsräumen dienen (zum Beispiel beleuchtete Wartehäuschen, Reklameschilder, Weihnachtsbeleuchtung, Beleuchtung von Straßenschildern und Fußgängerüberwegen).

Zu Beginn steht die detaillierte Erfassung des derzeitigen Bestands. Dies schließt auch die Aufstellung des (Zeit)Wertes der Anlage ein. In Kommunen ist der Zeitwert oft der Buchwert. Die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme kann erst auf dieser Grundlage bestimmt werden. Neben den wirtschaftlichen Kriterien sind die ökologischen Kriterien als qualitatives Merkmal zwingend zu berücksichtigen. Die diversen Kriterien und deren Bewertungsmatrix sind mit der Bestandserfassung bereits festzulegen.

Ein Ziel bei der Modernisierung der Straßenbeleuchtung sollte bei großer Typenvielfalt im Bestand die Vereinheitlichung sein. So lassen sich Kosten für Logistik, Verwaltung und Ersatzteile senken. Auch eine Reduktion der Anschaffungskosten durch Mengenrabatte ist möglich.

Die Datenaufnahme vor Ort ist aufwendig. Soweit möglich sollten zunächst alle vorhandenen Daten im Bestand gesammelt und ausgewertet werden. Wesentlich ist die Prüfung der Datenbasis auf Redundanz und Plausibilität. Oft sind nicht alle notwendigen Daten an einem Ort zu finden. In die Recherchen sollten daher verschiedenen Abteilungen der Verwaltung, Energie-lieferanten, Wartungsunternehmen und Serviceunternehmen mit einbezogen werden.

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, bestehende Leuchten mit einer Restnutzungsdauer von sechs Jahren und mehr vorzeitig zu ersetzen.

In [5] ist ein übersichtlicher Kurzcheck zum Sanierungsbedarf dargestellt. Mit dieser Tabelle ist ermittelbar, ob grundsätzlich Sanierungsbedarf bei Ihrer Straßenbeleuchtung besteht. Dazu ist in die rechte Spalte „Eingabe“ in jeder Zeile jeweils der zutreffende

Wert einzutragen. Beträgt die Summe -10 oder weniger, sollte die Beleuchtung saniert werden. Zur Veranschaulichung sind in der rechten Spalte Beispielzahlen, die den Bestand in Sachsen-Anhalt recht gut beschreiben, in der folgenden Grafik eingetragen. Die Summe von -12 weist auf anstehenden Sanierungsbedarf hin.

Diese empirische Beurteilung ersetzt die detaillierte Aufnahme der Beleuchtungsanlagen nicht. Um eine möglichst vollständige Dokumentation zu erhalten, sind wesentliche standortspezifische und leuchtenspezifische Merkmale einheitlich zu erfassen. Es hat sich in der Praxis gezeigt, dass die Standortaufnahme in Qualität und Umfang von Kommune zu Kommune unterschiedlich ist. Überwiegend werden die Leuchtenkataster als Tabellenkalkulation geführt. Insofern keine Bestandsdaten vorhanden sind, wird oft im Vorfeld der geplanten Umstellung auf LED-Straßenbeleuchtung die Erstellung eines Leuchtenkatasters beauftragt. Eine mögliche recht umfangreiche Erfassung ist beispielhaft folgend dargestellt.

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	WG 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

Bild 15: Kurzcheck Sanierungsbedarf der Straßenbeleuchtung, [5]

StrasseNr	Station	Mast Nummer	alle Orte			Leuchte								Masttyp	Trägersystem
			Strasse	Ort	Ortsteil	Anzahl Leuchten	Anzahl Leuchtmittel	Leuchtenkopf	Leuchtmittel	Leistung	Leistung Gesamt	Hersteller	Hersteller		
G15087010 02002	15,8	1	Am Vietzbach	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz
G15087010 02002	56,9	1	Am Vietzbach	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz
G15087010 02002	34,3	1	Am Vietzbach	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz
G15087010 02002	13,8	1	Am Vietzbach	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz
G15087010 02002	5,3	1	Am Vietzbach	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			Peitsche	Ausleger 1,5m
G15087010 02002	43,8	1	Am Vietzbach	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			Peitsche	Ausleger 1,5m
G15087010 02002	76	1	Am Vietzbach	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			Peitsche	Ausleger 1,5m
G15087010 02002	109,2	1	Am Vietzbach	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			Peitsche	Ausleger 1,5m
G15087010 02002	22,8	1	Am Vietzbach	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			Peitsche	Ausleger 1,5m
G15087010 02002	57,8	1	Am Vietzbach	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			Peitsche	Ausleger 1,5m
G15087010 02002	92,4	1	Am Vietzbach	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			Peitsche	Ausleger 1,5m
G15087010 02003	7,6	1	Annaröder Straße	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz
G15087010 02003	44,3	1	Annaröder Straße	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz
G15087010 02003	81,2	1	Annaröder Straße	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz
G15087010 02003	14,1	1	Annaröder Straße	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz
G15087010 02003	49,5	1	Annaröder Straße	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz
G15087010 02003	86,7	1	Annaröder Straße	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz
G15087010 02003	123	1	Annaröder Straße	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz
G15087010 02003	25,3	1	Annaröder Straße	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz
G15087010 02003	61,1	1	Annaröder Straße	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz
G15087010 02003	96,5	1	Annaröder Straße	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz
G15087010 02003	132,7	1	Annaröder Straße	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz
G15087010 02003	169,4	1	Annaröder Straße	Ahisdorf	Ahisdorf	1	0	Koffer	NAV	70	99			konisch	Aufsatz

Bild 16: Auszug aus Standortaufnahme einer Straßenbeleuchtung, Verbandsgemeinde Mansfelder Grund – Helbra

Die Unterteilung im vorangegangenen Bild 16 wird vorgenommen in:

- Standort (Ort, Ortsteil, Straße, Hausnummer, Mastnummer, Station),
- Leuchte (Anzahl pro Mast, Anzahl Leuchtmittel, Art des Leuchtenkopfs, Leuchtmittel, Leistung Leuchtmittel, Leistung gesamt, Hersteller),
- Mast (Masttyp, Trägersystem, Zopfmaß, Werkstoff, Lichtpunkthöhe, Mastfarbe),
- Betriebsart (Leistungsreduzierung Ja/Nein, Leistungsreduzierung in Watt, Nachtabschaltung Ja/Nein, Phasennummer, Schutzklasse),
- Straßengeometrie (Systembreite, Straßenbreite, Anzahl Fußwege, Fußwegbreite, Mastabstand, Straßentyp) und
- subjektive Ersteinschätzungen (DIN Konformität, genügt Anforderungen Ja/Nein, Bemerkungen).

Eine umfangreiche und stets aktualisierte Bestandserfassung ist mittelfristig für jede Kommune wünschenswert. Je nach Zielstellung einer geplanten Umstellung der Straßenbeleuchtung sind einzelne Informationen mehr oder weniger wichtig. Nach [5] wird ein dreistufiges System empfohlen, Dieses unterteilt sich in Grunddaten, erweiterte Daten und Zusatzdaten. So sind beispielsweise Informationen zum Kabelübergangskasten untergeordnet für den Austausch von Leuchtmitteln.

Neben der Datensystematisierung für die Straßenbeleuchtungsanlage und der Straßengeometrie ist die Erfassung der Stromeinkaufsbedingungen ein essentieller Einflussparameter für die Optimierung der Wirtschaftlichkeit. Die Stromeinkaufsbedingungen hängen von vielen Randbedingungen ab. Für ein Fallbeispiel aus Sachsen-Anhalt, ausführlich in [16] erläutert, setzen sich diese

nach Auswertung der übergebenen Unterlagen in 2016 wie folgt zusammen.

Strompreiszusammenstellung für die Straßenbeleuchtung im Fallbeispiel in 2016	
Arbeitspreis	
Stromliefervertrag der Stadtwerke mit der Kommune	3,050 Cent/kWh
Niedertarif Netz (2016)	4,320 Cent/kWh
Konzessionsabgabe Tarifikunde	1,320 Cent/kWh
Umlagen und Steuern	
KWK Umlage	0,445 Cent/kWh
§19 Strom NEV Umlage	0,378 Cent/kWh
Offshore Haftungsaufschlag Netz	0,040 Cent/kWh
EEG Umlage	6,354 Cent/kWh
Stromsteuer	2,050 Cent/kWh
Strompreis Gesamt für das Fallbeispiel	17,957 Cent/kWh

Bild 17: Strombezugskosten für die Straßenbeleuchtung, [16]

In anderen Gemeinden und bei anderen Anbietern weicht der Strombezugspreis ab. Die Gemeinde Güsten weist einen Strombezugspreis von 24 Cent/kWh aus. Die Gemeinde Aldersbach hat Strombezugskosten von 14,36 Cent/kWh. Die Thüringer Energienetze bieten Ihren Kommunen einen Strompreis von 17,00 Cent/kWh an. Unter Bezug auf diese beschränkte Datenerhebung gibt es durchaus Potentiale einen günstigeren Strompreis für die Stadt des Fallbeispiels zu vereinbaren. Im Allgemeinen kann das Einsparpotential nicht selten 20 Prozent und mehr betragen. Hierdurch wird zunächst kein Umweltbeitrag geleistet, doch können die jährlichen Ausgaben gesenkt werden.

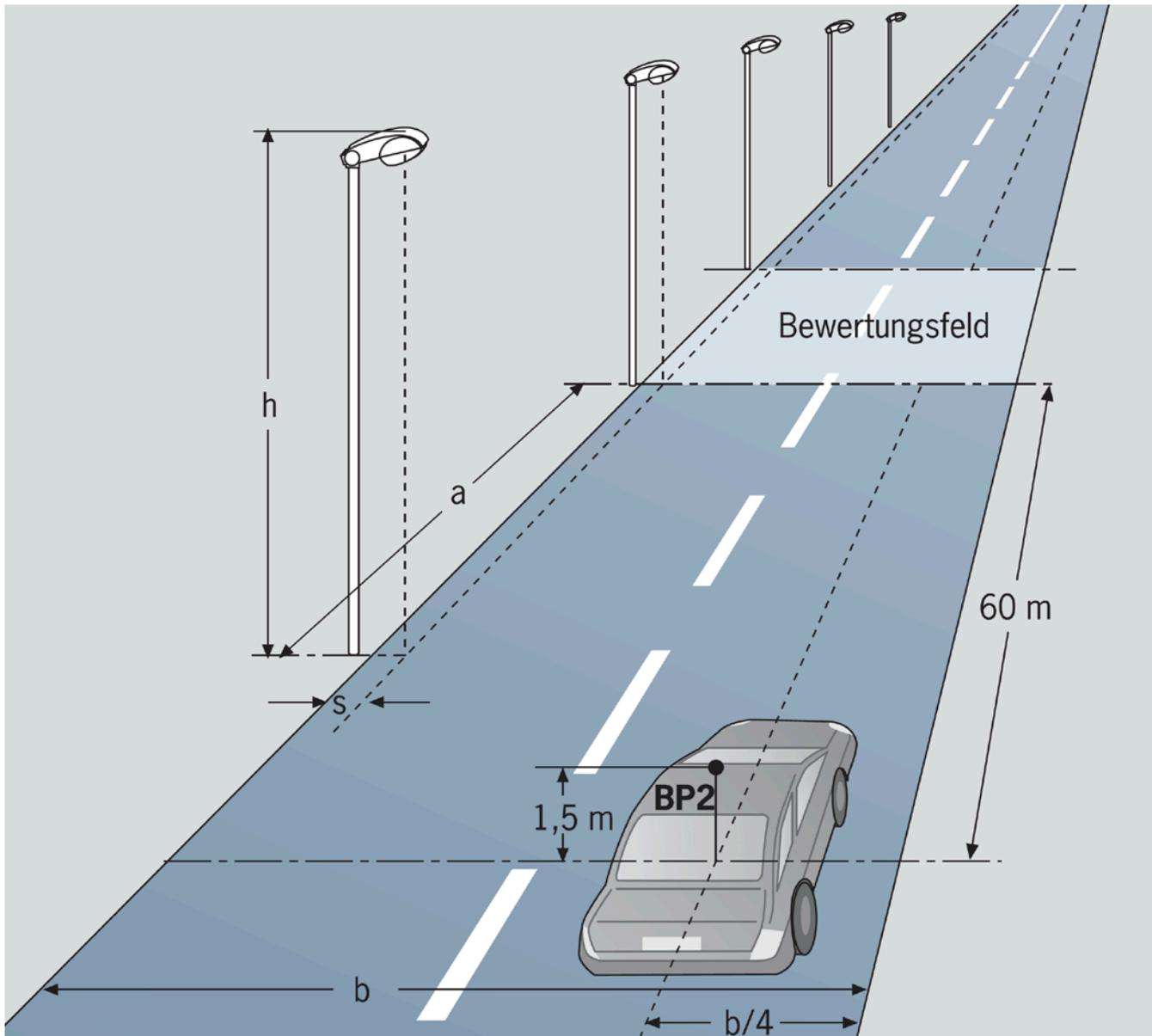


Bild 18: Bewertungsfeld zur Beurteilung der Straßenbeleuchtung nach [18]

Fußgängerbereiche werden dann als sicherer akzeptiert, wenn das Verhalten der Passanten und deren Absichten rechtzeitig erkannt werden. Es sollen körperliche Bewegungen und Gesichtsausdrücke bereits aus einer genügenden Entfernung erkennbar sein. Daraus folgt, dass entgegenkommende Personen entsprechend beleuchtet sein müssen. Als lichttechnische Größe wird dafür die halbzyklindrische Beleuchtungsstärke herangezogen.

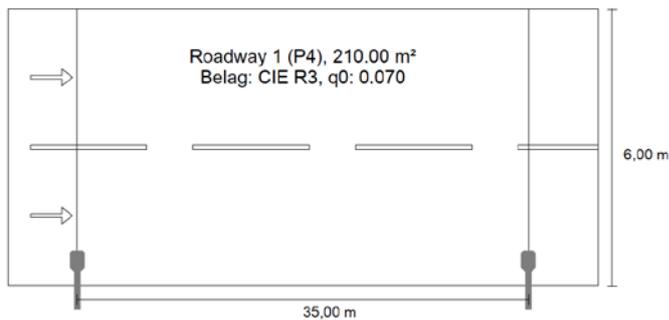
Radfahren wird immer beliebter. In einigen Ländern und Städten Europas sind es die Radfahrer, die das Verkehrsgeschehen prägen. Der Ausbau von Radfahrwegen nimmt zu, um die Risiken gegenüber Unfällen untereinander, mit Passanten und Kraftfahrzeugen zu verringern. Beleuchtete Radfahrwege sind sicherer und machen solche gemeindlichen Investitionen beim Bürger attraktiv. Ein Fahrradscheinwerfer erzeugt in einem Abstand von 10 m eine Beleuchtungsstärke von etwa 0,5 Lux, im Abstand von 20 m nur etwa 0,15 Lux. Das ist weniger als in einer Vollmondnacht. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 10 bis 20 km/h können

bei diesen geringen Beleuchtungsstärken Hindernisse (Steine, Äste, Unebenheiten usw.) nicht mehr sicher erkannt werden, man fährt „geradewegs ins Dunkle“. Auf Radfahrwegen nahe beleuchteter Straßen wird die Sicht meist durch hohe Leuchtdichten der Straßenbeleuchtung zusätzlich erschwert. Der Anteil der Straßenbeleuchtung auf Radfahrwegen wird oft auch durch Baumbewuchs verringert oder bereichsweise so stark abgeschattet, dass sogar gefährliche Hell-Dunkelzonen als Tarnzonen für Hindernisse entstehen können. Stark frequentierte Radfahrwege sollten daher beleuchtet werden. Neben diesen vorangegangenen qualitativen Überlegungen zu den Planungsgrundlagen wird ein detaillierter gut übersichtlicher Planungsleitfaden mit [18] bereitgestellt.

Im Zusammenhang mit der Konzepterstellung ist es wie bereits erwähnt wünschenswert einen hohen Grad der Vereinheitlichung der Leuchten und/oder der Beleuchtungsstärke zu erzielen. Während die Auswahl der Leuchten subjektiven Einflüssen unterliegt, ist die Beleuchtungsstärke planerischen Festlegungen

zugeordnet. Diese können sich einerseits an Festlegungen der DIN-Normen orientieren aber auch an Festlegungen des Betreibers ausrichten. Die vorhandene Straßengeometrie und die Straßenbeleuchtungsanlage kann hierzu in sinnvolle Intervallbereiche unterteilt werden. Als Kriterien für die Intervallbereiche eignen

sich beispielsweise die Straßengeometrie, der Lichtpunktabstand und die Lichtpunkthöhe. Für die einzelnen Intervalle wird jeweils eine Lichtberechnung erstellt. Nachfolgend sind beispielhaft zwei Berechnungen aufgezeigt. Die Berechnungen sind mit der Software DIALux® evo 7.1 erstellt.



Ergebnisse für Bewertungsfelder

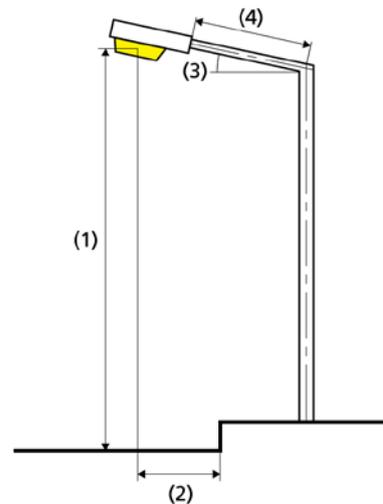
Wartungsfaktor: 0.85

Roadway 1 (P4)

Em [lx]	Emin [lx]
≥ 5.00	≥ 1.00
≤ 7.50	
✓ 7.50	✓ 1.00

Ergebnisse für Energieeffizienzindikatoren

Indikator der Leistungsdichte (Dp) 0.013 W/lx^m
 Indikator des jährlichen Stromverbrauchs (De)
 Anordnung: 4768 URBINI LED 740 O10 500 (84.0 kWh p.a.) 0.4 kWh/m² p.a.



Lampe:	1xLED 4000K
Lichtstrom (Leuchte):	2350.55 lm
Lichtstrom (Lampe):	2350.00 lm
Betriebsstunden	
4000 h:	100.0 %, 21.0 W
W/km:	609.0
Anordnung:	einseitig unten
Mastabstand:	35.000 m
Auslegerneigung (3):	0.0°
Auslegerlänge (4):	1.000 m
Lichtpunkthöhe (1):	4.000 m
Lichtpunktüberhang (2):	0.500 m

ULR:	0.00
ULOR:	0.00
Höchstwerte der Lichtstärke	
bei 70°:	1135 cd/klm
bei 80°:	216 cd/klm
bei 90°:	4.90 cd/klm
Lichtstärkeklasse:	/

Jeweils in alle Richtungen, die bei gebrauchsfähig installierter Leuchte den angegebenen Winkel mit der unteren Vertikalen bilden.

Anordnung erfüllt die Blendindexklasse D.3

Wartungsfaktor: 0.85
 Raster: 12 x 6 Punkte

Em [lx]	Emin [lx]
≥ 5.00	≥ 1.00
≤ 7.50	
✓ 7.50	✓ 1.00

Horizontale Beleuchtungsstärke

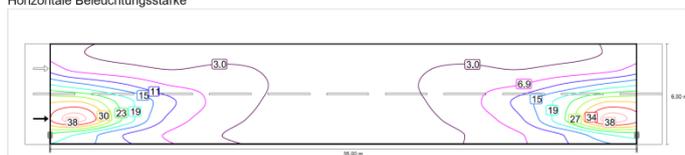
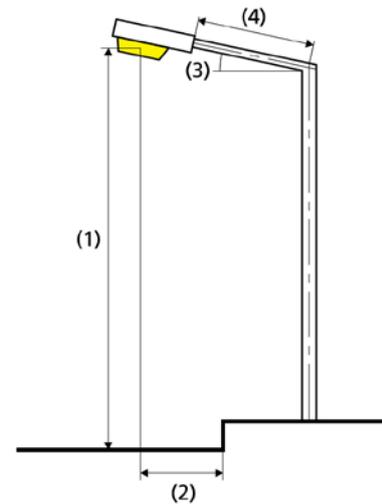
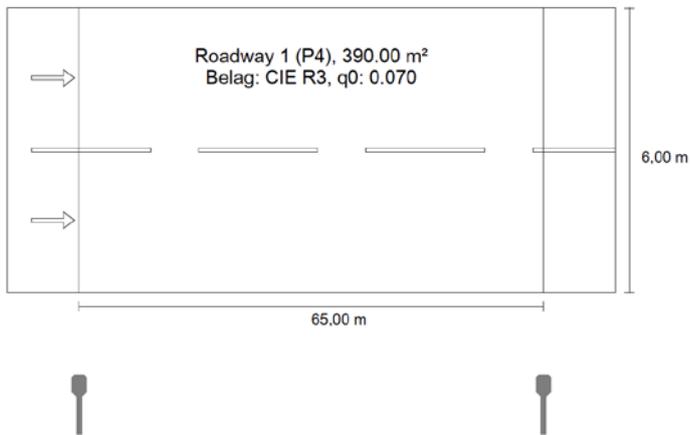


Bild 19: Straßenstruktur 1 – Breite 6,00 m; Mastabstand 35,0 m, Lichtpunkthöhe 4,0 m,



Ergebnisse für Bewertungsfelder

Wartungsfaktor: 0.80

Roadway 1 (P4)

Em [lx] ≥ 5.00 ≤ 7.50	Emin [lx] ≥ 1.00
✓ 7.22	✓ 1.38

Ergebnisse für Energieeffizienzindikatoren

Indikator der Leistungsdichte (Dp) 0.030 W/lx·m²

Indikator des jährlichen Stromverbrauchs (De)

Anordnung: 4676 URBINO 36 LED 740 O8 (336.0 kWh p.a.) 0.9 kWh/m² p.a.

Lampe:	benutzerdefiniert
Lichtstrom (Leuchte):	9002.90 lm
Lichtstrom (Lampe):	9000.00 lm
Betriebsstunden	
4000 h:	100.0 %, 84.0 W
W/km:	1260.0
Anordnung:	einseitig unten
Mastabstand:	65.000 m
Auslegerneigung (3):	0.0°
Auslegerlänge (4):	1.000 m
Lichtpunkthöhe (1):	9.000 m
Lichtpunktüberhang (2):	-2.000 m

ULR: 0.00

ULOR: 0.00

Höchstwerte der Lichtstärke

bei 70°: 669 cd/klm

bei 80°: 95.0 cd/klm

bei 90°: 0.00 cd/klm

Lichtstärkeklasse: G*3

Jeweils in alle Richtungen, die bei gebrauchsfähig installierter Leuchte den angegebenen Winkel mit der unteren Vertikalen bilden.

Anordnung erfüllt die Blendindexklasse D.4

Wartungsfaktor: 0.80
Raster: 22 x 6 Punkte

Em [lx] ≥ 5.00 ≤ 7.50	Emin [lx] ≥ 1.00
✓ 7.22	✓ 1.38

Horizontale Beleuchtungsstärke

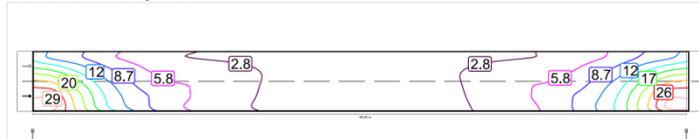


Bild 20: Straßenstruktur 4 – Breite 6,00 m; Mastabstand 65,0 m, Lichtpunkthöhe 9,0 m

Dem erforderlichen Lichtstrom aus diesen Berechnungen, in der folgenden Tabelle schwarz dargestellt, werden dann die Lampenvergleichswerte aus der Bestandsaufnahme gegenübergestellt.

Diese sind in der folgenden Tabelle blau vermerkt. Aufgrund der bereits erfolgten Alterung der verbauten Leuchtmittel wird der Lichtstrom deren mit 80 Prozent des Neuwertes angegeben.

Mastabstand Lichtpunkthöhe	35,0m	45,0m	55,0m	65,0m	75,0m
4,0 m	2.350 lm 2.960lm, HQL 80 4.480 lm, NAV 70				
5,0 m		3.200 - 3.850 lm 2.960 lm, HQL 80 4.480 lm, NAV 70			
7,0 m			3.850 lm 2.960 lm, HQL 80 4.480 lm, NAV 70		
9,0 m				9.000 lm 2.960 lm, HQL 80	
10,0 m					12.350 lm 4.480 lm, NAV 70

Bild 21: Entscheidungsmatrix zur Wahl der Beleuchtungsstärke

Zwischenwerte können anschließend interpoliert oder extrapoliert werden.

Oft zeigen die Bestandsaufnahmen ein sehr heterogenes Bild. Ein wirklicher Zusammenhang zwischen Normanforderung und Bestand ist dann nicht zu erkennen. Die Annahme, dass der existierende Lichtpunkt der Bestandsaufnahme normgerecht betrieben wird, ist daher kritisch zu hinterfragen.

Ausgenommen von einer Systematisierung sind kritische Bereiche wie beispielsweise Kreuzungen übergeordneter Straßen. Hier ist

es sinnvoll eine eigenständige Berechnung als Grundlage einer Entscheidung zu erstellen.

Um letztlich die Modernisierungsvariante im Bezug zu dem vorherrschenden Zustand bewerten zu können, sind einheitliche gesicherte Grundannahmen für die bestehende Lampenleistung, Systemleistung, Lichtausbeute, Nutzlebensdauer wichtig.

Mit der in [5] erarbeiteten Datenerhebung wird letztlich die Bewertung der Straßenbeleuchtung hinsichtlich dem Verhältnis Stromkosten für eine gewünschte Lichtausbeute systematisiert.

Lampendaten und Leuchtmitteldaten (Erwartungswerte)

Stand : Januar 2018

Bezeichnung	Bauform	Lampenleistung [W]	Systemleistung [W]	Lichtstrom [lm]	Lampenlichtausbeute [lm/W]	Systemlichtausbeute [lm/W]	Nennlebensdauer [h]	Zulässigkeit nach Ökodesignrichtlinie	LLMF / LSF [8.000 h]		
T 26 - T8	Leuchtstofflampe	stabförmig	18	24	1.350	75	56				
			36	42	3.350	93	80				
			58	66	5.200	90	79				
HME	Quecksilberdampf-Hochdrucklampe	Ellipsoidform [matt]	50	59	1.800	36	31	8.000	unzulässig		
			80	90	3.700	46	41				
			125	139	6.200	50	45				
			250	268	12.700	51	47				
HST	Natriumdampf-Hochdrucklampe	Röhrenform [klar]	50	63	4.400	88	70	12.000			
			70	83	6.600	94	80				
			100	114	10.700	107	94				
			150	171	17.500	117	102	18.000			
			250	276	33.200	133	120				
HSE	Natriumdampf-Hochdrucklampe	Ellipsoidform [matt]	50	63	3.500	70	56	12.000			
			70	83	5.600	80	67				
			100	114	8.500	85	75				
			150	171	14.500	97	85			18.000	unzulässig
			250	276	27.000	108	98				
HIT	Halogenmetaldampflampe	Röhrenform [klar]	35	43	3.100	89	72	12.000			
			50	61	5.200	104	85				
			70	82	6.300	90	77				
			100	110	8.800	88	80				
			150	162	13.500	90	83				
HIE	Halogenmetaldampflampe	Ellipsoidform [matt]	35	44	4.200	120	95	12.000			
			50	61	6.100	122	100				
			70	83	5.500	79	66				
			100	109	8.300	83	76				
			150	164	12.900	86	79				
HIT	Keramische Metallhalogen-dampflampe	Röhrenform [klar]	45	49	4.650	103	95	20.000			
			60	66	7.090	118	107				
			90	99	10.140	113	102				
			140	154	16.000	114	104				
TC- LEL	Kompaktleuchtstofflampe langlebig	Röhrenform [matt]	18	20	1.200	67	60	8.000			
			24	26	1.800	75	69				
			36	39	2.900	81	74				
			18	20	1.150	64	58				
	24		26	1.675	70	64					
	18		20	1.200	67	60					
	24		26	1.800	75	69					
	36		39	2.900	81	74					
LED	Ersatzleuchtmittel mit verschiedenen Fassungen Retrofit	Zylinderform L80 B50 50.000 h	12	12	1.860	155	155	50.000			
			16	16	2.480	155	155				
			20	20	3.100	155	155				
			24	24	3.720	155	155				
			27	27	4.185	155	155				
			36	36	5.580	155	155				
			54	54	8.370	155	155				

LLMF - Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor

LSF - Lampenlebensdauerfaktor

Bild 22: Lampendaten Übersicht in Anlehnung an [5]

Neben der Nennlebensdauer, angegeben in Stunden [h], ist es notwendig, die durchschnittliche mittlere Brenndauer im Jahr hinzuzuziehen.

Die Nutzungsdauer spiegelt sich bei der Umrüstung auf LED-Beleuchtung im Außenbereich über die Nutzungsstunden pro Kalenderjahr wieder. In Deutschland leuchtet die Straßenbeleuchtung ca. 4.200 Stunden im Jahr.

Brenndauer nach Einsatzgebieten in Stunden/Jahr

Straßenbeleuchtung Deutschland	4.200
Sporthallen und Schulen	2.700
Produktionshallen (einschichtig)	3.000
Produktionshallen (zweischichtig)	7.000
Bürobeleuchtung	2.500

Bild 23: Typische Nutzungsdauern für verschiedene Einsatzzwecke, Quelle: e-con.de

Werden die Randbedingungen in ein Projekt mit Sachverstand integriert, steht einer erfolgreichen Umstellung auf LED-Technik nichts im Weg.



Bild 24: Vorher – Nachher, LED-Leuchtmittelumstellung Stadt Jüterbog

Umsetzungsvarianten

Für die Modernisierung der historischen Straßenbeleuchtung auf moderne LED-Technik beziehungsweise die Reduzierung des Energiebedarfes gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die Alternativen sind mit Vor- und Nachteilen behaftet und nicht alle sind empfehlenswert. Eine Konzepterarbeitung ist im Vorfeld sinnvoll.

Austausch des Leuchtmittels

Der Einsatz von LED-Austauschleuchtmitteln in Bestandsanlagen ist im Allgemeinen einfach möglich. Moderne Leuchtmittel können den Austausch der Leuchtenelektronik oder der Leuchte erforderlich machen. Ein Austausch des Leuchtmittels lohnt sich nur, wenn die Leuchte selbst in einem guten Zustand ist. Andernfalls sollte die Leuchte vollständig ausgetauscht werden. Ziel beim Austausch des Leuchtmittels ist eine Reduzierung der Betriebskosten durch längere Lebensdauer und geringere Ausfallraten.



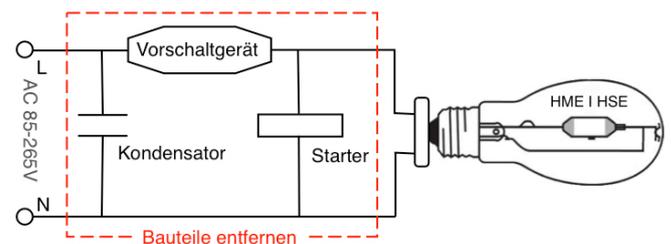
A++ 155 lm/Watt
BR-ECO Serie 202

Bild 25: LED-Austauschleuchtmittel, Quelle: e-con.de

Der Leuchtmittelaustausch bietet aufgrund des Kostenvorteils gegenüber dem Leuchtenwechsel einen kurzfristig zu erzielenden Einspareffekt und ist bereits nach kurzer Zeit wirtschaftlich. Die Einsparung gegenüber einem herkömmlichen Leuchtmittel liegt oft zwischen 60 Prozent bis 80 Prozent.

Die Integration eines LED-Leuchtmittels in eine bestehende Leuchte ist oft mit einem elektrischen Umbau der Leuchte verbunden. Durch den Umbau der Leuchte erlöschen bestehende Zertifizierungen.

(1) Ausgangszustand bei HSE, HSE und HQI



(2) Endzustand bei Nutzung von LED Leuchtmittel

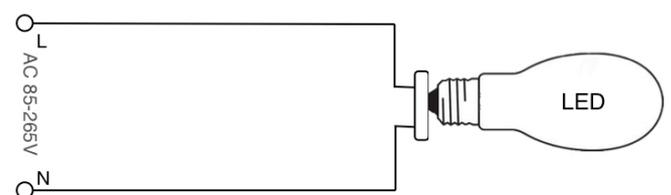


Bild 26: Umbauanweisung von LED-Leuchtmittelhersteller

Da auch bestehende Leuchten nach dem Einbau eines LED-Leuchtmittels eigentlich einer CE-Zertifizierung unterliegen müssen, ist diese neu zu erstellen. Im Detail ist dies im Absatz Gesetzliche Rahmenbedingungen, Normen und Empfehlungen beschrieben.

Austausch der Leuchte

Eine gute Möglichkeit zur Steigerung der Energieeffizienz ist der Austausch der Leuchte. Dabei kann der bestehende Mast weiter genutzt werden. In einer neuen Leuchte können moderne Leuchtmittel und effiziente elektronische Vorschaltgeräte eingesetzt werden. Weiterhin verfügen moderne Leuchten über deutlich effizientere Reflektoren, die mehr Licht reflektieren und das abgestrahlte Licht dahin lenken, wo es benötigt wird. Durch den Leuchtentausch kann ein System mit deutlich geringerer Leistungsaufnahme verwendet werden. Im Hinblick auf den Wartungsfaktor ist es ratsam LED-Leuchten einzusetzen bei denen mit geringen wirtschaftlichen Aufwand Bauteile repariert oder ersetzt werden können.

Moderne LED-Leuchten gibt es in erschöpfender Anzahl von Bauformen, Farbgestaltung und Leistung.

Modernen LED-Leuchten können neben den elektronischen Vorschaltgeräten zusätzlich mit verschiedenen Dimmoptionen, Überspannungsschutz, Sensoren (Bewegung, Helligkeit) oder Telemangementkomponenten ausgestattet sein.



Bild 27: Beispielhafte LED-Leuchten Variation

Besonders vielfältige Optionen bietet die Steuerung der Straßenbeleuchtung über ein Telemangementsystem. Hierbei können Lichtpunkte von zentraler Stelle einzeln angesteuert und geregelt werden. Warnungen über Ausfälle im System werden direkt gemeldet. Daten von Sensoren können für mehrere Lichtpunkte genutzt werden. So kann beispielsweise die Beleuchtungsstärke dem jeweiligen erfassten Verkehrsaufkommen oder dem aktuellen Tageslicht angepasst werden. Damit wird eine Energieeinsparung durch die Vermeidung unnötiger Beleuchtung erreicht.

Um die Vorgaben an die Lichtleistung auch nach jahrelangem Betrieb sicherzustellen (Die Lichtleistung des Systems nimmt mit dem Alter ab), müssen Anlagen nach DIN 13201 zu Beginn ihrer Laufzeit mit einer um den Wartungsfaktor erhöhten Lichtleistung

betrieben werden. Mit Hilfe eines Telemangements ergibt sich die Möglichkeit, die Leistung einzelner Lichtpunkte an das Alter des Systems anzupassen. Mit statistischen Daten über Wartungsfaktoren lässt sich so die sonst übliche Überdimensionierung zu Beginn der Lebenszeit vermeiden, wobei gleichzeitig sichergestellt wird, dass auch am Ende der Lebenszeit die Vorgaben zur Beleuchtungsstärke eingehalten werden.

Der Wartungsfaktor bestimmt sich aus dem Lampenlichtstromerhalt, dem Lampenüberlebensfaktor und der Leuchtenverschmutzung. Einige moderne LED-Systeme verfügen bereits über eine integrierte altersabhängige Leistungssteuerung, die einen kontinuierlichen Lichtstrom über die Zeit gewährleistet.

Zusätzliche Ausstattung ist verbunden mit zusätzlichen Anschaffungskosten und erhöhten Wartungsaufwand bei gleichzeitiger Steigerung des Qualitätsstandards.

Reduzierung der Betriebszeiten – Halbnachtsabschaltung (nicht zu empfehlen)

In einigen Kommunen sind die Betriebszeiten der Straßenbeleuchtung nicht an den jahreszeitlichen Bedarf angepasst. Im Wesentlichen aus wirtschaftlichen Randbedingungen werden Teile der Beleuchtung nachts abgeschaltet. Lichtpunkte die davon betroffen sind, müssen nach Straßenverkehrsordnung durch Laternenringe gekennzeichnet werden.

Verordnungen sind Rechtsnormen, die durch Regierungs- und Verwaltungsorgane erlassen werden.

Einerseits gibt es nun das Streben nach der Verpflichtung Beleuchtungsanlagen normgerecht zu errichten, andererseits gibt es Verordnungen, die es erlauben davon abzuweichen, solange eine Kennzeichnung vorgenommen wird.

Durch die aus der Halbnachtsabschaltung resultierende ungleichmäßige Beleuchtung können beispielsweise Einschränkungen im Sicherheitsempfinden der Verkehrsteilnehmer entstehen und ist daher sorgfältig zu prüfen.

Das Abschalten beispielsweise jeder zweiten Lampe führt zu einer erheblichen Verschlechterung der Verkehrssicherheit, da Hell-Dunkel-Zonen entstehen, die zwar ein Erkennen des Fahrbahnverlaufes gewährleisten, jedoch dazu führen können, dass Gegenstände oder Personen in dunklen Bereichen der Fahrbahn nicht erkannt werden können. [11]

Nachtsenkung, Präsenzsteuerung, Lichtmanagement (wirtschaftlich sinnvolle Ergänzung)

Eine der ersten Dimm-Möglichkeiten im Zusammenhang mit nicht LED-Straßenbeleuchtung und elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) war die Übernahme der Halbnachtsabsenkung, die bereits teilweise bei konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) mit Mittenanzapfung schon seit langem genutzt wurde. Oftmals werden bei KVG zusätzliche Komponenten oder ein Relais benötigt, die das Schaltsignal in ein 1-10V Signal umwandeln. Weitere Ausführung sind in [21] nachzulesen.

Steuerungsmöglichkeiten bezogen auf einen Lichtpunkt mit LED-Leuchten werden unterteilt in Autarke Steuerung (AstroDIM, Präsenzsteuerung), Gruppensteuerung (StepDIM, MainsDIM), Netzwerksteuerung (DALI) und Konstant Lichtstrom. Einzelne Funktionen können bei verschiedenen Herstellern abweichend bezeichnet sein.



AstroDIM

AstroDIM bietet eine mehrstufige Nachtabsenkung auf Basis eines internen Zeitstellglieds, das sich an den Ein- und Ausschaltzeiten orientiert. Eine externe Steuerinfrastruktur ist nicht erforderlich. Das Gerät führt automatisch ein vordefiniertes Dimm-Profil aus, welches bezogen auf die gemittelte Anzeite der letzten Tage, auf Grundlage der Ein- und Ausschaltzeiten angepasst wird.



Präsenzgesteuert

In diesem Dimm-Modus kann der Lichtoutput mittels eines zusätzlichen externen, netzbetriebenen Präsenzsensors an das Geschehen im Umfeld jedes Lichtpunkts angepasst werden. Und dies unabhängig vom tatsächlichen Dimm-Niveau des AstroDIM-Modus.

Bild 28: Autarke Steuerungsmöglichkeiten [22]



StepDIM

Der StepDIM-Modus (Bi-Power-Modus) ermöglicht es, mittels einer zusätzlich geschalteten Phase zwischen zwei Leistungsstufen zu wechseln – dem „normalen“ Betrieb und der „Halbnachtschaltung“. Während der „Halbnachtschaltung“ reduziert der Treiber das Beleuchtungsniveau und somit den Energieverbrauch. Die Lichtniveaus können flexibel vorprogrammiert werden.



MainsDIM

Diese Funktionalität wird hauptsächlich in Kombination mit magnetischen Vorschaltgeräten in Außenanwendungen verwendet. Der Lichtstrom wird relativ zur Absenkung der Netzspannung verringert. Die Absenkung der Netzspannung erfolgt über ein Steuerelement im Verteilerschrank.

Bild 29: Gruppensteuerung [22]



DALI

Im DALI-Betrieb kann der Treiber in ein Lichtmanagementsystem wie das OSRAM Street Light Control-System integriert werden. Die standardisierte DALI-Schnittstelle erlaubt eine bidirektionale Kommunikation zwischen Treiber und Lichtmanagementsystem. Somit sind stufenloses Dimmen, Statusabfragen sowie die Adressierung jeder einzelnen Leuchte möglich.



0-10V

Mit einer 0-10-V-Schnittstelle kann der Treiber in ein Lichtmanagementsystem wie das OSRAM Street Light Control-System integriert werden. Mittels dieser unidirektionalen Schnittstelle kann der Lichtoutput der Anlage eingestellt werden.

Bild 30: Netzwerksteuerung [22]

Konstant-Lichtstrom

Zur Absicherung der Wartungsintervalle der Anlage muss das Lichtniveau auch am Ende der Gesamtlebensdauer garantiert sein. Da der Lichtstrom der Lichtquelle mit der Zeit zurückgeht, muss die Anlage normalerweise anfangs mit erhöhter Leistung betrieben werden, was zu erhöhten Energiekosten führt. Mit Hilfe der Konstant-Lichtstrom-Funktion ist dies nicht notwendig, da die Betriebsleistung zum Ausgleich des Lichtstromrückgangs kontinuierlich angepasst wird.



LEDset2 + Tuning-Faktor

LEDSet2 ist eine herstellerunabhängige Schnittstelle für LED-Module, die für optimale Effizienz sowie einen hohen Grad an Zuverlässigkeit sorgt und gewährleistet, dass sich die LED-Treiber ohne Neuprogrammierung an die neueste LED-Technik anpassen können. Falls das benötigte Lichtniveau zwischen zwei Lumenpaketen liegt, ist eine Anpassung mittels Tuning-Faktor möglich. Dies ermöglicht eine weitere Verringerung des Energieverbrauchs und verhindert unnötige Lichtverschmutzung.

Bild 31: Weitere Energiesparfunktionen [22]

Je nach Hersteller werden diese Funktionen als Einzelkomponenten oder im Vorschaltgerät integriert angeboten. Es ist sinnvoll die technisch gewünschte Ausstattung bereits bei der Bestellung anzugeben, so dass die Leuchte vorprogrammiert ab Werk geliefert wird.



Bild 32: Optotronic 4DIM, DALI Treiber, Quelle: osram.de

Ein weiterer Schritt in der individuellen Außenbeleuchtung sind Lichtmanagement Systeme (LMS). Dabei werden von manchen Herstellern individuelle Lösungen angeboten, die nicht mit anderen Komponenten bzw. Systemen von anderen Herstellern funktionieren.

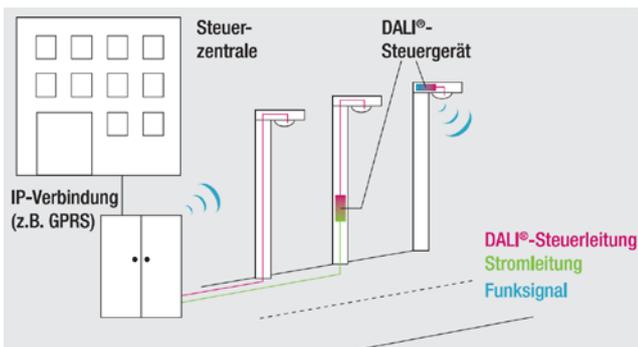


Bild 33: Möglicher Aufbau eines DALI Netzes, [21]

Die Verbrauchskostenreduzierung unter Nutzung dieser Steuerungsmöglichkeiten liegt im Durchschnitt zwischen 15 Prozent und 30 Prozent. Die Mehrkosten einer autarken Steuerung sind in der Regel überschaubar und refinanzieren sich in kurzer Zeit. Durch die verschiedenen Betriebsmodi wird die Straßenbeleuchtungsanlage, bei ordentlicher Planung, wirtschaftlicher betrieben ohne die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer zu gefährden.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Entsprechend der Definition des Energieeinsparungsgesetzes vom 22. Juli 1976 (EnEG 1976) ist eine Investition im Regelfall wirtschaftlich, wenn sich diese je nach Energiepreis und Bedingungen des Kapitalmarktes innerhalb einer Nutzungsdauer wieder erwirtschaftet. Wird dieses Wirtschaftlichkeitsgebot als Randbedingung der Investitionsentscheidung, hier die Umrüstung der Straßenbeleuchtung auf LED-Technik, erfüllt, so ist diese effektiv. Ist also die Amortisationsdauer kürzer als die Nutzungsdauer, so ist die Wirtschaftlichkeit gegeben.

Die Nutzungsdauer ist an lichttechnische Grenzwerte und/oder Planungsvorgaben gebunden. Diese sind in verschiedenen Normen, Verordnungen, Richtlinien und Empfehlungen geregelt. Eine detaillierte Übersicht zu Nutzungsdauern kann auch den Nutzungsprofilen der DIN V 18599-Teil 10 entnommen werden. Diese bilden die Grundlage für energetischen Betrachtungen von sogenannten Nichtwohngebäuden.

Unterschreitet die Beleuchtungsanlage vorgegebene Grenzwerte, so ist die Nutzungsdauer beendet auch unabhängig davon ob eine Restbeleuchtung vorhanden ist.

Für die betriebswirtschaftliche Beurteilung zur Wirtschaftlichkeit können statische und dynamische Berechnungsmodelle verwendet werden. Statische Verfahren berücksichtigen unzureichend beziehungsweise überhaupt nicht das zeitliche Auseinanderfallen von Aufwand/Investition und Nutzen. Da auch Inflation und Zins normalerweise nicht berücksichtigt werden können, werden in der Regel die aktuellen Verhältnisse zum Betrachtungszeitpunkt oder durchschnittliche Verhältnisse angesetzt. Typische Berechnungsmodelle sind die statische Kostenvergleichsrechnung, die statische Gewinnvergleichsrechnung und die statische Amortisationsrechnung.

Dynamische Verfahren hingegen versuchen das zeitliche Auseinanderfallen von Ausgaben und Einnahmen zu berücksichtigen. Dies geschieht auf der Grundlage der Zinsrechnung.

Es ist somit möglich, zeitabhängige Ausgaben, den zeitabhängigen Einsparungen gegenüber zu stellen, da unter anderen Zinsen und Inflation berücksichtigt werden können. Typische Berechnungsmodelle sind die Kapitalwertmethode, die Methode des internen Zinsfußes und die Annuitätenmethode.

Neben den rein betriebswirtschaftlichen Kenngrößen fließen Klimaschutzparameter und politische Gestaltungsparameter in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ein. Die Umstellung der Beleuchtung auf LED-Technik geht einher mit erheblichen Senkungspotentialen im CO₂ Ausstoß. Typische Gestaltungsmaßnahmen und Lenkungsmaßnahmen der Bundes- und Landesregierungen sind dabei:

- Zweckgebundene Kreditprogramme
- Nichtrückzahlbare Zuschüsse bei zweckgebundenen Investitionen
- Untersagung von Nutzung bestimmter Leuchtmittel, beispielsweise über die Öko-Designrichtlinie (2009/125/EG)
- Projektfinanzierungen über Fördermittelanträge.

Die verschiedenen Berechnungsmethoden können zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Besonders durch den Ansatz unterschiedlicher Betrachtungszeiträume können Ergebnisverzerrungen auftreten. Zudem können Resultate für verschiedenen Alternativen nahe beieinanderliegen, so dass die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung allein eine Entscheidungsfindung nicht ermöglichen kann. Eine qualifizierte Betrachtung ist oft unumgänglich.

Nutzungsdauer

Im Zusammenhang mit der Straßenbeleuchtung ist eine übliche ausgewiesene Produktgarantie in der Vergangenheit eine Lebensdauer von 50.000 Stunden. Im Zusammenhang mit LED-Innenbeleuchtung werden untere Lebensdauerwerte von 30.000 Stunden oft angegeben.

Insbesondere Straßenleuchtenhersteller geben zunehmend anstatt dieser Lebensdauer einen Wahrscheinlichkeitswert an, der an lichttechnische Parameter geknüpft ist. Die somit definierte „Nutzlebensdauer“ beziehungsweise der „Lichtstromerhalt“ beschreibt um wie viel der Lichtstrom einer LED im angegebenen Zeitraum gemindert wird. Typische Werte sind L70/B50 30.000h, L80/B50 50.000h oder bei Premium LED-Produkten auch L80/B10 100.000h. Eine beispielhafte Nutzlebensdauerangabe von B10 besagt, dass 10 Prozent aller Lampen in der angegebenen Zeit einen Lichtstrom unterhalb des L-Wertes (Prozentwert) abgeben. Dies bedeutet per Definition noch nicht den Ausfall der LED. Eine (beispielhafte) Nutzlebensdauerangabe von L80 gibt den Zeitraum an, in der eine Lampe noch 80 Prozent des angegebenen Lichtstromes besitzt. Zukünftig wird ein weiterer Wahrscheinlichkeitswert C hinzugefügt. Dieser beschreibt den prozentualen Anteil der LED-Leuchten, die bis zum Erreichen der mittleren Bemessungslebensdauer L total ausgefallen sind.

LED-Leuchten mit nur einzelnen ausgefallenen LEDs oder auch LED-Leuchten, bei denen nur einzelne LED-Module von mehreren ausgefallen sind, gelten nicht als Totalausfall. Derzeit wird

über den Modus zur Berechnung der Totalausfälle unter Berücksichtigung aller Systemkomponenten beraten. Eine Einbeziehung der Ergebnisse ist in künftige Normungsvorhaben vorgesehen. [23]

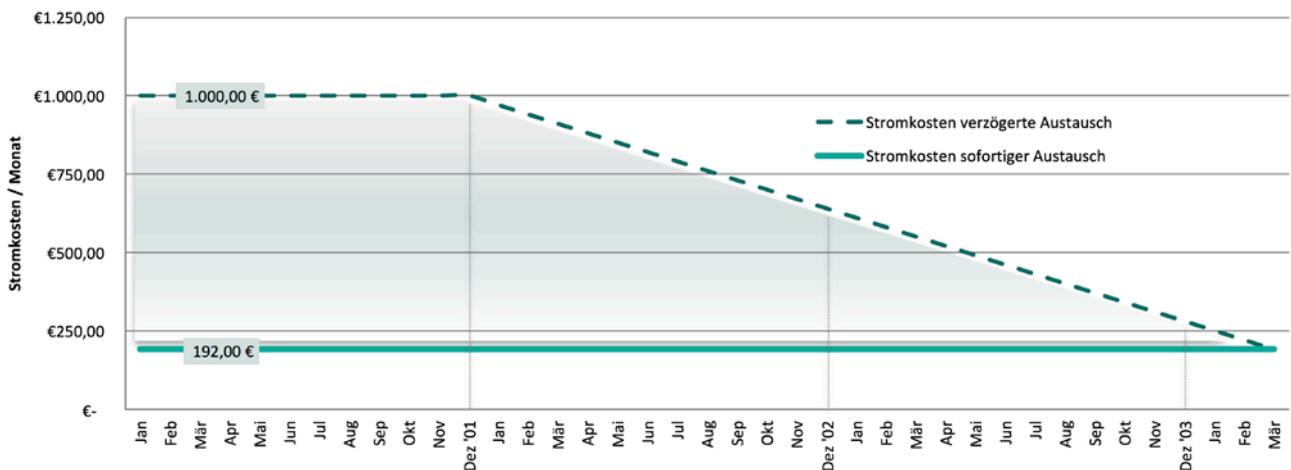
Einfluss der Zeit

Oft sind Entscheidungsprozesse für Investitionen mit Zeitverzug verbunden. Im Bild 34 ist der Einfluss der Zeit auf eine LED-Umstellung der Straßenbeleuchtung von 100 Leuchten mit HME 125 W Leuchtmittel dargestellt. Es wird angenommen, dass die historischen Leuchtmittel durch LED-Leuchtmittel innerhalb der zu erwartenden Nennlebensdauer (vergleiche Bild 22) getauscht werden. Es wird somit die sofortige Umrüstung einer sukzessiven Umrüstung gegenübergestellt.

Die hier betrachtete Kommune, wird vorausgesetzt, entscheidet sich für die Umrüstung der 100 Leuchtpunkte mit HME 125 W Leuchtmitteln. Diese Umstellung soll mit einem Darlehen realisiert werden. Für die Beantragung des erforderlichen Darlehens wird 1 Jahr benötigt, da Randbedingungen zu berücksichtigen sind. Anschließend wird die Umrüstung stets dann vorgenommen, wenn ein HME Leuchtmittel ausfällt. Die HME-Leuchtmittel haben eine zu erwartende Nennlebensdauer von etwa 9.000 Stunden. Das letzte HME-Leuchtmittel wird also 27 Monate nach Beginn der sukzessiven Erneuerung ausgetauscht. Diesem Ansatz entspricht die grün gestrichelte Linie in der folgenden Grafik. Diese Vorgehensweise vertreten aktuell 80 Prozent der Kommunen.

Sofortiger Leuchtmitteltausch vs. Successiver Leuchtmitteltausch

HME-Lampe vorhanden:	125 W	Mittlere Nutzungsdauer:	9.000 h
LED-Leuchtmittel als Ersatz:	24 W	Mittlere Nutzungsdauer:	50.000 h
Mittlere jährliche Brenndauer:	4.000 h	Auszutauschende Lampen:	100 Stück
Vorlaufzeitraum Entscheidung bis Umsetzung:	1 Jahr	Strombezugskosten brutto:	0,24 €/kWh
Minderausgaben mit LED Leuchtmitteln brutto:	9.696 €/Jahr	Kosten für Leuchtmittel, Umbau und Austausch brutto:	77 Euro/Stück



Stromkosten bei sofortigem Austausch aller Leuchtmittel in 39 Monaten :	7.488,00 €
Stromkosten bei successiven Austausch der Leuchtmittel, beginnend nach 12 Monaten abgeschlossen nach 39 Monaten:	27.688,00 €
Die Projektkosten einer Umrüstung betragen:	7.735,00 €
Stromkostendifferenz der beiden Umrüstungsvarianten (schattierte Fläche):	20.200,00 €
Die sofortige Umrüstung hat sich amortisiert nach:	10 Monaten

Bild 34: Auswirkung von Verzögerungen im Entscheidungsprozess auf die Wirtschaftlichkeit

Diesem Vorgehen wird die sofortige LED-Umrüstung gegenübergestellt (grüne durchgezogene Linie). Der Betrachtungszeitraum beträgt somit 39 Monate. Die Installationskosten für die LED-Leuchtmittelumstellung werden zunächst vernachlässigt. Die anteiligen Projektkosten für die Umrüstung der 100 Leuchtpunkte etwa 7.735 Euro brutto. Die Kosten für die Umstellung eines Lichtpunktes betragen auf der Grundlage aktueller Ausschreibungen ca. 77 Euro brutto pro Lichtpunkt. .

Durch den verzögerten Beginn der Umrüstung um ein Kalenderjahr fallen höhere Stromkosten an. Diese hier ermittelte Stromkostendifferenz ergibt sich ausschließlich durch die unterschiedliche Leistung der Leuchtmittel, obwohl die Vorschaltgeräte bei der Umrüstung entfernt werden. Würden die Systemleistungen in Betracht gezogen, würde die Stromkostendifferenz höher ausfallen. Die Stromkostendifferenz aus der unterschiedlichen Leistungsaufnahme zwischen LED- und HME-Lampe beträgt 9.696 Euro brutto in einem Jahr. Durch die sukzessive Umrüstung erhöht sich diese Stromkostendifferenz in den folgenden 27 Monaten um weitere 10.504 Euro auf 20.200 Euro brutto. Diesem Betrag sind die Projektkosten noch hinzuzurechnen. Normalerweise wären die Projektkosten bei einem sukzessiven Leuchtmitteltausch höher, da erfahrungsgemäß in Ausschreibungen bessere Angebote erzielt werden als bei einer Vielzahl von Einzelmaßnahmen.

Allein die Verzögerung der Investition um ein Jahr verursacht 125 Prozent der anteiligen Aufwendung für die Umstellung der gesamten Straßenbeleuchtung auf LED-Technik und deren Betrieb über den Betrachtungszeitraum. Die Amortisationszeit beträgt lediglich 10 Monate. Wird also das Szenario „grün gestrichelte Linie“ verfolgt, entstehen der Kommune erhebliche finanzielle Nachteile oberhalb der Projektkosten für die komplette Umstellung der historischen Straßenbeleuchtung auf LED-Technik.

Einfluss der Wartung

Die Einsparung betrifft die Verringerung der laufenden Betriebskosten. Durch Lampen mit hoher Lichtausbeute und Betriebsgeräten mit geringer Verlustleistung, durch Leuchten mit optischen Systemen, mit denen der Lampenlichtstrom bestmöglich auf die zu beleuchtenden Flächen gelenkt wird, und durch bedarfsgerechte Qualität, Material und Konstruktion der Leuchten werden Energiekosten und Wartungsaufwand verringert.

Das Mindestwartungsintervall resultiert aus dem Quotient der Nutzlebensdauer des Leuchtmittels und der Brenndauer des Leuchtmittels. Wird eine allgemein anerkannte Brenndauer von 4.000 h bis 4.200 h pro Kalenderjahr für Straßenbeleuchtung vorausgesetzt, so beträgt das Mindestwartungsintervall:

Wartungsintervalle von Lampen	Jahre
Quecksilberdampf-Hochdrucklampe	2,0
Natriumdampf-Hochdrucklampe	4,5
LED-Leuchtmittel / LED-Leuchten	> 12

Der Wartungsfaktor ergibt sich aus dem Umkehrwert des Wartungsintervalls. Bei sonst gleichen Kosten für die Arbeitskraft und das Servicegerät (Steiger) haben ausschließlich die Kosten für die Leuchte/das Leuchtmittel einen weiteren Einfluss. Für die folgende beispielhafte Ermittlung der Wartungskosten wird ein nahezu einheitlicher Lichtstrom der Lampen vorausgesetzt.

Wird die beispielhafte Annahme getroffen, dass die Kosten für den Facharbeiter 35 Euro/Stunde und für den Steiger 20 Euro/Stunde betragen, die Wartungsdauer = Inspektionsdauer 0,25 Stunden beträgt und stets 2 Facharbeiter im Einsatz sind, ergeben sich die Wartungskosten in Höhe von:

Wartungskosten	Leistung	Lampen-kosten	Wartungs-kosten / Jahr
Quecksilberdampf-Hochdrucklampe 80W	80 W	4,00 Euro	13,25 Euro
Natriumdampf-Hochdrucklampe	50 W	13,00 Euro	7,90 Euro
LED-Leuchte, nicht modular	20 W	90,00 Euro	9,40 Euro
LED-Leuchtmittel, modular	20 W	10,00 Euro	2,70 Euro

Bild 35: Wartungskosten in Abhängigkeit des Leuchtmittels

Nach DGUV Vorschrift 3 (vormals BGV A3) ist die Straßenbeleuchtung im Abstand von 4 Jahren einer Inspektion durch eine Elektrofachkraft zu unterziehen. Unter den beispielhaft getroffenen Annahmen erhöhen sich damit die Wartungskosten für die LED-Leuchten um ca. $2 \times 3,50 \text{ Euro/Jahr} = 7,00 \text{ Euro/Jahr}$. Bei einer Natriumdampf-Hochdrucklampe entstehen diese Kosten nicht, da das Wartungsintervall mit dem Inspektionsintervall zusammenfällt.

Durch den Einsatz von LED-Leuchten vergrößert sich das Wartungsintervall/Inspektionsintervall somit auf maximal 4 Jahre. Die Wartungskosten für LED-Leuchten entsprechen in etwa den Wartungskosten für die Natriumdampf-Hochdrucklampen genau dann, wenn modulare LED-Leuchten eingesetzt werden.

Eine detaillierte Einzelaufstellung der Lampenlichtstromwartungsfaktoren LLMF und Lampenlebensdauerfaktoren LSF kann [5] für die bestehenden Lampen der Straßenbeleuchtung entnommen werden.

Die durchschnittlichen Kosten für die Instandhaltung und Wartung der Straßenbeleuchtungsanlagen in der Mustergemeinde nach [16] bewegten sich in den letzten fünf Jahren jährlich zwischen 60.000 Euro und 70.000 Euro. Damit kann ein Jahresdurchschnitt von ca. 65.000 Euro angenommen werden. Auf die Instandsetzung von Leuchten und Leuchtmitteln entfallen davon ca. 30.000 Euro/Jahr.

Durch die Neuausrüstung bzw. Umstellung der Beleuchtung auf LED-Leuchtmittel ergeben sich, zumindest in den ersten zehn Jahren, Einsparungen bei Wartungs- und Reparaturkosten. Unter Beibehaltung der aktuellen Auftragsstrukturen ist eine jährliche Einsparung von etwa 9.500 Euro wahrscheinlich.

In den letzten Jahren sanken die Anschaffungskosten für LED-Leuchten und LED-Leuchtmittel aufgrund der kontinuierlichen Weiterentwicklung. Außerdem sind die Einzelbauteilkosten gesunken.

Amortisationsrechnung

Die Amortisationsrechnung oder Kapitalrückflussrechnung bzw. -methode ist ein Verfahren der statischen Investitionsrechnung und dient der Ermittlung der Kapitalbindungsdauer einer Investition. Dabei wird die Rückflussdauer t_a einer Investition, d. h. der

Zeitraum, in dem sich die Anschaffungskosten aus den jährlichen Gewinnen und Abschreibungen der Investition refinanzieren, berechnet. (Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Amortisationsrechnung>)

$$t_a = \frac{\text{Investitionsaufwendung}}{\text{durchschnittliche Ersparnis pro Jahr}}$$

Die Amortisationsrechnung kann als qualitative Entscheidungsgrundlage verwendet werden.

Für einen ersten Überblick kann die Energieeinsparung pro Zeiteinheit unter Annahme eines äquivalenten Lichtstromes vor und nach der LED-Umstellung von Leuchtmitteln dienen. Einige Richtwerte für übliche Leuchtmittel sind den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen. Alle dort angegebenen Währungswerte sind Nettowerte.

Energieeinsparung durch Ersatz bestehender Lampen durch LED-Leuchtmitteln						
HME (Quecksilberdampf-Hochdrucklampe)			LED-Austauschleuchtmittel		Einsparung pro 1.000 h	
Leistung [W]	Systemleistung [W]	Lichtstrom [lm]	Leistung [W]	Lichtstrom [lm]	bei Strompreis 13 Cent/kWh	bei Strompreis 22 Cent/kWh
50	59	1.800	12	1.860	4,94 €	8,36 €
80	90	3.700	24	3.720	7,28 €	12,32 €
125	139	6.200	36	5.580	11,57 €	19,58 €
250	268	12.700	80	12.400	22,10 €	37,40 €
400	440	22.000	-	-	-	-
HSE (Natriumdampf-Hochdrucklampe)			LED-Austauschleuchtmittel		Einsparung pro 1.000 h	
50	63	3.500	24	3.720	3,38 €	5,72 €
70	83	5.600	36	5.580	4,42 €	7,48 €
100	114	8.500	54	8.370	5,98 €	10,12 €
150	271	14.500	100	12.500	6,50 €	11,00 €
250	276	27.000	-	-	-	-
Leuchtstoffröhren T8 T38			LED-Austauschleuchtmittel		Einsparung pro 1.000 h	
18	24	1.350	9	1.575	1,17 €	1,98 €
30	36	2.250	14	2.450	2,08 €	3,52 €
36	42	3.350	18	3.150	2,34 €	3,96 €
58	66	5.200	30	5.250	4,68 €	7,92 €

Bild 36: Einsparungen bei Umrüstung auf LED-Technik pro 1000 h für verschiedene Altleuchtmittel (Quelle: e-con.de)

Ein LED-Leuchtmittel 24W mit 155 lm/Watt kostet etwa 30 Euro. Bei einem Strompreis von 22 Cent/kWh und einer Brenndauer 4.200 Stunden im Jahr hat sich dieses amortisiert in 0,61 Jahre.

$$t_a = \frac{30,00 \text{ Euro}}{12,32 \text{ Euro} \cdot \frac{4.200}{1.000}} = 0,61 \text{ Jahre}$$

Die folgenden Zahlenbeispiele entstammen einer Fallstudie. [16] Auf detaillierte Hintergründe wird an dieser Stelle nicht eingegangen.

In Bezug auf das Beispiels der LED-Umstellung der Außenbeleuchtung kann so die Eigeninvestition mit vorhandenen Eigenmittel beispielsweise dem Energiespar-Contracting gegenübergestellt werden.

In 2016 hatte diese Kommune aus Sachsen-Anhalt [16] einen Energieverbrauch für die Straßenbeleuchtung von 811.620 kWh/Jahr. Die zugehörige Beleuchtungsleistung beträgt 235.320 Watt. Durch die Umstellung auf LED-Beleuchtung kann die Beleuchtungsleistung auf 47.785 Watt reduziert werden. Der Strompreis für die Einsparungsberechnung beträgt aufgerundet 0,18 Euro/kWh.

Prognose [16] – Eigeninvestition mit Eigenmitteln	
Zeitraum der Maßnahme	Prognose
Anzahl zu tauschende Leuchten und Leuchtmittel	2.520
Investitionsvolumen	342.200 Euro
Energieverbrauch vorher	811.620 kWh
Energieersparnis	646.809 kWh
Energiekosten vorher	172.968 Euro
Energiekostensparnis	116.426 Euro
Amortisationszeit	2,94 Jahre

Die Investitionsaufwendung des Energiespar-Contracting ist die Summe der Zahlungen an den Contractor über die Vertragslaufzeit.

Prognose [16] – Energiespar-Contracting	
Zeitraum der Maßnahme	Prognose
Anzahl zu tauschende Leuchten und Leuchtmittel	2.520
Investitionsvolumen	664.754 Euro
Energieverbrauch vorher	811.620 kWh
Energieersparnis	646.809 kWh
Energiekosten vorher	172.968 Euro
Energiekostensparnis	116.426 Euro
Amortisationszeit	5,71 Jahre

Es zeigt sich, dass beide Varianten zunächst wirtschaftlich sind. Die Amortisationsdauer ist niedriger als die Nutzungsdauer.

Kapitalwertmethode

Der Kapitalwert (Nettogegegenwartswert oder Nettobarwert) ist eine betriebswirtschaftliche Kennzahl der dynamischen Investitionsrechnung. Durch Abzinsung auf den Beginn der Investition werden Zahlungen vergleichbar gemacht, die zu beliebigen Zeitpunkten anfallen. Der Kapitalwert einer Investition ist die Summe der Barwerte aller durch diese Investition verursachten Zahlungen (Ein- und Auszahlungen).

Zum besseren Verständnis der Rechenoperation kann der Kapitalwert auch als der errechnete Geldbetrag betrachtet werden, der eingesetzt werden müsste, um unter Berücksichtigung der Verzinsung und der Ein- und Auszahlungen am Ende des Betrachtungszeitraums zu einem Saldo von 0 zu gelangen. Voraussetzung ist hierbei die Wiederanlageprämisse, d.h. die zwischenzeitliche Anlage der Überschüsse zum Kalkulationszinssatz. (Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kapitalwert>)

Nun wird die Kapitalwertmethode auf die Annuitätenmethode erweitert. Die Annuitätenmethode ist eine Variante der Kapitalwertmethode. Es lässt sich so der Kapitalwert einer Investition in gleichbleibende nachschüssige Jahresraten (Annuitäten) über die erwartete Nutzungsdauer verteilen. Zur besseren Nachvollziehbarkeit werden die beiden Basisformeln mit angegeben.

Der Kapitalwert K_0 ist das Produkt aus dem Rentenbarwertfaktor b und der Annuität A . Da es ein dynamisches Verfahren ist, wird der Zinssatz p und die Anzahl der Zahlungsperioden n berücksichtigt.

$$K_0 = b \cdot A \text{ ergänzt zu } K_0 = \frac{1 - (1 + p)^{-n}}{p} \cdot A$$

Nach der Annuität umgestellt

$$A = \left(\frac{1 - (1 + p)^{-n}}{p} \right)^{-1} \cdot K_0$$

Unter sonst gleichbleibenden Annahmen wird angenommen, dass die Investitionsmittel der Kommune [16] aus einem Darlehen mit den Randbedingungen stammen:

Prognose [16] – Darlehensannahmen / Annuität	
Investitionsvolumen	342.200 Euro
Zusätzlicher Aufwand für Darlehensantrag	20.000 Euro
Betrachtungszeitraum n	10 Jahre
Zinssatz p	0,05 % / Jahr
Annuität	36.320 Euro/Jahr

Die jährliche Aufwendung (Annuität):

$$A = \left(\frac{1 - (1 + 0,0005)^{-10}}{0,0005} \right) \cdot (342.200 + 20.000) = 36.319,68 \text{ Euro/Jahr}$$

Die durchschnittliche Energieeinsparung pro Kalenderjahr beträgt ohne Inflationseinflüsse und Preiserhöhungen 116.425,66 Euro (sh. Amortisationsrechnung). Im Fall der Finanzierung ist eine Einsparung pro Kalenderjahr von ca. 80.000 Euro zu verzeichnen. Das sind bezogen auf dieses Beispiel 22 Prozent der Investitionssumme.

Die Investitionsaufwendung beim Energiespar-Contracting ist die Summe der Zahlungen an den Contractor über die Vertragslaufzeit. Die jährlichen Aufwendungen sind die jährlichen konstanten Zahlungen an den Contractor.

Jährliche Aufwendung (Annuität):

66.475,35 Euro/Jahr

Die durchschnittliche Energieeinsparung pro Kalenderjahr beträgt ohne Inflationseinflüsse und Preiserhöhungen 116.425,66 Euro (sh. Amortisationsrechnung). Im Fall des Energiespar-Contracting ist eine Einsparung pro Kalenderjahr von ca. 50.000 Euro zu verzeichnen, die dem Haushalt zugeführt werden kann. Das sind bezogen auf dieses Beispiel 15 Prozent der Investitionssumme. Es zeigt sich auch hier, dass beide Varianten wirtschaftlich sind.

Weitere Praxisbeispiele

Zwischenzeitlich existieren verschiedene Wegweiser und Handlungsempfehlungen. Im Resultat vermitteln diese die Erkenntnis, dass die Umstellung der kommunalen Beleuchtung auf LED-Technik ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll ist. Eine Reihe von Praxisbeispielen wird darin aufgeführt, die stets ein positives Gesamtergebnis vermitteln.

Auch in Sachsen-Anhalt existieren positive Erfahrungen mit der Umstellung der Straßenbeleuchtung auf LED-Technik. Einige Beispiele werden nachfolgend aufgeführt.

Die Investitionen werden über zinsgünstige Darlehen unterstützt. Aus diesem Grund wurden nicht rückzahlbare Fördersummen nicht in die Praxisbeispiele und zur Berechnung der Amortisationszeiten aufgenommen. Dasselbe gilt für erhobene Ausbaubeiträge, Strompreissteigerungen und eingesparte Betriebskosten (Wartungsverträge, Personalkosten, etc.).

PRAXISBEISPIEL VG SPRENDLINGEN-GENSINGEN (LANDKREIS MAINZ-BINGEN)

Der Austausch der Leuchten wurde in mehreren Teilschritten in acht Ortsgemeinden durchgeführt. Die LED-Leuchten werden mit Nachtabsenkung betrieben.

Zeitraum der Maßnahmen	2012 bis 2014
Anzahl der getauschten Lampen/Leuchten und verwendete Leuchtmittel	Austausch von 1.050 Quecksilberdampfleuchten durch hocheffiziente LED-Leuchten
Investitionsvolumen	550.000 €
Energieverbrauch vorher	438.000 kWh/a
Energieersparnis	330.000 kWh/a
Energiekosten vorher	100.740 €
Energiekostensparnis	76.000 €
Jährliche Einsparung	75 %
Amortisationszeit	7,2 Jahre

PRAXISBEISPIEL STADT PIRMASENS

In Pirmasens wurde bisher etwa die Hälfte der 6.400 Leuchten ersetzt. Mit Fördermitteln und einer geschätzten Strompreissteigerung von 34 % zwischen 2010 und 2016 beträgt die Amortisationszeit etwa vier Jahre.

Zeitraum der Maßnahmen	2011 bis 2015
Anzahl der getauschten Lampen/Leuchten und verwendete Leuchtmittel	Austausch von 3066 Quecksilberdampfleuchten gegen 682 Natriumdampf- und 2384 LED-Leuchtenköpfe
Investitionsvolumen	1.603.400 €
Energieverbrauch vorher	3,7 Mio. kWh
Energieersparnis	geschätzt 1,9 Mio. kWh
Energiekosten vorher	ca. 585.000 €
Energiekostensparnis	ca. 203.000 €
Jährliche Einsparung	75 % (ca. 51 % Strom, 34 % Kosten)
Amortisationszeit	8 Jahre

PRAXISBEISPIEL STADT SPEYER

Über 20 Jahre werden durch die Maßnahme in Speyer über 3.336 t CO₂ eingespart. Mit Förderung amortisiert sich der Austausch in 5,4 Jahren.

Zeitraum der Maßnahmen	2013 bis 2014
Anzahl der getauschten Lampen/Leuchten und verwendete Leuchtmittel	Austausch von 287 Natriumdampfleuchten durch LED
Investitionsvolumen	352.057,81 €
Energieverbrauch vorher	354.392 kWh
Energieersparnis	282.228 kWh
Energiekosten vorher	65.499,60 €
Energiekostensparnis	52.177,78 €
Jährliche Einsparung	ca. 80 %
Amortisationszeit	6,7 Jahre

Bild 37: Praxisbeispiel entnommen aus [15]

Durch die LENA wurden ebenfalls verschiedenen Studien unterstützt. Diese zeigen die folgende Wirtschaftlichkeit auf:

Stadt Güsten – Kreditfinanzierung	
Zeitraum der Maßnahme	Studie
Anzahl zu tauschende Leuchten und Leuchtmittel	759
Investitionsvolumen	419.640 Euro
Energieverbrauch vorher	393.950 kWh
Energieersparnis	354.555 kWh
Energiekosten vorher	-
Energiekostensparnis	-
Amortisationszeit	5,00 Jahre

Stadt Calbe (Saale) – Kreditfinanzierung	
Zeitraum der Maßnahme	Studie
Anzahl zu tauschende Leuchten und Leuchtmittel	1.438
Investitionsvolumen	610.520 Euro
Energieverbrauch vorher	563.115 kWh
Energieersparnis	388.590 kWh
Energiekosten vorher	135.148 Euro
Energiekostensparnis	93.262 Euro
Amortisationszeit	4,80 Jahre

Auch Energiespar-Contracting wurde in Sachsen-Anhalt bereits wirtschaftlich umgesetzt.

Gemeinde Berga – Energiespar-Contracting inklusive 10 Jahre Lichterhaltungsgarantie	
Zeitraum der Maßnahme	2014
Anzahl zu tauschende Leuchten und Leuchtmittel	472
Investitionsvolumen	-
Energieverbrauch vorher	156.200 kWh
Energieersparnis	123.984 kWh
Energiekosten vorher	44.000 Euro
Kosteneinsparung nach Energiekosten inklusive Contractinggebühr pro Jahr	22.000 Euro
Amortisationszeit	-

INFORMATIONSQUELLEN

Weiterführende Links

Digitaler Planungsleitfaden Straßenbeleuchtung

SAENA – Sächsische Energieagentur GmbH,
<http://www.planungsleitfaden-strassenbeleuchtung.de/startseite.html>

Öffentliche Beleuchtung – Formulare und Hilfsmittel

LTG – Lichttechnische Gesellschaft Österreich,
<http://aussehenbeleuchtung.ltg.at>

Lotsen energieeffiziente Straßenbeleuchtung

DENA – Deutsche Energie-Agentur GmbH,
<https://industrie-energieeffizienz.de/energiekosten-senken/energieeffiziente-technologien/beleuchtung/quickcheck/lotse-strassenbeleuchtung-startseite/>

Licht Wissen – Schriftenreihe

Licht.de eine Brancheninitiative des Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V. (ZVEI),
<https://www.licht.de/de/service-info/publikationen-und-downloads/heftreihe-lichtwissen/>

Energieeffiziente Straßenbeleuchtung – Ein Leitfaden für Kommunen

Energieagentur Rheinland-Pfalz,
https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/verwaltung/uploads/brochure/download/130/Energieeffiziente_Strassenbeleuchtung_-_Ein_Leitfaden_fuer_Kommunen_2015.pdf

Kommunen in neuem Licht – Praxiserfahrung zur LED in der kommunalen Beleuchtung

TU Darmstadt,
https://www.bmbf.de/files/KinL_Abschlussbericht_korr2013-06_bf_abA7.pdf

Kommunen in neuem Licht - Infoblatt

Thüringer Energienetze,
www.thueringer-energienetze.com

Kommunale Straßenbeleuchtung – Bericht zur Querschnittsprüfung

Freistaat Thüringen, Rechnungshof,
http://thueringer-rechnungshof.de/files/1584E82A66A/06_pb-kommunale-strassenbeleuchtung.pdf

Naturverträgliche Stadtbeleuchtung

NABU,
<https://www.nabu.de/stadtbeleuchtung/cd-rom/Inhalte/PDF/H3-1.pdf>

Kommunale Lichtplanung für eine energieeffiziente und ökologisch verträgliche Stadtbeleuchtung

NABU, Zusammenstellung verschiedener Veröffentlichungen,
<https://www.nabu.de/stadtbeleuchtung/cd-rom/Inhalte/HTML/hintergrund3.html>

Weiterführende Literatur

Technisches Handbuch Straßen- und Außenbeleuchtung

F. Bodenhaupt, F. Lindemuth (2013), EW Medien und Kongresse GmbH,
www.ew-online.de

Es werde Licht – Energieeffiziente Straßenbeleuchtung, Roadshow

LENA – Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt GmbH,
www.lena.sachsen-anhalt.de

GLOSSAR

Beleuchtungsstärke

gibt den Lichtstrom pro Quadratmeter Fläche an, Einheit [lm/m²] oder Lux [lx]

Bewertungsmatrix

Entscheidungshilfe für Vergleiche mit festgelegten Kriterien, denen eine bestimmte Gewichtung zugewiesen wird

DGUV

Deutsche gesetzliche Unfallversicherung

EMV-Richtlinie

Richtlinie zur elektromagnetischen Verträglichkeit zur Einschränkung elektromagnetischer Emissionen und Störungen anderer elektrischer Geräte

EuGH

Europäischer Gerichtshof mit Sitz in Luxemburg

EVU

Energieversorgungsunternehmen, liefert Strom und Wärme

Farbtemperatur

Maß für die Lichtfarbe, Einheit Kelvin [K], warmweißes Licht hat eine Farbtemperatur von kleiner 3.300 Kelvin

Farbwiedergabe

Gibt die Natürlichkeit von Farben im Licht einer Lampe an. Angabe als Farbwiedergabeindex R_a (CRI)

HME

Quecksilberdampf-Hochdrucklampe in Ellipsoidform

HSE

Natriumdampf-Hochdrucklampe in Ellipsoidform

Lampe

Leuchtmittel, technische Ausführung einer künstlichen Lichtquelle

Lebensdauer

bezeichnet bei LED- und Entladungslampen die Nutzlebensdauer, nach der noch 50 Prozent der Lampen funktionieren und einen bestimmten Lichtstrom (in der Regel 80 Prozent) aufweisen

LED

Licht Emittierende Diode

LENA

Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt

Leuchte

Beleuchtungskörper, in den die Lampe eingesetzt und betrieben wird

Leuchtenkopf

Bezeichnet bei Straßenlaterne die Leuchte inklusive Leuchtmittel und elektronischen Bestandteilen

Leuchtmittel – siehe Lampe

Lichtfarbe – siehe Farbtemperatur

Lichtlenkung

Ableitung des emittierten Lichtes in eine bestimmte Richtung, z.B. durch Reflektoren oder Spiegel

Lichtpunkt

Bezeichnet in der Straßenbeleuchtung die einzelne Leuchte

Lichtstärke

Strahlungsleistung einer Lichtquelle in einem Raumwinkel, Einheit Candela [cd]

Lichtstrom

Lichtleistung, die die Lampe in alle Richtungen abgibt, Einheit Lumen [lm]

Lichtausbeute

Maß für die Wirtschaftlichkeit einer Lampe, gibt den Lichtstrom pro Leistungseinheit an [Lumen/Watt]

Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG –

Verordnung (EG) 2009/125 zur Reduktion des Energieverbrauchs energieverbrauchender Produkte

VOB/A

Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, enthält Detailvorschriften zur Vergabe von Bauaufträgen durch die öffentliche Hand

VOL/A

Vergabe- und Vertragsordnung für Lieferleistungen, enthält Detailvorschriften zur Vergabe von Lieferaufträgen durch die öffentliche Hand

Wärmemanagement

auch Thermoregulation genannt, notwendige Maßnahmen, um die durch LED-Lampe und elektronische Komponenten produzierte Wärme aus der Leuchte zu transportieren, um die faktisch mögliche Lebensdauer der LED zu gewährleisten

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Bild 1: Anteil der Straßenbeleuchtung am kommunalen Stromverbrauch nach [5]	7	Bild 19: Straßenstruktur 1 – Breite 6,00 m; Mastabstand 35,0 m, Lichtpunkthöhe 4,0 m,	21
Bild 2: LED-Straßenbeleuchtung, Quelle: www.luglightfactory.com	8	Bild 20: Straßenstruktur 4 – Breite 6,00 m; Mastabstand 65,0 m, Lichtpunkthöhe 9,0 m	22
Bild 3: Einfluss von Lampentypen auf den Lebensraum von Insekten, [5]	8	Bild 21: Entscheidungsmatrix zur Wahl der Beleuchtungsstärke	23
Bild 4: Anforderungen an Leuchtmittel (Auszug) nach [8]	9	Bild 23: Typische Nutzungsdauern für verschiedene Einsatzzwecke, Quelle: e-con.de	24
Bild 5: Umbauanweisung von LED-Leuchtmittelhersteller	11	Bild 22: Lampendaten Übersicht, [5]	24
Bild 6: Muster EU-Konformitätserklärung für eine umgebaute Leuchte [20]	12	Bild 24: Vorher – Nachher, LED-Leuchtmittelumstellung Stadt Jüterbog	25
Bild 7: LED-Prinzipaufbau, Quelle: licht.de	12	Bild 25: LED-Austauschleuchtmittel, Quelle: e-con.de	25
Bild 8: Energieverbrauch Straßenbeleuchtung, [15]	12	Bild 26: Umbauanweisung von LED-Leuchtmittelhersteller	25
Bild 9: Typische Struktur eine LED- und einer klassischen Straßenleuchte, [24]	13	Bild 27: Beispielhafte LED-Leuchten Variation	26
Bild 10: LED-Leuchte von innen, Quelle: Vizulo.com	13	Bild 28: Autarke Steuerungsmöglichkeiten [22]	27
Bild 13: Farbwiedergabeindex für Leuchtmittel	14	Bild 29: Gruppensteuerung [22]	27
Bild 11: Kompakte LED-Straßenleuchte, Quelle: alibaba.com	14	Bild 30: Netzwerksteuerung [22]	27
Bild 12: Modulare Straßenleuchte, Quelle: e-con.de	14	Bild 31: Weitere Energiesparfunktionen [22]	27
Bild 14: Ein blaues Auto unter dem Licht einer Natriumdampf-Hochdrucklampe (links) und einer weißen LED (rechts), [24]	15	Bild 32: Optotronic 4DIM, DALI Treiber, Quelle: osram.de	28
Bild 15: Kurzcheck Sanierungsbedarf der Straßenbeleuchtung, [5]	17	Bild 33: Möglicher Aufbau eines DALI Netzes, [21]	28
Bild 17: Strombezugskosten für die Straßenbeleuchtung, [16]	18	Bild 34: Auswirkung von Verzögerungen im Entscheidungsprozess auf die Wirtschaftlichkeit	29
Bild 16: Auszug aus Standortaufnahme einer Straßenbeleuchtung, Verbandsgemeinde Mansfelder Grund – Helbra	18	Bild 35: Wartungskosten in Abhängigkeit des Leuchtmittels	30
Bild 18: Bewertungsfeld zur Beurteilung der Straßenbeleuchtung nach [18]	20	Bild 36: Einsparungen bei Umrüstung auf LED-Technik pro 1000 h für verschiedene Altleuchtmittel (Quelle: e-con.de)	31
		Bild 37: Praxisbeispiel entnommen aus [15]	33

QUELLENVERZEICHNIS

- [1] DENA (2015): Energieeffiziente Straßenbeleuchtung. http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Stromnutzung/Dokumente/1430_Broschuere_Energieeffiziente-Strassenbeleuchtung.pdf
- [2] Wjatscheslaw Pepler, Christoph Schiller und Prof. Dr.-Ing. Tran Quoc Khanh (2013): Kommunen im neuen Licht – Praxiserfahrung zur LED in der kommunalen Beleuchtung. https://www.bmbf.de/files/KinL_Abschlussbericht_korr2013-06_bf_abA7.pdf, TU München
- [3] DENA (2016): Kompetenzzentrum Contracting. <http://www.kompetenzzentrum-contracting.de/contracting-modelle/energiespar-contracting/>
- [4] DENA (2016): Leitfaden Energiespar-Contracting. <http://www.kompetenzzentrum-contracting.de/praxishilfen/energiespar-contracting/leitfaden-energiespar-contracting/download-esc/>
- [5] Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH (2009): Energieeffiziente Straßenbeleuchtung. Druckerei Wagner GmbH, Großschirma
- [6] M. Eckert, H.-H. Meseberg (1998): LiTG Straßenbeleuchtung und Sicherheit. ISBN 978-3-927787-16-2, Publikation 17, 1998
- [7] NABU (2009): Naturverträgliche Stadtbeleuchtung. <https://www.nabu.de/stadtbeleuchtung/cd-rom/Inhalte/PDF/H3-1.pdf>
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt GmbH (2015): Es werde Licht – Energieeffiziente Straßenbeleuchtung. http://www.lena.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Sonstige_Webprojekte/Lena/Dokumente/Downloads/Roadshow/TAGUNGSBAND_ROADSHOW_STRASSENBELEUCHTUNG_LENA.pdf
- [11] Deutsche Energie Agentur (2016): Lotse – Straßenbeleuchtung. <http://www.lotse-strassenbeleuchtung.de/>
- [12] Licht.de (2014): licht.wissen 03. http://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/1403_lw03_Strassen_Wege_web.pdf
- [13] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (2012): Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen. http://www.cost-lonne.eu/wp-content/uploads/2015/11/LAI_RL_Licht_09_2012.pdf

- [14] A. Karner, D. Lenz, u. a. (2012): LED in der öffentlichen Beleuchtung - Planungsgrundsätze und Ausschreibungshilfen.
<https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKewiy8sv58Z3XAhWRCOWKHAB6ALQQFgg5MAM&url=https%3A%2F%2Fwww.klimaaktiv.at%2Fdam%2Fjcr%3A98e69095-f737-4c69-9bc7-888495030667%2FLED%2520in%2520der%2520%25C3%25B6ffentlichen%2520Beleuchtung.pdf&usg=AOvVaw3A7nN5SSdymvWPAX3696J9>
- [15] Energieagentur Rheinland-Pfalz (2015): Energieeffiziente Straßenbeleuchtung – Ein Leitfaden für Kommunen. Energieagentur Rheinland-Pfalz GmbH, 1. Landesweite Auflage,
http://energieagenturen.de/wp-content/uploads/2016/01/RZ_Broschuere_LED_2015.pdf
- [16] M. Schönhardt, V. Griese, u. a. (2016): LED Umstellung Stadt Oberharz am Brocken – Wirtschaftlichkeitsuntersuchung.
http://www.e-c-o-n.de/files/Stadt_Oberharz_am_Brocken_Studie_Gesamt_mit_Anlagen.pdf
- [17] Licht.de (2010): licht.wissen 17 – LED: Das Licht der Zukunft.
https://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/lichtwissen17_LED.pdf
- [18] Trilux (2008): Licht für Europas Straßen, Wegen und Plätzen nach DIN EN 13201 – Planungshilfe.
https://www.trilux.com/fileadmin/Downloads/33_3_Europas_Strassen-D_02.pdf
- [19] IHK Südlicher Oberrhein (2016): Merkblatt CE Kennzeichnung.
https://www.suedlicher-oberrhein.ihk.de/blob/frihk24/innovation/downloads/1330630/841336d02ff4bd9d1c6e4bbef4e1296f/Merkblatt_CE-Kennzeichnung-data.pdf
- [20] CE-LAB GmbH Ilmenau (2013): Prüfung von Beleuchtungseinrichtungen nach EU-Richtlinien und deren harmonisierten Normen.
http://www.e-c-o-n.de/files/ce_konformitaet_beleuchtung_allgemein.pdf
- [21] F. Bodenhaupt, F. Lindemuth (2012): Technisches Handbuch – Straßen- und Außenbeleuchtung. EW Medien und Kongresse GmbH, Frankfurt (Main)
- [22] Ledvance (2016): Light Programm.
<http://kiosk.richter-lang.com/kiosk/richterundlang/ledvance-lichtprogramm-2016-17/56054836/245>
- [23] ZVEI (2015): Leitfaden Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung.
https://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/ZVEI-Schriften/1512_ZVEI-LED-Leitfaden_2._Ausgabe.pdf
- [24] BMBF (2013): Kommunen in neuem Licht – Praxiserfahrungen zur LED in der kommunalen Beleuchtung.
https://www.bmbf.de/files/KinL_Abschlussbericht_korr2013-06_bf_abA7.pdf

Herausgeber:



Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt GmbH
Olvenstedter Straße 4 · 39108 Magdeburg
Tel.: 0391 567-2040 · Fax: 0391 567-2033
www.lena.sachsen-anhalt.de

Inhalt:

Dr.-Ing. Matthias Schönhardt
e-con GmbH
Stolberger Straße 28 · 06536 Berga
Tel.: 034651 98555 · Fax: 034651 98556
m.schoenhardt@e-con.de

Titelfoto:

@ ohenze-fotolia.com

Layout und Druck:

PEGASUS Werbeagentur GmbH