

## PROSA

### Straßenbeleuchtung

Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen

Studie im Rahmen des Projektes  
„Top 100 – Umweltzeichen für klima-  
relevante Produkte“

Februar 2013

#### **Autor/innen:**

Dr. Norbert Reintjes, Ökopool GmbH  
Laura Spengler, Ökopool GmbH

#### **Projektleitung:**

Jens Gröger, Öko-Institut e.V.

#### **Öko-Institut e.V.**

##### **Geschäftsstelle Freiburg**

Postfach 17 71  
79017 Freiburg, Deutschland

##### **Hausadresse**

Merzhauser Straße 173  
79100 Freiburg, Deutschland  
Tel. +49 (0) 761 – 4 52 95-0  
Fax +49 (0) 761 – 4 52 95-288

##### **Büro Darmstadt**

Rheinstraße 95  
64295 Darmstadt, Deutschland  
Tel. +49 (0) 6151 – 81 91-0  
Fax +49 (0) 6151 – 81 91-133

##### **Büro Berlin**

Schicklerstraße 5-7  
10179 Berlin, Deutschland  
Tel. +49 (0) 30 – 40 50 85-0  
Fax +49 (0) 30 – 40 50 85-388



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit



**DIE BMU  
KLIMASCHUTZ-  
INITIATIVE**

Zur Entlastung der Umwelt ist dieses Dokument für den  
**beidseitigen Druck** ausgelegt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Teil I</b>		<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Definitionen</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Markt- und Umfeldanalyse</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Europäische Gesetzesinitiativen und Normen</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Umweltzeichen und Öffentliche Beschaffung</b>	<b>4</b>
<b>2.3</b>	<b>Bestand und Markttrends</b>	<b>6</b>
<b>2.4</b>	<b>Marktsättigung</b>	<b>7</b>
<b>2.5</b>	<b>Preise</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Technologietrends</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Energieeffizienz</b>	<b>13</b>
<b>4.1</b>	<b>Energieeffizienz einzelner Komponenten</b>	<b>13</b>
<b>4.2</b>	<b>Energieeffizienz des Systems</b>	<b>16</b>
<b>4.3</b>	<b>Nachtabsenkung</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>Qualitätsaspekte</b>	<b>21</b>
<b>5.1</b>	<b>Sicherheit</b>	<b>21</b>
<b>5.2</b>	<b>Lebensdauer der Lampen und Leuchtmittel</b>	<b>22</b>
<b>5.3</b>	<b>Lichtfarbe und Farbtemperatur</b>	<b>24</b>
<b>5.4</b>	<b>Farbwiedergabe</b>	<b>25</b>
<b>5.5</b>	<b>Schutzart</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Weitere Umweltaspekte</b>	<b>26</b>
<b>6.1</b>	<b>„Lichtverschmutzung“</b>	<b>26</b>
<b>6.2</b>	<b>Insektenfreundlichkeit</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Konsumtrends</b>	<b>28</b>
<b>8</b>	<b>Nutzenanalyse</b>	<b>28</b>
<b>Teil II</b>		<b>29</b>
<b>9</b>	<b>Orientierende Lebenszyklusanalyse</b>	<b>29</b>
<b>9.1</b>	<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>29</b>
<b>9.2</b>	<b>Lebenszyklus</b>	<b>30</b>
<b>9.2.1</b>	<b>Herstellung</b>	<b>30</b>
<b>9.2.2</b>	<b>Nutzung</b>	<b>31</b>
<b>9.2.3</b>	<b>Entsorgung</b>	<b>31</b>
<b>9.3</b>	<b>Betrachtete Wirkungskategorien</b>	<b>31</b>
<b>10</b>	<b>Analyse der Lebenszykluskosten</b>	<b>32</b>

<b>10.1</b>	<b>Annahmen für die Lebenszykluskostenanalyse</b>	<b>33</b>
<b>10.2</b>	<b>Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse</b>	<b>33</b>
<b>Teil III</b>		<b>35</b>
<b>11</b>	<b>Ableitung der Anforderungen an ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen</b>	<b>35</b>
<b>11.1</b>	<b>Geltungsbereich</b>	<b>35</b>
<b>11.2</b>	<b>Anforderungen an die Anlage</b>	<b>36</b>
<b>11.3</b>	<b>Anforderungen an die Komponenten</b>	<b>37</b>
11.3.1	Vorwegnahme zukünftiger Ökodesign-Anforderungen	37
11.3.2	Farbtemperatur	37
11.3.3	Anteil des nach oben abgestrahlten Lichts	37
11.3.4	Schutz gegen Schmutz und Feuchtigkeit	37
11.3.5	Verfügbarkeit von Ersatzteilen	37
<b>11.4</b>	<b>Ableitung einer Vergabegrundlage</b>	<b>37</b>
<b>12</b>	<b>Literatur und weitere Quellen</b>	<b>38</b>
<b>13</b>	<b>Anhang</b>	<b>40</b>
<b>13.1</b>	<b>Anhang I: Wirkungskategorie Treibhauspotenzial der Ökobilanz</b>	<b>40</b>
<b>13.2</b>	<b>Anhang II: Entwurf der Vergabegrundlage für das Umweltzeichen Blauer Engel</b>	<b>41</b>

## Teil I

### 1 Definitionen

Gemäß Artikel 2 der Ökodesign-Verordnung (EG) Nr. 245/2009 bezeichnet „Straßenbeleuchtung“ „eine feste Beleuchtungseinrichtung, die den Benutzern öffentlicher Verkehrswege außerhalb von Gebäuden bei Dunkelheit gute Sicht verschaffen soll, um zur Verkehrssicherheit, zum Verkehrsfluss und zur öffentlichen Sicherheit beizutragen.“<sup>1</sup>

Diese Definition schließt folgende Bereiche aus:

- Tunnelbeleuchtung
- Beleuchtung privater Flächen wie Parkplätze, gewerbliche oder industrielle Flächen
- Sportplätze
- Flutlicht z. B. zur dekorativen Beleuchtung von Gebäuden oder Bäumen

Da Straßenbeleuchtung dazu dient, für Sicherheit zu sorgen (vgl. Abschnitt 5.1), ergeben sich aus unterschiedlichen Situationen unterschiedliche Anforderungen an die Straßenbeleuchtung. DIN EN 13201-1 beschreibt Beleuchtungssituationen, aus denen Beleuchtungsklassen abgeleitet werden können (Tabelle 1).

Tabelle 1 Beleuchtungsklassen nach DIN EN 13201-1

Beleuchtungsklasse	Beschreibung
ME-Klassen	Die Beleuchtungsklassen ME1 bis ME6 gelten für Straßen mit mittleren bis höheren Fahrgeschwindigkeiten. Für nasse Fahrbahnen gelten die Klassen MEW1 bis MEW5. Die Gütemerkmale der Beleuchtung entsprechen der Leuchtdichtebewertung.
CE-Klassen	Die Beleuchtungsklassen CE0 bis CE5 werden wie die ME-Klassen angewendet, jedoch für Straßen mit Konfliktzonen, wie Straßenkreuzungen, Einmündungen, Kreisverkehre, Staubereiche an Kreuzungen, Straßen mit Fußgängern und Radfahrern, Einkaufs- und Geschäftsstraßen, auch für Unterführungen und Treppen. Die Gütemerkmale der Beleuchtung entsprechen der Beleuchtungsstärkebewertung.
S-Klassen	Die Beleuchtungsklassen S1 bis S7 werden für Fußgänger- und Radfahrbereiche, Stand- und Sicherheitsstreifen und andere Straßenbereiche außerhalb der Fahrbahnen, für repräsentative Straßen, Anwohnerstraßen, Fußgängerzonen, Fußwege, Radwege, Parkstraßen, Schulhöfe usw. angewendet. Die Beleuchtung wird nach dem Kriterium Beleuchtungsstärke bewertet.
A-Klassen	Die Beleuchtungsklassen A1 bis A6 werden wie die S-Klassen angewendet, jedoch erfolgt die Bewertung mit der halbsphärischen (halbräumlichen) Beleuchtungsstärke.

<sup>1</sup> Diese Definition deckt sich mit der Europäischen Norm EN13201.

Beleuchtungsklasse	Beschreibung
ES-Klassen	Die Beleuchtungsklassen ES1 bis ES9 ermöglichen eine zusätzliche Bewertung der Beleuchtung durch die halbzyklische Beleuchtungsstärke, z. B. für Bereiche erhöhter Kriminalität, d. h. zur Identifizierung von Personen und Objekten gegen das subjektive Gefühl der Unsicherheit in Fußgängerzonen und auf Parkplätzen.
EV-Klassen	Die Beleuchtungsklassen EV1 bis EV6 ermöglichen eine zusätzliche Bewertung der Beleuchtung durch die vertikale Beleuchtungsstärke, z. B. an Mautstellen, in Umschlag- und Rangierbereichen usw.

Weitere Definitionen, die in Bezug auf Straßenbeleuchtung relevant sind, sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2 Weitere Definitionen

Begriff	Definition	Quelle
Beleuchtungsstärke (E)	Die Beleuchtungsstärke gibt den Lichtstrom an, der von der Lichtquelle auf eine bestimmte Fläche trifft. Maßeinheit ist Lux (lx)	FGL 2008
Farbwiedergabe	Die „Farbwiedergabe“ (Ra) beschreibt die Wirkung einer Lichtart auf das farbliche Aussehen von Gegenständen durch bewussten oder unterbewussten Vergleich mit ihrem farblichen Aussehen bei einer Bezugslichtart	Verordnung (EG) Nr. 245/2009
Lampe	„Lampe“ bezeichnet eine Einrichtung zur Erzeugung von (in der Regel sichtbarem) Licht; darin eingeschlossen sind alle zusätzlichen Einrichtungen für ihre Zündung, Stromversorgung und Stabilisierung oder für die Verteilung, Filterung oder Umwandlung des Lichts, sofern diese Einrichtungen nicht entfernt werden können, ohne dass die Einheit dauerhaft beschädigt wird.	Verordnung (EG) Nr. 244/2009 (Allgemeinbeleuchtung)
Lampenlichtstromerhalt	Der „Lampenlichtstromerhalt“ (Lamp Lumen Maintenance Factor, LLMF) bezeichnet das Verhältnis zwischen dem von der Lampe zu einem gegebenen Zeitpunkt ihrer Lebensspanne ausgesendeten Lichtstrom und ihrem ursprünglichen Lichtstrom	Verordnung (EG) Nr. 245/2009
Lampenüberlebensfaktor	Der „Lampenüberlebensfaktor“ (Lamp Survival Factor, LSF) beschreibt den Anteil der zu einem gegebenen Zeitpunkt unter bestimmten Bedingungen und bei bestimmter Schaltfrequenz noch funktionierenden Lampen an der Gesamtzahl der Lampen	Verordnung (EG) Nr. 245/2009
Leuchtdichte (L)	Die Leuchtdichte beschreibt den Helligkeitseindruck, den eine beleuchtete oder leuchtende Fläche dem Auge vermittelt und wird gemessen in Lichtstärke pro Flächeneinheit (cd/m <sup>2</sup> )	FGL 2008
Leuchte	„Leuchte“ bezeichnet ein Gerät zur Verteilung, Filterung oder Umwandlung des von einer oder mehreren Lichtquellen übertragenen Lichts, das alle zur Aufnahme, zur Fixierung und zum Schutz der Lichtquellen notwendigen Teile und erforderlichenfalls Hilfselemente zusammen mit den Vorrichtungen zu ihrem Anschluss an die Stromquelle, jedoch nicht die Lichtquellen selbst umfasst.	Verordnung (EG) Nr. 245/2009
Lichtstärke (I)	Die Lichtstärke ist der Teil des Lichtstroms, der in eine bestimmte Richtung strahlt, gemessen in Candela (cd)	FGL 2008

Begriff	Definition	Quelle
Lichtstrom ( $\Phi$ )	Der Lichtstrom ist die Lichtleistung einer Lampe, gemessen in Lumen ( $\text{lm}$ ) <sup>2</sup>	FGL 2008
Schutzgrad	Der „Schutzgrad“ entspringt einem Kodierungssystem, das anzeigt, in welchem Maße ein Gehäuse Schutz gegen das Eindringen von Staub, Fremdkörpern und Feuchtigkeit bietet.	Verordnung (EG) Nr. 245/2009
Vorschaltgerät	„Vorschaltgerät“ bezeichnet eine Vorrichtung, die in erster Linie zur Begrenzung des Stroms auf den für die Lampe(n) erforderlichen Wert dient, wenn sie zwischen der Stromquelle und einer oder mehreren Entladungslampen angeordnet ist. Ein Vorschaltgerät kann auch Einrichtungen zur Umwandlung der Versorgungsspannung, zur Lichtstromsteuerung, zur Korrektur des Leistungsfaktors sowie — allein oder kombiniert mit einer Einschaltvorrichtung — eine Einrichtung zur Herstellung der Bedingungen enthalten, die zum Einschalten der Lampe(n) notwendig sind.	Verordnung (EG) Nr. 245/2009

## 2 Markt- und Umfeldanalyse

### 2.1 Europäische Gesetzesinitiativen und Normen

Die im Jahre 2009 erlassene<sup>3</sup> und 2010 geänderte<sup>4</sup> Ökodesign-Verordnung zur gewerblichen Beleuchtung stellt Mindestanforderungen in Bezug auf den Lampenwirkungsgrad, den Lampenüberlebensfaktor und die Bereitstellung von Informationen für in der Straßenbeleuchtung üblicherweise eingesetzten Lampentechnologien. Diese Anforderungen sind Voraussetzung für den Marktzugang innerhalb der EU und sind durch entsprechende Produktprüfungen sicher zu stellen. Die Entwicklung dieser Mindestanforderungen orientierte sich an den vor 2009 üblichen Technologien. LED spielten zu der Zeit keine nennenswerte Rolle und fallen daher nicht in dem Geltungsbereich der genannten Verordnungen.

<sup>2</sup> Die Verordnung (EG) Nr. 245/2009 (Gewerbliche Beleuchtung) definiert Lichtstrom als „eine vom Strahlungsfluss (Strahlungsleistung) durch Bewertung der Strahlung entsprechend der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges abgeleitete Menge“.

<sup>3</sup> Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb und zur Aufhebung der Richtlinie 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates.

<sup>4</sup> Verordnung (EU) Nr. 347/2010 der Kommission vom 21. April 2010 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission in Bezug auf die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb.

Im Kontext der Regulierung von allgemeiner Beleuchtung beschloss die EU-Kommission Ende 2012 außerdem eine Verordnung zu gerichteter Beleuchtung<sup>5</sup>, die die bereits 2009 verabschiedete Verordnung für Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht<sup>6</sup> ergänzt. Die neue Verordnung schließt die Straßenbeleuchtung nicht explizit aus und ist somit auch für diese relevant.

In der Norm DIN (EN) 13201 sind Definitionen und Anforderungen an öffentliche Straßenbeleuchtungsvorrichtungen festgehalten. In Deutschland definiert DIN 13201-1 Beleuchtungssituationen, anhand derer Beleuchtungsklassen abgeleitet werden können. Die Teile 2-4 der Europäischen Norm EN 13201 behandeln Gütemerkmale, deren Berechnung sowie die Messung der Straßenbeleuchtung. Für die Berechnung der Energieeffizienz ist derzeit ein Teil 5 in Bearbeitung. (siehe auch unten).

Die Beurteilung der Qualität von LED ist derzeit noch nicht hinreichend durch verbindliche Messverfahren standardisiert. Eine besondere Herausforderung für die Messungen stellt die als lang geltende Lebensdauer der LED dar. Schließlich sollte deren Überprüfung nicht zu unangemessen langen Prüfzeiten führen. Ein Normungsmandat der Europäischen Kommission zur Qualitätsmessung von LEDs ist in Vorbereitung.

## 2.2 Umweltzeichen und Öffentliche Beschaffung

Im Bereich Beleuchtung liegt mit RAL-UZ 151 ein Blauer Engel für (Haushalts-) Lampen vor. In Vorbereitung ist die Entwicklung eines Blauen Engels für Bürobeleuchtung. Der hier diskutierte Blaue Engel für Straßenbeleuchtung stellt die dritte Gruppe dar.

Um den Einsatz umweltfreundlicher Produkte bei der öffentlichen Beschaffung („Green Public Procurement“, GPP) zu fördern, erarbeitet die EU-Kommission Kriterienkataloge, die den Beschaffern Hilfestellung für den Einkauf bzw. die gezielte Definition der Ausschreibung geben sollen. Diese unverbindlichen Kriterienkataloge werden in einem Stakeholder-Dialog produktgruppenspezifisch erarbeitet. Für die Straßenbeleuchtung liegen entsprechende Kriterien seit 2010 vor. Diese standen in 2011 zur Überarbeitung und wurden im Januar 2012 revidiert veröffentlicht (vgl. DG ENV 2011, GPP 2012).

In den GPP-Kriterien werden zwei verschiedene Kriteriensätze unterschieden. Die sogenannten Kern-Kriterien („core criteria“) enthalten einen eingeschränkten Satz an Anforderungen. Die sogenannten umfangreichen Kriterien („comprehensive criteria“)

---

<sup>5</sup> 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.

<sup>6</sup> Verordnung (EG) Nr. 244/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht.

beinhalten hingegen weitergehende Anforderungen. Die Kriterien lehnen sich im Wesentlichen an die rechtlichen Mindestanforderungen in der Ökodesign-Verordnung (EU) 245/2009 an. Die GPP-Kriterien spiegeln den technologieorientierten Ansatz der Verordnung, gehen im Anspruchsniveau jedoch über das gesetzlich geforderte Maß hinaus.

Im Fokus der GPP-Kriterien stehen Hochdruck-Entladungslampen, während LED-Lampen ausgeschlossen sind. Begründet wird dieser Ansatz damit, dass die betrachteten Entladungslampen die Mehrheit der Ersatzlampen in der regelmäßigen Beschaffung ausmachen. Es wird jedoch vorgeschlagen, in zukünftigen Revisionen ggf. auch Kriterien für LED zu definieren, wenn die Technologie in der Straßenbeleuchtung stärker etabliert ist (DG ENV 2011, S. 6). Im Mittelpunkt der Kriterien zur Lichtausbeute stehen insbesondere Natriumdampf-Hochdrucklampen und Halogen-Metallampfen. Der Schwerpunkt liegt auf den einzelnen Bestandteilen (Lampe, Leuchte und Vorschaltgerät), es werden jedoch auch Kriterien für die Installation und Systemeffizienz der Straßenbeleuchtung definiert.

Tabelle 3 Vergleich der Geltungsbereiche der relevanten Ökodesign-Verordnungen und der GPP-Kriterien für Straßenbeleuchtung

	<b>Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission (Gewerbliche Beleuchtung)</b>	<b>Verordnung (EU) Nr. 1194/2012 der Kommission (Lampen mit gebündeltem Licht u.a.)</b>	<b>Green Public Procurement (GPP) Kriterien Straßenbeleuchtung</b>
Geltungsbereich	Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräten und Leuchten zu ihrem Betrieb gelten, auch wenn diese in andere energiebetriebene Produkte eingebaut sind; enthält unverbindliche Referenzwerte für Produkte, die zur Büro- und Straßenbeleuchtung bestimmt sind (nach Artikel 1)	Lampen mit gebündeltem Licht, LED-Lampen sowie Geräte, die für die Installation zwischen dem Netz und den Lampen ausgelegt sind, einschließlich Betriebsgeräte für Lampen, Steuergeräte und Leuchten (mit Ausnahme von Vorschaltgeräten und Leuchten für Leuchtstofflampen und Hochdruckentladungslampen ) (nach Artikel 1)	Straßenbeleuchtung und Ampeln; nur Hochdruckentladungslampen berücksichtigt (v.a. Hochdrucknatriumdampf- und Metallhalogenlampen) (nach Abschnitt 1)
Ausnahmen vom Geltungsbereich	Lampen und Leuchten, die im Anhang 1 aufgeführt sind. Dies sind u.a. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lampen für gebündeltes Licht</li> <li>• Hochdruckentladungslampen mit <math>T_c &gt; 7000K</math>;</li> <li>• Hochdruckentladungslampen mit einer UV-Leistung <math>&gt; 2 \text{ mW/klm}</math></li> <li>• Hochdruckentladungslampen mit einem anderen Sockel als E27, E40 oder PGZ12.</li> </ul>	-	Tunnelbeleuchtung; Private Parkplätze; kommerzielle oder industrielle Außenbeleuchtung; Beleuchtung von Sportplätzen; Dekorative Beleuchtung von z. B. Gebäuden; tragbare Ampeln (nach Abschnitt 1)

## 2.3 Bestand und Markttrends

In Deutschland ist rund ein Drittel der installierten Straßenbeleuchtung mindestens 20 Jahre alt (BMU et al. 2009).<sup>7</sup> Es besteht daher ein hoher Bedarf der Erneuerung bestehender Anlagen. Die Erneuerung bestehender Anlagen macht über 90% der Installationen aus, Neuinstallationen spielen mit weniger als 10% eine nachgeordnete Rolle<sup>8</sup>. Dennoch werden jährlich nur rund 3% der Stadtbeleuchtung in Deutschland erneuert. Grund hierfür ist die finanzielle Situation vieler Kommunen, die dazu führt, dass nur notwendige Reparaturen erledigt werden, während größere Investitionen oft gescheut werden (BMU et al. 2009).

Prinzipiell muss zwischen (1) der Neuinstallation von Beleuchtungsanlagen, (2) der Erneuerung bestehender Anlagen, (3) der Änderung bestehender Anlagen sowie (4) der Instandhaltung bestehender Anlagen unterschieden werden.

1. Neuinstallationen erfolgen beispielsweise in Neubaugebieten oder nach der Erschließung eines Gewerbegebietes. Diese Situation erlaubt die vollständig neue Planung und Umsetzung. Die installierten Komponenten umfassen neben Leuchtmittel und Leuchte auch die Masten sowie die Stromversorgung und die Steuerung der Anlage.
2. Im Falle der Erneuerung einer bestehenden Anlage ist der Handlungsspielraum i.d.R. wesentlich geringer. Eine Verlegung der Lichtpunkte ist zwar theoretisch möglich, doch in der Praxis zumeist nur schwer realisierbar. Als wesentliches Hindernis sind die hohen Kosten der erforderlichen Erdarbeiten zu sehen. Daher ist bei einer Erneuerung der Anlagen von einem vorgegebenen Lichtpunktabstand auszugehen. Angesichts der langen Lebensdauer der Masten werden diese oftmals nicht ausgetauscht. Stattdessen findet lediglich der Ersatz der Leuchte mit Leuchtmittel statt. Die Leuchtköpfe lassen sich daher vom Mast trennen und werden i.d.R. auch separat vermarktet.
3. Die Änderung einer bestehenden Anlage kann eine technische Erweiterung (z. B. Nachrüsten mit Steuerung) sein. Auch die Umstellung der Anlage auf ein anderes Leuchtmittel ist hierunter zu fassen<sup>9</sup>.
4. Im Rahmen der Instandhaltung einer bestehenden Anlage findet in regelmäßigem Zyklus – z. B. alle vier Jahre – die Erneuerung der Leuchtmittel statt. Dabei werden unabhängig vom individuellen Zustand alle Leuchtmittel eines Straßenzuges gleichzeitig ersetzt.

---

<sup>7</sup> Die Anteile der verschiedenen Technologien im Bestand sind in Abschnitt 3 (Technologietrends) genannt.

<sup>8</sup> Aussagen von Teilnehmern des Fachgesprächs zum Blauen Engel für Straßenbeleuchtung, Hamburg, 26. Januar 2012.

<sup>9</sup> So können LED-Retrofit-Lampen mit entsprechendem Sockel in bestehende Leuchten eingebaut werden. Problematisch ist in diesem Falle aber die i.d.R. nicht optimale Ableitung der Wärme.

## 2.4 Marktsättigung

Eine Marktsättigung wird angenommen, wenn der Bedarf an einem Produkt prinzipiell gedeckt ist und nur noch Ersatzbedarf besteht. Der Grad der Sättigung wird vom Verhältnis des Marktvolumens zum Marktpotenzial bestimmt.<sup>10</sup>

Angesichts des hohen Alters der bestehenden Anlagen zur Straßenbeleuchtung ist in den nächsten Jahren mit einem hohen Bedarf an Erneuerungen zu rechnen. Angesichts der hohen Investitionskosten bei langer Lebensdauer ist der Ersatz der Straßenbeleuchtungsanlagen schon auf lokaler Ebene ein kontinuierlicher Prozess.<sup>11</sup> Über die Kommunen / Städte gemittelt ist daher mit einem lang anhaltenden Bedarf an neuen Beleuchtungskomponenten zu rechnen, auch wenn der Anteil an Neuinstallationen nur einen geringen Anteil ausmacht. Eine Marktsättigung ist folglich nicht zu erwarten.

Allerdings ist in den nächsten wenigen Jahren ein Peak zu erwarten, der insbesondere in dem (indirekten)<sup>12</sup> Verbot des Inverkehrbringens von Quecksilberdampflampen ab 13.4.2015 begründet liegt (Ökodesign-Verordnung (EU) Nr. 245/2009). Weiterhin verschärft die Verordnung die Anforderungen an die Energieeffizienz der Lampen nochmals zum 13.4.2017, wodurch voraussichtlich auch weiteren Lampentechnologien der Marktzugang verboten wird. Betreiber der Beleuchtungsanlagen müssen also frühzeitig auf andere Leuchtmittel umstellen, um eine Versorgung mit Ersatzlampen sicherstellen zu können.

## 2.5 Preise

Bezüglich Straßenbeleuchtung können je nach Perspektive und Ausgangssituation verschiedene Preiskalkulationen relevant sein. Bei einer Neuinstallation spielen beispielsweise die Kosten für die Verlegung der Erdkabel und die Installation der Masten eine Rolle. Ähnliches gilt bei der Überlegung, Lichtpunkte im Rahmen einer kompletten Sanierung der Beleuchtungsanlage zu verlegen. Bei der Erneuerung bestehender Lichtpunkte können neben den Kosten für die Steuerung und den Leuchtenkopf die Kosten für den Mast (Größenordnung: 500 Euro) eine weitere Rolle spielen.

Hier sollen jedoch die Preise für die Anschaffung und den Betrieb von Leuchtenköpfen im Vordergrund der Betrachtungen stehen. Die wesentlichen Parameter sind dabei die Investitionskosten, die Kosten der Unterhaltung (z. B. für Wechsel der Leuchtmittel und Reinigung) sowie die Stromkosten.

---

<sup>10</sup> [http://www.marketing.ch/lexikon\\_m.asp](http://www.marketing.ch/lexikon_m.asp)

<sup>11</sup> Bislang ist es unüblich, dass eine Kommune / Stadt sich entscheidet, sämtliche Lichtpunkte auf einmal zu erneuern. Vielmehr erfolgen Erneuerungen anlassbezogen in Einheiten von Straßenzügen. Das BMBF (LED-Leitmarktinitiative) geht aber davon aus, dass zukünftig Straßenbeleuchtung großflächiger erneuert wird.

<sup>12</sup> Die Verordnung verbietet keine Technologien. Sie stellt vielmehr Anforderungen, die bestimmte Technologien nicht einhalten können.

Da die Anforderungen an die Straßenbeleuchtung je nach Beleuchtungssituation sehr stark variieren können, ist auch die Spannweite der Kosten entsprechend weit. Die folgenden Angaben sind daher beispielhaft zu verstehen.

### Investitionskosten

In Tabelle 4 sind beispielhaft Kosten für Leuchten (z. T. einschl. Leuchtmittel) genannt.

Tabelle 4 Leuchtenpreise<sup>13</sup>

Name	Typ	Merkmale	Preis (€)
Albert 660890 Mastaufsatzleuchte	Technische Leuchte	Lampenleistung 70 W, versch. Lampen, Schutzart IP65	450
Leipziger Leuchten 9.892.7032.15 - Straßenleuchte 1xHCl-E/P/1xNAV-E70W	Dekorative Leuchte (Pilzform)	Max. Lampenleistung 70 W, Schutzart IP55, für Halogen-Metaldampf Lampe	500
Philips LED-Straßenleuchte BGS224	Technische LED-Leuchte	Systemleistung max. 30 W	360
Philips Straßenleuchte MR-AS 42/60 SGS101 SON-I 70W II	Technische Leuchte	Für Natriumdampf-Hochdrucklampe, 70 W	95
Philips BPP007 Dekorative LED-Leuchte	Dekorative LED-Leuchte	Systemleistung 55 W, 2.740 lm, 50.000 h, inkl. LED	450
Schuch Licht Straßenleuchte 3650/70/2hs K	Technische Leuchte	Für versch. Lampen und Lampenleistungen	460
Siteco 5XA52317NS28 Straßenleuchte Pilzform LED	Dekorative LED-Leuchte (Pilzform)	Inkl. LED-Modul, Schutzart IP54	900

### Zyklischer Ersatz der Leuchtmittel

Da die Leuchtmittel eine begrenzte Lebensdauer aufweisen, müssen diese regelmäßig ersetzt werden. Die Kosten sowie die Lebensdauer der Leuchtmittel müssen daher berücksichtigt werden. Tabelle 5 nennt beispielhaft Preisspannen (je nach Ausführung z. T. sehr groß) für die verschiedenen in der Straßenbeleuchtung eingesetzten Leuchtmittel sowie jeweils ein Beispiel.

<sup>13</sup> Quelle: Eigene Internetrecherche Anfang 2013

Tabelle 5 Preise von Leuchtmitteln<sup>13</sup>

Typ	Preisspanne (€)	Beispiel	Merkmale	Preis (€)
Quecksilberdampf-Hochdruck	4-19	Osram HQL 80W DE LUXE, Quecksilberdampf-Hochdrucklampe 115 V	80 W, 3.800 lm, 8.000-12.000 h	10
Metallhalogen-dampf-Hochdruck	30-100	Philips Metallhalogendampf-Lampe 70W CDO-TT70W/828 E27	70 W, 7.500 lm, 14.000 h	30
Natriumdampf-Hochdruck	15-50	Philips SON-H 220W E40	220 W, 19.000 lm, 16.000 h	19
Natriumdampf-Niederdruck	30-65	Radium Lampenwerk Natriumdampf-Niederdrucklampe SOX PLUS 135W/230/BY22D	135 W, 22.500 lm, 16.000 h	48
Leuchtstofflampe	4-18	Osram L 36W/840 Leuchtstofflampe, U-Form	36 W, 3.350 lm, 8.000 h	16
Kompaktleuchtstofflampe	3-20	Radium Lampenwerk Kompaktleuchtstofflampe RX-L 36W/840/2G11	36 W, 2.900 lm, 16.000 h	6
LED Modul	140-160	Osram LED-Modul SLP1 -W4F-765-L75X130	23 W, 1.220 lm, inkl. Optik und Kühlkörper	145

## Pflege / Wartung

Leuchtmittel von Straßenleuchten müssen aufgrund ihrer begrenzten Funktionsdauer regelmäßig gewechselt werden. Dabei wird empfohlen, nicht einzelne, nicht mehr funktionierende Lampen zu wechseln, sondern nach einem bestimmten Zeitraum – je nach verwendetem Leuchtmittel (vgl. Abschnitt 5.2) – alle Lampen eines Straßenzuges. Dies verringert die Kosten für die Wartung einer einzelnen Leuchte und erhöht die Sicherheit.

Darüber hinaus müssen Straßenleuchten regelmäßig von Schmutz gereinigt werden, wobei der Grad der Verschmutzung vom Standort sowie von der Güte des Leuchtgehäuses abhängt („Schutzart“, vgl. Abschnitt 5.5). Typische Wartungszyklen liegen bei zwei bis vier Jahren. Die Kosten für die Wartung einer Leuchte dürften in einer Größenordnung von 30-40 € liegen (ohne Kosten für das Leuchtmittel), sofern alle Leuchten eines Straßenzugs gleichzeitig gewartet werden.<sup>14</sup>

Es ist möglich dass bei der langen Lebensdauer von LED die Zeiträume für den Austausch des Leuchtmittels und die notwendige Reinigung auseinanderfallen, dass also öfter gereinigt werden muss als das Leuchtmittel auszutauschen ist.

<sup>14</sup> Vgl. Lebenszykluskosten-Rechner der Dena (2012) – in der Beispielrechnung werden die Wartungskosten für Gasentladungslampen mit 50 € einschl. der Kosten für das zu wechselnde Leuchtmittel veranschlagt.

### Strompreise

Der Strompreis für die Kommunen / Städte liegt derzeit je nach Konditionen (z. B. Abnahmemenge) in der Größenordnung von 0,10 bis 0,15 Euro/kWh.<sup>15</sup> Eine Steigerung der Strompreise ist zu erwarten<sup>16</sup>.

### 3 Technologietrends

Wie bereits in Abschnitt 2.3 erwähnt ist ein erheblicher Teil der installierten Straßenbeleuchtung in Deutschland veraltet. Der Anteil der verschiedenen für Straßenbeleuchtung verfügbaren Technologien am Bestand ist in Tabelle 6 wiedergegeben.

Tabelle 6 Anteil der Leuchtmittel bei Straßenbeleuchtung in Deutschland (Daten aus Kuhn et al. 2008 und dena 2012)

Technologie	Anteil an der Straßenbeleuchtung	
	2006	2012
Quecksilberdampf- / Mischlichtlampe	45%	34%
Natriumdampf-Hochdrucklampe	34%	38%
Leuchtstofflampe	15%	9%
Kompaktleuchtstofflampe	3%	9%
Halogen-Metaldampf- / Halogenlampe	3%	7%
LED	(nicht erfasst)	2%

Für Neubeschaffungen kommen Anlagen zum Betrieb folgender Leuchtmittel in Frage:

- Natriumdampf-Hochdrucklampen
- Natriumdampf-Niederdrucklampen<sup>17</sup>
- Metallhalogendampflampen
- Kompaktleuchtstofflampen
- Leuchtstofflampen
- LED
- Induktionslampen.

<sup>15</sup> Eurostat: 1. Halbjahr 2011 in Deutschland Strom für Industrie 0,1121 Euro/kWh (zzgl. MwSt.); bei Abnahme von 2.000 bis 20.000 MWh.

<sup>16</sup> Bei der Entwicklung der Methodik für die Vorstudien der Ökodesign-Richtlinie wurde von einer Steigerung von 4% pro Jahr ausgegangen. Dem gegenüber steht jedoch eine etwa gleich hohe Abzinsungsrate.

<sup>17</sup> Diese sind zwar vergleichsweise energieeffizient (vgl. Abschnitt 4), emittieren aber gelbes Licht.

Tabelle 7 zeigt, welche Leuchtentypen in Deutschland derzeit eingesetzt werden. Bei den Leuchten lässt sich keine Bauform grundsätzlich als energieeffizient oder -ineffizient bezeichnen, da die geeignetste Form von der jeweiligen Anwendung abhängt. Neben den in der Tabelle genannten Leuchtentypen ist in sogenannte „technische“ und „dekorative“ Leuchten zu unterscheiden. Dekorative Leuchten unterscheiden sich von technischen in der Hinsicht, dass sie das Licht nicht nur direkt in Richtung Boden, sondern auch in der Vertikalen abstrahlen und daher etwas mehr Energie benötigen. Sie werden nur für bestimmte Anwendungszwecke eingesetzt, beispielsweise in Anwohnerstraßen, Fußgängerzonen etc. Dort sind die erhöhten horizontalen Beleuchtungsstärken notwendig, um ein ausreichendes Sicherheitsgefühl in Anlagen für Fußgänger zu gewährleisten. Eine klare, trennscharfe Definition liegt nicht vor, stattdessen wird eher anhand ästhetischer Kriterien unterschieden (vgl. Abbildung 1).<sup>18</sup>

Tabelle 7 Anteil der Leuchtentypen bei der Straßenbeleuchtung in Deutschland (dena 2012)

Leuchtentyp	Anteil an der Straßenbeleuchtung 2012
Kofferleuchten	52%
Pilzleuchten	20%
Hängeleuchten	16%
Langfeldleuchten	12%

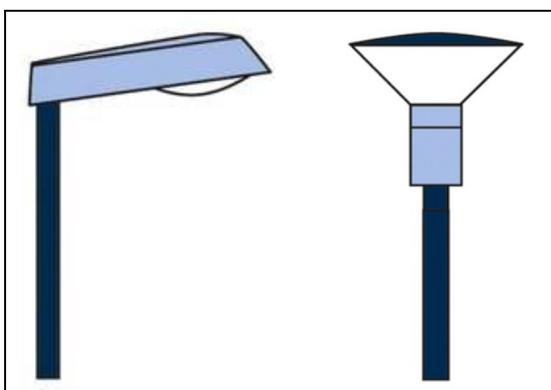


Abbildung 1 Technische (links) und dekorative Leuchte (rechts)<sup>18</sup>

Tabelle 6 zufolge lässt sich in den letzten Jahren schon ein gewisser Trend weg von den ineffizienten Quecksilberdampflampen hin zu anderen Technologien feststellen. Da die für 2006 und 2012 verfügbaren Daten aus unterschiedlichen Quellen stammen und über die Art der Datenerhebung keine Informationen vorliegen, sind die Unterschiede jedoch mit Vorsicht zu interpretieren.

<sup>18</sup> Vgl. hierzu die Seite [www.licht.de/strassenleuchten](http://www.licht.de/strassenleuchten) des ZVEI.

Relativ neu und daher im Bestand von 2006 noch nicht enthalten sind LED als Leuchtmittel für Straßenbeleuchtung. Da LED-Straßenleuchten bereits jetzt recht energieeffizient sind und darüber hinaus noch ein hohes Steigerungspotenzial hinsichtlich ihrer Energieeffizienz besteht, gelten sie als wichtigste Technologie für die weitere Entwicklung. Fachleute empfehlen bereits heute bei Neuinstallationen von Straßenbeleuchtungen aus Energie- und Kostengründen den Einsatz von LED-Technologien. Der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) erwartet, dass LED-basierte Leuchten in nur wenigen Jahren der durchgängige Standard bei Neuinstallationen sein werden (FGL 2010). Die LED-Leitmarktinitiative der Bundesregierung<sup>19</sup> zielt u.a. darauf ab, die Marktdurchdringung mit LED zu fördern und legt einen wesentlichen Schwerpunkt auf die Förderung der LED-Technologie in der Straßenbeleuchtung.

Einer Marktstudie und Prognose von McKinsey zufolge dürfte weltweit der Anteil von LED-basierter Straßenbeleuchtung bis 2020 erheblich ansteigen (McKinsey 2011, S. 30). Die – umsatzbasierte<sup>20</sup> – erwartete Entwicklung bei den verschiedenen für Außenbeleuchtung<sup>21</sup> eingesetzten Technologien stellt sich demnach wie in Abbildung 2 gezeigt dar.

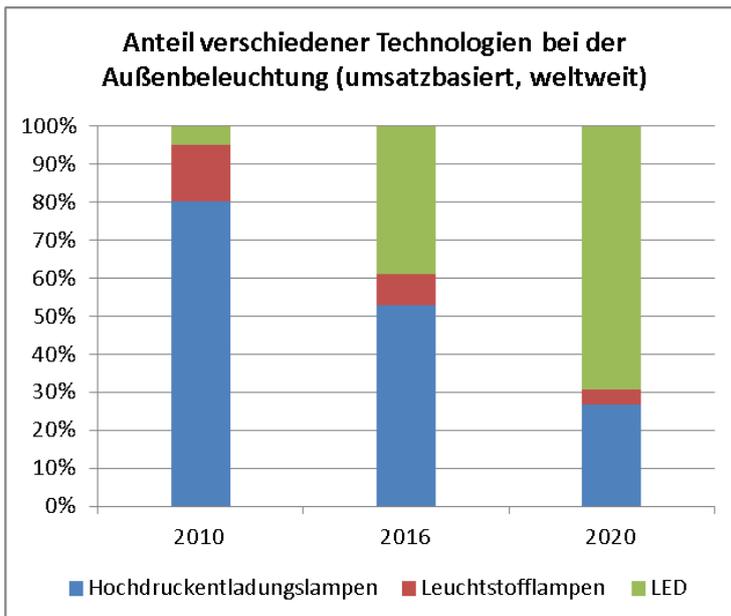


Abbildung 2 Anteil verschiedener Technologien bei der Außenbeleuchtung und erwartete Entwicklung (McKinsey 2011)

<sup>19</sup> Siehe <http://www.bmbf.de/de/16265.php>; Mitte 2012 hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Koordination der Leitmarktinitiative an das Bundesumweltministerium (BMU) übergeben.

<sup>20</sup> Eine stückzahlbasierte Einschätzung nimmt die Studie leider nicht vor.

<sup>21</sup> Die Studie bezieht sich neben anderen Beleuchtungsbereichen auf Außenbeleuchtung und differenziert hier nicht weiter. Außenbeleuchtung schließt der Definition in der Studie zufolge neben Straßenbeleuchtung auch die Beleuchtung von Tunneln, Parkplätzen, Stadien und ähnlichen öffentlichen und nicht-öffentlichen Flächen ein.

Die Entwicklung des Einsatzes bestimmter Technologien bei der Straßenbeleuchtung wird auch durch gesetzliche Anforderungen getrieben. Die Ökodesign-Verordnung (EG) Nr. 245/2009 stellt technologische Anforderungen an Produkte der gewerblichen Beleuchtung, die für den Marktzugang in der EU einzuhalten sind (vgl. Abschnitt 2.1). Zum Teil sind diese technologieneutral in Formeln und Zahlen gefasst. Da bezüglich der Energieeffizienz manche Produkte einer Technologie die Mindestanforderungen einhalten, während andere derselben Technologie diese nicht erreichen, handelt es sich nicht unmittelbar um Technologieverbote. Die Anforderungen lassen sich aber angesichts von Grenzen der technologischen Machbarkeit teilweise in ein Verbot bestimmter Technologien übersetzen.

Die Anforderungen betreffen Leuchte, Vorschaltgerät und Lampe. Die Vorgaben für die Leuchten sind recht simpel und beschränken sich im Wesentlichen darauf, dass diese kompatibel für die Vorschaltgeräte gemäß der Verordnung sein müssen. Für die Vorschaltgeräte gelten stufenweise strengere Vorgaben zur Energieeffizienz. Von besonderer Relevanz sind die Anforderungen der Verordnung an die Lampen. Die ab April 2015 geltenden Anforderungen führen de facto zu einem Vermarktungsverbot von Quecksilberdampflampen und haben besonders viel Aufmerksamkeit erregt. Da ein Großteil der derzeit installierten Beleuchtung auf dieser Lampentechnologie beruht, müssen die entsprechenden Leuchten rechtzeitig ersetzt werden.

## **4 Energieeffizienz**

Bezüglich der Bewertung der Energieeffizienz ist die Festlegung der Bilanzgrenze entscheidend. So kann die Energieeffizienz der einzelnen Komponenten der Straßenbeleuchtung (z. B. Lampe, Vorschaltgerät) betrachtet sein. Man kann aber auch von der (vorschriftsmäßig) beleuchteten Straße ausgehen und fragen, wie viel Energie dafür benötigt wird.

### **4.1 Energieeffizienz einzelner Komponenten**

Abbildung 3 zeigt die maximale Energieeffizienz in Lumen pro Watt, die derzeit von verschiedenen Leuchtmitteln erreicht wird. Für LED werden dabei weitere Steigerungen der Lichtausbeute prognostiziert. Nicht nur das Leuchtmittel, sondern auch andere Bestandteile einer Straßenleuchte sind jedoch für Effizienzverluste verantwortlich. Im Vorschaltgerät treten je nach Art des Geräts Umwandlungsverluste von 10% und mehr der zugeführten elektrischen Energie auf. Verlustarme und insbesondere elektronische Vorschaltgeräte sind deutlich energieeffizienter gegenüber konventionellen Vorschaltgeräten (FGL 2008). Optische Bauteile führen ebenfalls zu Verlusten, welche minimiert werden können indem die optischen Systeme der Leuchten den Lampenlichtstrom bestmöglich auf die zu beleuchtenden Flächen lenken. Damit wird auch unerwünschte Abstrahlung („Lichtverschmutzung“, vgl. Abschnitt 6.1) vermieden.

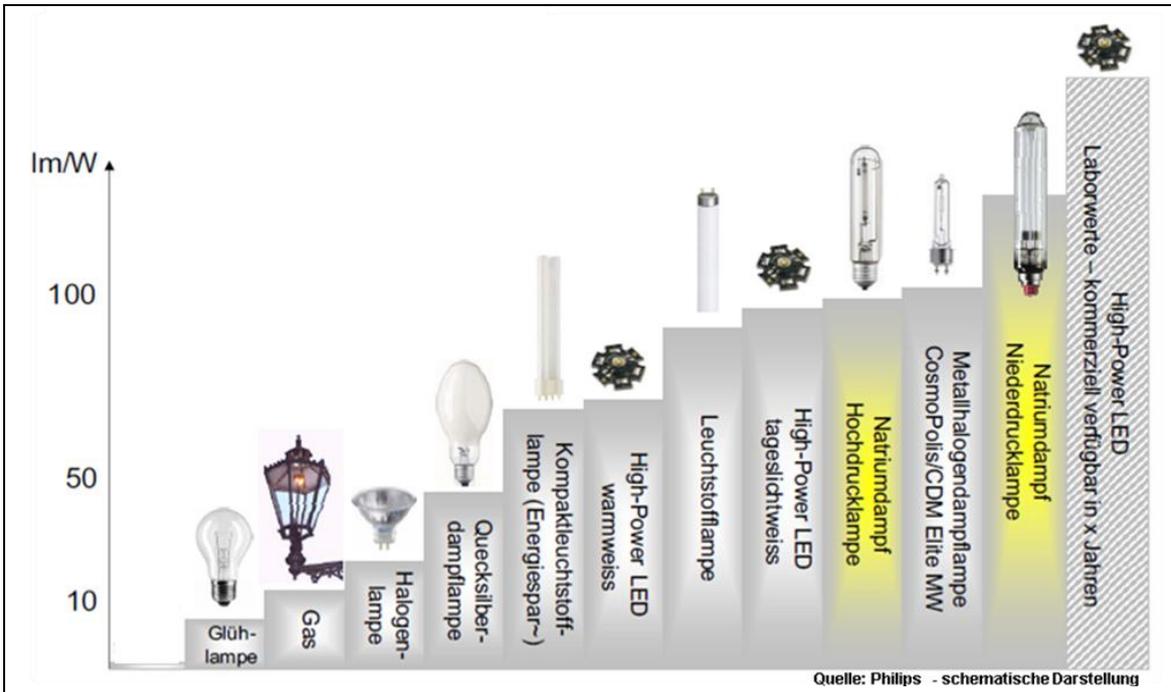


Abbildung 3 Schematische Darstellung der Energieeffizienz verschiedener Leuchtmittel (Quelle: Philips).<sup>22</sup>

Die rechtlichen Vorgaben auf Grundlage der Ökodesign-Richtlinie setzen entsprechend der Grundidee dieses politischen Instrumentes am Produkt an. Die auf EU-Ebene erarbeiteten Kriterien für die öffentliche Beschaffung (Green Public Procurement, GPP) konzentrieren sich ebenfalls auf Einzelkomponenten, jedoch sind darin auch zusätzliche Kriterien für die Gesamt-Energieeffizienz des Systems genannt. Welche Anforderungen in welchen Instrumenten gelten ist in Tabelle 8 und Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 8 Berücksichtigung von Energieeffizienz in Ökodesign-Verordnungen und in EU-Kriterien zur öffentlichen Beschaffung von Straßenbeleuchtung

Instrument	Lampe	Vorschaltgerät	Leuchte	System
Verordnung (EG) Nr. 245/2009 u. Änderungsverordnung Nr. 347/2010	ja, technologie-spezifisch	ja	ja	nein
Verordnung (EU) Nr. 1194/2012	ja, technologie-spezifisch	ja	ja	nein
GPP zentrale Kriterien („core criteria“)	ja, technologie-spezifisch	ja	nein	ja, bei Installation neuer Lichtsysteme
GPP umfassende Kriterien („comprehensive criteria“)	ja, technologie-spezifisch	ja	ja	ja, bei Installation neuer Lichtsysteme

<sup>22</sup> Die Lichtausbeute von LED entwickelt sich sehr dynamisch und ist inzwischen weiter gestiegen; sie liegt aktuell eher bei über 100 lm/W (vgl. Dena 2012).

Tabelle 9 Anforderungen an die Energieeffizienz von Lampen in Ökodesign-Verordnungen und in EU-Kriterien zur öffentlichen Beschaffung von Straßenbeleuchtung

Instrument	Anforderungen an die Energieeffizienz von Lampen
VO (EG) Nr. 245/2009 1. Stufe seit April 2010	Nur Leuchtstofflampen: Mindestlichtausbeute von <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zweisockel-Leuchtstofflampen (T5- und T8-Lampen) [Tabelle 1].</li> <li>• Einsockel-Leuchtstofflampen, betrieben mit elektromagnetischem und elektronischem Vorschaltgerät [Tabelle 2].</li> <li>• Einsockel-Leuchtstofflampen betrieben nur mit elektronischem Vorschaltgerät [Tabelle 3].</li> <li>• Einsockel-Leuchtstofflampen quadratischer Form oder (sehr) hoher Lichtleistung [Tabelle 4].</li> <li>• Kreisförmige T5- und T9-Lampen [Tabelle 5].</li> </ul> Abzugs-Prozentsätze zu den Bemessungswerten für die Mindestlichtausbeute von Leuchtstofflampen hoher Farbtemperatur, hoher Farbwiedergabe und/oder zweiter Lampenhülle [Tabelle 6] (Details siehe Verordnung)
VO (EG) Nr. 245/2009 2. Stufe seit April 2012	Die Anforderungen, die in der ersten Stufe nur für Zweisockel-Leuchtstofflampen mit 26 mm Durchmesser (T8) gelten, gelten nun für alle Zweisockel-Leuchtstofflampen anderen Durchmessers. Mindestlichtausbeute von <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hochdruck-Natriumdampflampen mit Farbwiedergabeindex <math>R_a \leq 60</math> [Tabelle 7]. (zur Nachrüstung erst ab 13. April 2015)</li> <li>• Metallhalogenidlampen mit <math>R_a \leq 60</math> und Hochdruck-Natriumdampflampen mit <math>R_a &gt; 60</math> [Tabelle 8].</li> <li>• Sonstige Hochdruckentladungslampen [Tabelle 9]. (13. April 2015)</li> </ul> (Details siehe Verordnung)
VO (EG) Nr. 245/2009 3. Stufe ab April 2017	Mindestlichtausbeute von (allen) Metallhalogenidlampen [Tabelle 10] (Details siehe Verordnung)
VO (EU) Nr. 1194/2012	Energieeffizienzanforderungen von Lampen mit gebündeltem Licht [Tabelle 2] <ul style="list-style-type: none"> <li>• Glühlampen: Vorgabe für den maximalen Energieeffizienzindex in mehreren Stufen</li> <li>• Hochdruckentladungslampen: Vorgabe für den maximalen Energieeffizienzindex in zwei Stufen (1. Sept. 2013 und 1. Sept. 2016)</li> <li>• sonstige Lampen: Vorgabe den maximalen Energieeffizienzindex in zwei Stufen (1. Sept. 2013 und 1. Sept. 2016)</li> <li>• Korrekturfaktoren für Lampen, die mit externen Betriebsgeräten betrieben werden</li> </ul> (Details siehe Verordnung)
GPP „core criteria“	Mindestlichtausbeute von <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hochdruck-Natriumdampflampen mit <math>R_a &lt; 60</math></li> <li>• Metallhalogenlampen mit <math>R_a &lt; 80</math></li> <li>• Metalhalidlampen mit <math>R_a \geq 80</math>: weniger strenge Werte gegenüber <math>R_a &lt; 80</math>, außer bei hoher Leistung</li> </ul>
GPP „comprehensive criteria“	Wie „core criteria“, nur strengere Werte

## 4.2 Energieeffizienz des Systems

Der Bundeswettbewerb Energieeffiziente Stadtbeleuchtung (vgl. BMU et al. 2009) definierte im Gegensatz zu den oben genannten an die Komponenten gerichteten Instrumente Energieeffizienz als Systemleistung. Ebenso ist eine Norm in Entwicklung (EN 13201-Teil 5), die das Gesamtsystem Straßenbeleuchtung betrachtet.

Aus Sicht des Systems wird die beleuchtete Straße betrachtet anstelle einzelner Komponenten. Dies bedeutet, dass auch die zu beleuchtende Straßenfläche sowie die Nutzungsart der Straße und damit das benötigte Beleuchtungsniveau mit in die Betrachtung einfließen.

Im Bundeswettbewerb Energieeffiziente Stadtbeleuchtung wurde die Energieeffizienz der Straßenbeleuchtung anhand der folgenden Kriterien bewertet (BMU et al. 2009, S. 15):

- Energieverbrauch pro km Straße und Jahr [ $\text{kWh}/(\text{km}\cdot\text{a})$ ], bezogen auf einen Referenzabschnitt von 1.000 m. Die Angabe des Energieverbrauchs umfasst dabei das Gesamtsystem, also auch die Verlustleistungen aller Komponenten.
- $\text{CO}_2$ -Emissionen [ $\text{kg}/(\text{km}\cdot\text{a})$ ]. Die  $\text{CO}_2$ -Emissionen wurden anhand des Energieverbrauchs errechnet. Zugrunde gelegt werden  $596 \text{ g}/\text{CO}_2/\text{kWh}$ .
- Energieeinsatz pro Lichtmenge [ $\text{kWh}/\text{Mlmh}$ ]. Zur Beurteilung der Effizienz bezogen auf die Lichtmenge wird der Energieverbrauch pro jährlicher Lichtmenge für die Gesamtanlage des Referenzabschnitts bestimmt.

Tabelle 10 Kennzahlen der Systeme („Techniken“), die am Bundeswettbewerb Energieeffiziente Stadtbeleuchtung teilnahmen (BMU et al. 2009, S. 17 ff.)

Technik	Beleuchtungs-niveau	Straßen-breite	Anwendungsgebiet	Anzahl der Systeme <sup>23</sup>	Energieverbrauch (Mittel- bzw. Einzelwerte) [kWh/(km*a)] <sup>24</sup>	Erlaubter Maximalwert [kWh/(km*a)]	Energieeinsatz pro Lichtmenge (Mittelwert) [kWh/MI/mh]
Nicht-LED	5 Lux	5,5 m	Kleinere Sammelstraße, Anwohnerstraße; Geringes Verkehrsaufkommen	25	5.680	7.000	15
Nicht-LED	0,5 Cd/m <sup>2</sup>	5,5 m	Kleinere Sammelstraßen, Anwohnerstraßen; Mittleres Verkehrsaufkommen	4	7.270	8.000	14
Nicht-LED	1 Cd/m <sup>2</sup>	5,5 m	Kleinere Sammelstraßen, Anwohnerstraßen; Hohes Verkehrsaufkommen	1	6.520	8.000	14
LED	5 Lux	5,5 m	Kleinere Sammelstraße, Anwohnerstraße; Geringes Verkehrsaufkommen	12	4.880 / 1.290 / 960 / 960 / 6.160 / 5.680 / 1.120 / 3.340 / 2.150 / 2.120 / 2.850 / 6.800	7.000	
LED	0,5 Cd/m <sup>2</sup>	5,5 m	Kleinere Sammelstraßen, Anwohnerstraßen; Mittleres Verkehrsaufkommen	3	1.450 / 3.360 / 3.120	8.000	
LED	1 Cd/m <sup>2</sup>	5,5 m	Kleinere Sammelstraßen, Anwohnerstraßen; Hohes Verkehrsaufkommen	1	3.360	8.000	
Nicht-LED	5 Lux	6,5 m	Sammelstraßen, Anwohnerstraßen; Geringes Verkehrsaufkommen	28	5.820	9.000	14

<sup>23</sup> Weitere am Wettbewerb teilnehmende Systeme („Techniken“) mit von der vorgegebenen Beleuchtungssituation abweichenden Mastabständen bzw. Masthöhen sind hier ausgelassen.

<sup>24</sup> Bei LED keine Mittelwerte, stattdessen Angabe der einzelnen Werte, da im Bundeswettbewerb hierfür aufgrund zu großer Unterschiede keine Mittelwerte gebildet wurden.

Technik	Beleuchtungs-niveau	Straßen-breite	Anwendungsgebiet	Anzahl der Systeme <sup>23</sup>	Energieverbrauch (Mittel- bzw. Einzelwerte) [kWh/(km*a)] <sup>24</sup>	Erlaubter Maximalwert [kWh/(km*a)]	Energieeinsatz pro Lichtmenge (Mittelwert) [kWh/MI <sub>lh</sub> ]
Nicht-LED	0,5 Cd/m <sup>2</sup>	6,5 m	Sammelstraßen; Mittleres Verkehrsaufkommen	39	7.490	10.000	13
Nicht-LED	1 Cd/m <sup>2</sup>	6,5 m	Sammelstraßen; Hohes Verkehrsaufkommen	12	10.040	11.000	12
LED	5 Lux	6,5 m	Sammelstraßen, Anwohnerstraßen; Geringes Verkehrsaufkommen	11	6.600 / 1.610 / 6.160 / 3.270 / 4.460 / 5.930 / 3.710 / 3.590 / 2.240 / 2.910 / 3.690	9.000	
LED	0,5 Cd/m <sup>2</sup>	6,5 m	Sammelstraßen; Mittleres Verkehrsaufkommen	3	6.280 / 3.120 / 8.340	10.000	
LED	1 Cd/m <sup>2</sup>	6,5 m	Sammelstraßen; Hohes Verkehrsaufkommen	1	8.530	11.000	
Nicht-LED	5 Lux	7,5 m	Sammelstraßen; Geringes Verkehrsaufkommen	10	6.440	10.000	14
Nicht-LED	0,5 Cd/m <sup>2</sup>	7,5 m	Sammelstraßen; Mittleres Verkehrsaufkommen	30	7.330	12.000	14
Nicht-LED	1 Cd/m <sup>2</sup>	7,5 m	Sammelstraßen, Hauptverkehrsstraßen; Hohes Verkehrsaufkommen	21	13.050	16.000	12
LED	5 Lux	7,5 m	Sammelstraßen; Geringes Verkehrsaufkommen	7	9.000 / 1.800 / 1.490 / 5.860 / 4.920 / 7.874 / 3.130	10.000	
LED	0,5 Cd/m <sup>2</sup>	7,5 m	Sammelstraßen; Mittleres Verkehrsaufkommen	6	1.800 / 11.200 / 5.540 / 4.420 / 9.510 / 11.500	12.000	
LED	1 Cd/m <sup>2</sup>	7,5 m	Sammelstraßen, Hauptverkehrsstraßen; Hohes Verkehrsaufkommen	0		16.000	
Nicht-LED	5 Lux	14 m	Große Sammelstraße, Hauptverkehrsstraßen; Geringes Verkehrsaufkommen	2	8.215	12.000	13

Technik	Beleuchtungs-niveau	Straßen-breite	Anwendungsgebiet	Anzahl der Systeme <sup>23</sup>	Energieverbrauch (Mittel- bzw. Einzelwerte) [kWh/(km*a)] <sup>24</sup>	Erlaubter Maximalwert [kWh/(km*a)]	Energieeinsatz pro Lichtmenge (Mittelwert) [kWh/MI <sub>lh</sub> ]
Nicht-LED	0,5 Cd/m <sup>2</sup>	14 m	Große Sammelstraßen, Hauptverkehrsstraßen; Mittleres Verkehrsaufkommen	3	6.417	14.000	13
Nicht-LED	1 Cd/m <sup>2</sup>	14 m	Große Sammelstraßen, Hauptverkehrsstraßen; Mittleres bis hohes Verkehrsaufkommen	13	10.160	17.000	11
LED	5 Lux	14 m	Große Sammelstraße, Hauptverkehrsstraßen; Geringes Verkehrsaufkommen	5	1.540 / 6.640 / 8.430 / 10.380 / 5.920	12.000	
LED	0,5 Cd/m <sup>2</sup>	14 m	Große Sammelstraßen, Hauptverkehrsstraßen; Mittleres Verkehrsaufkommen	3	3.890 / 6.680 / 10.120	14.000	
LED	1 Cd/m <sup>2</sup>	14 m	Große Sammelstraßen, Hauptverkehrsstraßen; Mittleres bis hohes Verkehrsaufkommen	3	14.790 / 7.290 / 13.290	17.000	

In den GPP-Kriterien (sowohl „core“ als auch „comprehensive criteria“) findet sich neben einem Komponenten-Ansatz auch ein Systemansatz für neue Straßenbeleuchtungssysteme. Dieser sieht vor, dass – in Abhängigkeit von der Straßenklasse und der Lampenleistung – ein Indikator für die maximale Energieeffizienz, berechnet durch Teilung der durchschnittlichen Systemleistung durch die erforderliche Leuchtdichte der Fahrbahnoberfläche und den auszuleuchtenden Bereich, bestimmte Werte nicht übersteigt (vgl. Tabelle 11).

Tabelle 11 Systemeffizienz in den GPP-Kriterien

<b>Straßenklasse</b>	<b>Bereich</b>	<b>„Core criteria“</b>	<b>„Comprehensive criteria“</b>
ME/MEW-Klassen	Lampenleistung (W)	Indikator für maximale Energieeffizienz (W/cd/m <sup>2</sup> *m <sup>2</sup> )	Indikator für maximale Energieeffizienz (W/cd/m <sup>2</sup> *m <sup>2</sup> )
	W ≤ 55	0,974	0,824
	55 < W ≤ 155 155 < W	0,824 0,674	0,674 0,524
Andere Straßen	Erforderliche Beleuchtungsstärke (Lux)	Indikator für die maximale Energieeffizienz (W/lux*m <sup>2</sup> )	Indikator für die maximale Energieeffizienz (W/lux*m <sup>2</sup> )
	E ≤ 15 Lux E > 15 Lux	0,054 0,044	0,044 0,034

Der Systemgedanke findet sich des Weiteren bei der Weiterentwicklung der EN 13201. Die Normenreihe besteht bislang aus vier Teilen (Beleuchtungsklassen, Gütemerkmale, Berechnung der Gütemerkmale, Messmethoden). Derzeit ist ein Teil 5 in Arbeit, der sich mit Energieeffizienz befasst. Entsprechende Verfahren für die Messung der Energieeffizienz werden erarbeitet. Dabei stehen zwei verschiedene Bewertungsansätze zur Diskussion:

- „SLEEC-Faktor“<sup>25</sup>: Welche Energie ist erforderlich, eine bestimmte Fläche (m<sup>2</sup>) mit einer bestimmten Helligkeit zu beleuchten (lux). Die Einheit ist somit W/(lux x m<sup>2</sup>) = W/lm.
- Wirkungsgrad der Anwendung („application efficacy“): Wie viele „Straßen-Lumen“ lassen sich mit 1 Watt erzeugen. Die Einheit wäre lm/W.

Der SLEEC-Faktor ist bei einigen Herstellern bereits etabliert. Als Referenz bezieht er sich auf die Anforderungen an die Beleuchtungssituation, die in EN 13201 Teil 2 definiert sind bzw. auf andere Vorgaben für die Installation der Beleuchtungsanlagen. Die unterschiedlichen Beleuchtungsklassen finden somit Berücksichtigung.

Es ist nicht zu erwarten, dass EN 13201-5 vor Fertigstellung der Vergabegrundlage des Blauen Engel Straßenbeleuchtung fertig gestellt wird. Letztere kann folglich lediglich im Vorwort auf diese Entwicklung hinweisen und anregen, die Teilnorm bei einer Revision zu berücksichtigen. In der Zwischenzeit sollte die Beurteilung der Energieeffizienz der markt-

<sup>25</sup> SLEEC = Street Lighting Energy Efficiency Calculation

üblichen Bewertung bzw. den absehbaren Entwicklungen in der Normenentwicklung angelehnt sein.

### **4.3 Nachtabsenkung**

Neben der eigentlichen Energieeffizienz des Systems kann eine Absenkung der Beleuchtung während der nächtlichen Kernstunden (etwa zwischen 23 und 5 Uhr) durchgeführt werden, sofern diese die Sicherheit nicht beeinträchtigt und entsprechend dem Verkehrsaufkommen zugelassen ist. Dies kann, sofern möglich, durch eine Leistungsreduzierung (Dimmen) des Leuchtmittels oder bei zweiflamrigen Leuchten durch Abschaltung einer Lampe geschehen. Dadurch wird weiterhin eine gleichmäßige Beleuchtung gewährleistet und es wird ein beträchtlicher Anteil Strom eingespart. Eine Abschaltung jeder zweiten Leuchte oder eine vollständige Abschaltung der Beleuchtung ist hingegen nicht sinnvoll (FGL 2007, S. 9).

## **5 Qualitätsaspekte**

### **5.1 Sicherheit**

Das System Straßenbeleuchtung muss eine ausreichende Sicherheit sowohl in Bezug auf den Verkehr als auch das Sicherheitsempfinden insbesondere von Fußgängern gewährleisten (vgl. FGL 2007, S. 14 f.). Dies ist der wesentliche Zweck der Straßenbeleuchtung. Die Qualität der Straßenbeleuchtung muss umso höher sein, je höher das Sicherheitsrisiko für die Verkehrsteilnehmer ist. Dieses wird vor allem durch die Begegnung von Verkehrsteilnehmern unterschiedlicher Geschwindigkeit (zum Beispiel Fußgänger, Radfahrer, Kraftfahrzeuge) und die Kollisionsgefahr bestimmt. Weitere Kriterien, die die Güte Merkmale der Beleuchtung bestimmen, sind das Verkehrsaufkommen bei Nacht und die Gefährlichkeit von Störungen, die sich aus der Begegnung von Fußgängerverkehr und ruhendem Verkehr mit Fahrzeugen ergeben (Trilux 2005).

Zum Aspekt der Sicherheit gehört dazu, dass die Straße entsprechend dem Verkehrsaufkommen mindestens mit einer bestimmten Leuchtdichte bzw. Beleuchtungsstärke ausgeleuchtet sein. Dies ist gemäß EN 13201 festgelegt. Zudem muss die Beleuchtung gleichmäßig erfolgen. Des Weiteren ist es für die Verkehrsteilnehmer wichtig, dass sie von der Straßenbeleuchtung nicht geblendet werden. Diese Aspekte sind in der Lichtplanung zu berücksichtigen (vgl. FGL 2007, S. 4 f.).

## 5.2 Lebensdauer der Lampen und Leuchtmittel

Die Lebensdauer einer Lampe bzw. eines Leuchtmittels ist die Zeitspanne, über die eine Lampe bzw. ein Leuchtmittel betrieben wird, bevor sie/es unbrauchbar wird. Dabei ist das Ende der Lebensdauer nicht immer dadurch definiert, dass eine Lampe plötzlich kaputt geht – in manchen Fällen, beispielsweise bei LED, besteht das Ende der Lebensdauer vielmehr darin, dass die Lichtleistung zu stark abgenommen hat, also nur noch ein bestimmter Prozentsatz der ursprünglichen Lichtleistung erreicht wird (ausgedrückt als Lampenlichtstromerhalt).

Die Lebensdauer der Leuchtmittel hat erheblichen Einfluss auf die Lebenszykluskosten des Beleuchtungssystems. Dabei spielen neben den anfallenden Kosten für den Leuchtmittelersatz auch die Kosten für den Wartungsaufwand eine Rolle. Eine lange Lebensdauer ist somit vorteilhaft.

Die mittlere Lebensdauer ist definiert als das Zeitintervall, innerhalb dessen 50% der Lampen einer Lichtanlage, die unter genormten Bedingungen betrieben wird, ausgefallen sind (entspricht dem Erwartungswert für den Ausfall einer einzelnen Lampe). Da es bei der Straßenbeleuchtung nicht sinnvoll ist, die Leuchtmittel erst dann auszutauschen, wenn die Hälfte bereits ausgefallen ist, kommt in der Regel eine andere Größe zur Anwendung, die Nennlebensdauer. Diese ist die vom Hersteller veröffentlichte Lebensdauer unter Angabe des zu Grunde liegenden Schaltrhythmus und der Ausfallrate eines bestimmten Anteils (z. B. 12-Stunden-Schaltrhythmus und 10% Ausfall, in Kurzform 12B10 – vgl. Tabelle 12).

Bei den meisten Leuchtmitteln nimmt der Lichtstrom über die Nutzungsdauer mit der Zeit ab. Die Lebensdauer unter Berücksichtigung der Lichtstromabnahme wird als Nutz- oder Nutzungslebensdauer bezeichnet. Da LED in der Regel nicht „plötzlich“ ausfallen, wird bei ihnen die Lebensdauer vor allem auf die Abnahme des Lichtstroms unter einen bestimmten Wert bezogen. Betrachtet man ganze LED-Leuchten, können diese aufgrund der enthaltenen elektronischen Komponenten natürlich auch vollständig ausfallen. Für LED-Straßenleuchten wird die Lebensdauer daher oft als Dauer definiert, nach der noch 80% des ursprünglichen Lichtstroms erhalten sind und maximal 10% der Leuchten ausgefallen sind (Kurzform L80F10, vgl. Tabelle 12).

Bei Haushaltslampen spielt zudem die Anzahl der möglichen Schaltzyklen, bevor eine Lampe ausfällt, eine Rolle. Bei Straßenbeleuchtung ist dies jedoch aufgrund der Regelmäßigkeit der Schaltung, welche Eingang in die Normierung der Lebensdauerangaben gefunden hat, nicht von Bedeutung.

Tabelle 12 Nennlebensdauer verschiedener Lampenarten<sup>26</sup>

Lampenart	Vorschalt- gerät Art	Lampentyp/-sockel	Nennlebensdauer 12B10 (h)
<b>Stabförmige Leuchtstofflampen</b>			
Leuchtstofflampen 16 mm (T5)	EVG	14–80 W, 3-Banden-Leuchtstoff	20.000
Leuchtstofflampen 26 mm (T8)	EVG	18–58 W, 3-Banden-Leuchtstoff	16.000
	VVG	18–58 W, 3-Banden-Leuchtstoff	11.000
	VVG	18–58 W, Standard-Leuchtstoff	8.000
<b>Kompaktleuchtstofflampen</b>			
Kompaktleuchtstofflampene externes VG	EVG	Ein- und Dreirohrlampen 5-42 W, Sockel 2G7 und GX24q	8.500
	EVG	Zweirohrlampen 10-26 W, Sockel G24q	10.000
	VVG	Ein-, Zwei- und Dreirohrlampen 5-26 W, Sockel G23, G24d und GX24d	7.000
	EVG	18-80 W, Sockel 2G11	16.000
	VVG	18-36 W, Sockel 2G11	11.000
<b>Hochdruckentladungslampen</b>			
Natriumdampf- Hochdrucklampen	KVG	50/70 W	12.000
	KVG	150-400 W, Standardlichtstrom	16.000
	KVG	100-400 W, erhöhter Lichtstrom	18.000
Quecksilberdampf- Hochdrucklampen	KVG	50-1000 W, Standard	8.000
Halogen-Metall dampf- lampen	EVG	45-400 W	10.000-12.000
<b>LED</b>			<b>Lebensdauer L80F10 (h)</b>
LED-Modul	EVG	15-50 W	40.000-100.000 <sup>27</sup>

Weitere im Kontext der Ökodesign-Verordnungen für Lampen verwendete Definitionen von Begriffen, die mit der Lebensdauer in Verbindung stehen, sind:

- Lampenlebensdauerfaktor (oder Lampenüberlebensfaktor, Lamp Survival Factor – LSF): der Anteil der zu einem gegebenen Zeitpunkt unter bestimmten Bedingungen und bei bestimmter Schaltfrequenz noch funktionierenden Lampen an der Gesamtzahl der Lampen. (u. a. Verordnung (EU) 1194/2012).

<sup>26</sup> Quelle: ZVEI 2005, S. 3ff; eigene Ergänzungen bei Halogen-Metall dampflampen und LED. KVG = Konventionelles Vorschaltgerät; VVG = Verlustarmes konventionelles Vorschaltgerät; EVG = Elektronisches Vorschaltgerät

<sup>27</sup> Laut Herstellerangaben

- **Lampenlebensdauer:** die Betriebszeit, nach der der Anteil der noch funktionierenden Lampen an der Gesamtzahl der Lampen unter bestimmten Bedingungen und bei bestimmter Schaltfrequenz dem Lampenlebensdauerfaktor entspricht. Bei LED-Lampen bezeichnet die Lampenlebensdauer die Betriebszeit zwischen dem Beginn ihrer Nutzung und dem Zeitpunkt, zu dem nur 50% aller Lampen überleben, oder dem Zeitpunkt, zu dem der durchschnittliche Lichtstromerhalt des Loses weniger als 70% beträgt, je nachdem, was zuerst eintritt. (Verordnung (EU) 1194/2012).
- **Lampenlichtstromerhalt (Lamp Lumen Maintenance Factor, LLMF):** das Verhältnis zwischen dem von der Lampe zu einem gegebenen Zeitpunkt ihrer Lebensspanne ausgesendeten Lichtstrom und ihrem ursprünglichen Lichtstrom. (u. a. Verordnung (EU) 1194/2012).
- **Leuchtenlichtstromerhalt (Luminaire Maintenance Factor, LMF):** das Verhältnis zwischen dem Betriebswirkungsgrad einer Leuchte zu einem gegebenen Zeitpunkt und ihrem ursprünglichen Betriebswirkungsgrad. (Verordnung (EG) 245/2009).
- **Vorzeitiger Ausfall (oder Frühausfall):** Ereignis, das eintritt, wenn die Lampe das Ende ihrer Lebensdauer nach einer Betriebszeit erreicht, die kürzer ist als die in den technischen Unterlagen angegebene Bemessungslebensdauer. (Verordnung (EU) 1194/2012).

Vorhandene diesbezügliche Regelungen in den Ökodesign-Verordnungen bzw. in GPP-Kriterien sind in Tabelle 13 aufgezeigt.

Tabelle 13 Anforderungen mit Lebensdauerbezug in Ökodesign-Verordnungen und in EU-Kriterien zur öffentlichen Beschaffung von Straßenbeleuchtung

Instrument	Lampe			Leuchte
	Lampen-überlebensfaktor	Lampenlichtstromerhalt	Vorzeitige Ausfallrate	Leuchtenlichtstromerhalt
VO 245/2009 1. Stufe	nein	nein	nein	ja (unverbindliche Referenzwerte)
VO 245/2009 2. Stufe	ja	ja	nein	
VO 245/2009 3. Stufe	ja	ja	nein	
VO 1194/2012	ja	ja	ja	nein
GPP „core“	ja	ja	nein	nein
GPP „comprehensive“	ja	ja	nein	nein

### 5.3 Lichtfarbe und Farbtemperatur

Die Farbe des Lichts der Straßenbeleuchtung ist ein weiteres wichtiges Gütemerkmal. Einige in der Straßenbeleuchtung eingesetzte Leuchtmittel, insbesondere Natriumdampf-Niederdrucklampen, strahlen gelbes Licht ab. Die meisten Leuchtmittel strahlen weißes Licht ab, haben jedoch unterschiedliche Farbtemperaturen, welche in Kelvin (K) gemessen wird. Man

unterscheidet hier warmweißes (< 3.300 K), neutralweißes (3.300–5.300 K) und kaltweißes bzw. tageslichtweißes Licht (> 5.300 K).

Unterschiedliche Farbtemperaturen werden vom Menschen bezogen auf die jeweilige Beleuchtungssituation als mehr oder weniger angenehm empfunden. Beispielsweise in Wohnräumen bevorzugen die meisten Menschen warmweißes Licht. Licht mit hoher Farbtemperatur, welches größere Anteile blauen Lichts enthält und dem Tageslicht ähnelt, beeinflusst den circadianen Rhythmus des Menschen. Es sorgt dafür, dass das „Schlafhormon“ Melatonin unterdrückt wird und hält den Menschen aktiv. Nächtliche Beleuchtung mit hoher Farbtemperatur kann daher den ungünstigen Effekt haben, dass sie zu einer Uhrzeit aktivierend wirkt, zu der dies nicht gewünscht ist.

Jedoch reagieren nicht nur Menschen empfindlich auf Farbtemperaturen: Nächtliche Außenbeleuchtung zieht Insekten an, welche sich am Licht orientieren. Insekten, z. B. Nachtfalter, reagieren auf andere Spektralbereiche als der Mensch, nämlich insbesondere auf kurzwelliges Licht bis in den UV-Bereich hinein (Geiger et al. 2007), welches vom Menschen kaum als sichtbares Licht wahrgenommen wird und daher für Beleuchtungszwecke auch nicht effektiv ist. Aus Naturschutzsicht wird daher empfohlen, auf Leuchtmittel mit hoher Farbtemperatur und breitem Spektralbereich, wie beispielsweise Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, zu verzichten (Geiger et al. 2007; BUND o. J.).

Bei LED steht eine niedrige Farbtemperatur jedoch im Widerspruch zu einer möglichst hohen Energieeffizienz, da LED mit hoher Farbtemperatur grundsätzlich eine höhere Lichtausbeute haben als solche mit niedriger Farbtemperatur. Hier ist ein angemessener Kompromiss zwischen beiden Zielen zu finden.

Rechtliche Regelungen sowie die GPP-Kriterien schreiben derzeit keine Anforderungen für die Farbtemperatur von Straßenbeleuchtung vor.

## 5.4 Farbwiedergabe

Die Farbwiedergabe einer Lichtquelle ist „die Wirkung einer Lichtart auf das farbliche Aussehen von Gegenständen durch bewussten oder unterbewussten Vergleich mit ihrem farblichen Aussehen bei einer Bezugslichtart“<sup>28</sup>. Eine „gute“ Farbwiedergabe (Index nahe 100) ermöglicht also ein „natürliches“ Aussehen der beleuchteten Gegenstände.

Die europäische Verordnung für Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen und weitere Geräte<sup>29</sup> fordert für Leuchtstofflampen einen Farbwiedergabeindex von mindestens 80. Die EU-Verordnung für Lampen mit gebündeltem Licht, LED-Lampen und weitere Geräte<sup>30</sup> macht entsprechende Vorgaben für verschiedene

---

<sup>28</sup> Verordnung (EG) Nr. 245/2009

<sup>29</sup> ebd.

<sup>30</sup> Verordnung (EU) Nr. 1194/2012

Lampen. Hier müssen Kompaktleuchtstoff- und LED-Lampen einen Farbwiedergabeindex von mindestens 80 erreichen, es sei denn, sie sind für Außen- oder Industrieanwendungen bestimmt. In diesen Fällen reicht ein Farbwiedergabeindex von mindestens 65. Für Hochdruckentladungslampen sind in beiden Verordnungen keine Anforderungen an die Farbwiedergabe formuliert.

In den GPP-Kriterien werden die Energieeffizienz-Anforderungen nach Farbwiedergabe differenziert. Der Grund hierfür ist, dass bei einer guten Farbwiedergabe bei einigen Leuchtmitteln Abstriche bei der Lichtausbeute gemacht werden müssen. So wird beispielsweise bei Halogen-Metall dampflampen nach Lampen mit einem Farbwiedergabeindex von unter 80 und solchen mit mindestens 80 unterschieden; für letztere ist eine etwas geringere Lichtausbeute „erlaubt“ (vgl. GPP 2012). Hierdurch soll vermieden werden, dass für Straßen, in denen eine besonders gute Farbwiedergabe gewünscht wird, gar keine Lampen die Kriterien erfüllen können.

## 5.5 Schutzart

Die „Schutzart“ (bzw. nach Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der „Schutzgrad“) einer Leuchte beschreibt, wie sehr das enthaltene Leuchtmittel gegenüber dem Eindringen von Staub, Insekten und Feuchtigkeit geschützt ist (vgl. Trilux 2005, S. 26, FGL 2008, S. 40 f.). Zur Kennzeichnung der Schutzart wird das IP-Nummern-System („Ingress Protection“) verwendet. Die erste Kennziffer hinter dem Kürzel IP beschreibt den Schutz vor Fremdkörpern, die zweite Ziffer den Wasserschutz. Je höher die Kennziffer, desto höher der Schutz. Die Skala reicht von IP 11 bis IP 66.

## 6 Weitere Umweltaspekte

### 6.1 „Lichtverschmutzung“

Der Begriff der „Lichtverschmutzung“ ist nicht gerade ein besonders treffender Fachausdruck, hat sich aber dennoch als Bezeichnung für das verbreitete Problem der unerwünschten Lichtabstrahlung durchgesetzt (auch: Lichtimmissionen, Lichtsmog, Abfalllicht). Diese Lichtabstrahlung kann die Gesundheit des Menschen beeinträchtigen, wenn das Licht z. B. in Wohnungen fällt und den Tag-Nacht-Rhythmus beeinflusst (vgl. Abschnitt 5.3), und auch das ästhetische Empfinden, beispielsweise wenn der Himmel über städtischen Ballungsräumen so hell erleuchtet ist, dass keine Sterne mehr zu sehen sind. Außerdem stört nächtliche Beleuchtung nachtaktive Tiere, Vögel und insbesondere Insekten. Sie wirkt auf viele Organismen wie eine Verlängerung des Tages und kann daher hormonelle Verände-

runger herbeiführen. Einzelne helle und weit strahlende Lichtpunkte können zu Desorientierung führen (DG ENV 2011, S. 28 f., FGL 2008, S. 58, FGL 2007, S. 12).

Die unnötige Abstrahlung über die zu beleuchtende Fläche hinaus ist daher so weit es geht zu verringern. Dies kommt auch dem Ziel der Energieeffizienz der Beleuchtung zugute. Eine Reihe möglicher Maßnahmen stehen hierfür zur Verfügung:

- Verringerung der Abstrahlung in den oberen Halbraum: Leuchten, die Licht in alle Richtungen abstrahlen (Kugelleuchten), sollten vermieden werden. Die Verordnung (EG) Nr. 245/2009 enthält Referenzwerte für den maximalen Anteil des oberhalb der Horizontalen abgestrahlten Lichts („ULR“) <sup>31</sup>, welcher von der Straßenklasse abhängt und desto geringer sein muss je höher der Lichtstrom der Lichtquelle ist (zwischen 3% und 20%). Darüber hinaus stellt die Verordnung als Referenzpunkt fest: „In Gebieten, in denen die Lichtverschmutzung besorgniserregende Ausmaße annimmt, wird unabhängig von der Beleuchtungskategorie und der Lichtleistung höchstens 1% des Lichts oberhalb der Horizontalen abgestrahlt.“ In ähnlicher Weise definieren die GPP-Kriterien maximale ULR-Werte für bestimmte Straßenklassen. Entsprechende Messmethoden und Bewertungskriterien wurden von verschiedenen Fachgremien entwickelt (vgl. FGL 2008, S. 58, FGL 2007, S. 12, DG ENV 2011, S. 28 f.).
- Aufstellhöhe verringern: Sofern möglich und der Sicherheit nicht abträglich kann die Aufstellhöhe von Leuchten verringert werden, sodass das Licht weniger weit abgestrahlt wird (Geiger et al. 2007).
- Anstrahlen von Gebäuden und ähnlichem zu repräsentativen Zwecken (z. B. Schlossruinen) oder Reklametafeln verringern, insbesondere wenn diese sich in einer ansonsten nachtdunklen Umgebung befinden (Geiger et al. 2007).
- Nachtabenkung der Beleuchtung durchführen, wenn möglich und der Sicherheit nicht abträglich.

Zu beachten ist hierbei, dass bestimmte Parameter, beispielsweise das in den oberen Halbraum abgestrahlte Licht, sich zwar an der Leuchte festmachen lassen. Jedoch spielt auch die Installation eine Rolle, beispielsweise wenn eine Leuchte mit geringem ULR-Wert so installiert wird, dass sie doch einen großen Teil des Lichts nach oben abstrahlt.

## 6.2 Insektenfreundlichkeit

Auf die Wirkungen der Beleuchtung auf Insekten wurde bereits in vorangegangenen Abschnitten eingegangen (vgl. 5.3, 5.5, 6.1). An dieser Stelle sollen noch einmal die Parameter zusammengefasst werden, die für die Insektenfreundlichkeit der Beleuchtung eine Rolle spielen. Nachts betriebene Leuchten locken Insekten an und können ihre Fortpflanzung

---

<sup>31</sup> ULR: Upward light ratio

beeinträchtigen bzw. zur tödlichen Falle werden, wenn sie nicht dicht genug sind oder das Leuchtmittel für die Insekten erreichbar ist, sodass sie ggf. verbrennen. Negativ wirken sich ein breites Spektrum des Leuchtmittels, eine hohe Farbtemperatur sowie in weite Entfernungen abgestrahltes Licht aus. Insbesondere in naturnahen Gebieten ist daher darauf zu achten, dass negative Wirkungen der Straßenbeleuchtung auf Insekten soweit wie möglich verringert werden. Es besteht jedoch noch Forschungsbedarf bezüglich der genauen Effekte von Straßenbeleuchtung auf Insekten, sonstige Fauna und die Vegetation (BUND o. J.)

## 7 Konsumtrends

Wie bereits erwähnt (vgl. Abschnitte 2.3, 2.4, 3) besteht ein hoher Bedarf zur Erneuerung bestehender Straßenbeleuchtungsanlagen in Deutschland, während Neuinstallationen eher eine geringe Anzahl an Fällen ausmachen.

Welche Technologien bevorzugt von den Kommunen angesichts ihrer schlechten finanziellen Situation erworben werden, wird sich noch zeigen müssen. Prognosen gehen davon aus, dass der Anteil an LED-Beleuchtung in der Außenbeleuchtung stark ansteigen wird (vgl. Abschnitt 3).

## 8 Nutzenanalyse

Der Nutzen der Straßenbeleuchtung ergibt sich im Wesentlichen aus ihrer Aufgabe, die Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer und Kraftfahrer) in den Dunkelstunden vor Schaden an Leib, Leben und Gesundheit zu schützen (vgl. EN 13 201). Ausreichende Helligkeit im Straßenverkehr hilft durch das rechtzeitige Erkennen von Personen, Hindernissen und Gefahrenquellen auf oder an der Fahrbahn, die Zahl sowie die Schwere von Verkehrsunfällen bei Dunkelheit zu reduzieren. Weiterhin dient hinreichende Beleuchtung der Prävention von Kriminalität (z. B. Übergriffe auf Personen oder Einbruchsdelikte).

Ein weiterer Nutzen der Beleuchtung kann die Orientierung innerhalb einer Stadt sein, etwa durch die gezielte Beleuchtung von hohen Gebäuden, Kirchen, Stadttoren und Brücken. In ähnlicher Weise kann es einen ästhetischen Nutzen geben wenn Gebäude oder ähnliches angestrahlt werden. Dies sind jedoch eher Effekte, die in Bezug auf die allgemeine Außenbeleuchtung eine Rolle spielen; für die Straßenbeleuchtung steht die Anforderung, die Sicherheit zu gewährleisten, im Vordergrund (vgl. auch Abschnitt 5.1).

## Teil II

Anhand der orientierenden Ökobilanz sowie der Analyse der Lebenszykluskosten soll ein Eindruck über Umweltauswirkungen und Lebenszykluskosten von Produkten der Straßenbeleuchtung ermittelt werden. Die Ergebnisse bieten eine Orientierungshilfe zur Frage, wo die Verbesserungspotenziale in dieser Produktgruppe liegen. Für Produkte für die Straßenbeleuchtung liegen ökobilanzartige Analysen vor (vgl. DG ENV 2011; Hartley et al. 2009; van Tichelen et al. 2007), welche als Quellen für die folgenden Ausführungen dienen, jedoch keine vollständigen Ökobilanzen.

## 9 Orientierende Lebenszyklusanalyse

### 9.1 Funktionelle Einheit

Gemäß DIN EN ISO 14040 / 14044 sollte in Ökobilanzen die funktionelle Einheit über den Nutzen des Produktes definiert werden. Der Nutzen der Straßenbeleuchtung ist die ausreichende Beleuchtung einer Fläche, also beispielsweise eines Straßenabschnittes (s.o.). Was dabei als „ausreichende“ Beleuchtung gilt, ist in EN 13201 definiert. Eine Ökobilanz, die den Einsatz verschiedener Technologien vergleichen möchte, könnte als funktionelle Einheit folglich z. B. „ein Kilometer normgerecht ausgeleuchtete Straße“ festlegen.

Um eine solche Ökobilanz durchführen zu können, bedarf es jedoch zahlreicher Festlegungen und Annahmen. Insbesondere sind folgende zu nennen:

- welche Straßengeometrie ist vorgegeben (z. B. Breite)?
- welche Beleuchtungsklasse ist erforderlich? Ist diese durchgängig gleich oder kann in bestimmten Zeiten (z. B. von 23:00 bis 5:00 Uhr) die Beleuchtung reduziert werden?
- Sind Vorgaben der Mastabstände und der Höhe der Lichtpunkte zu beachten?
- Bestehen Anforderungen an die Lichtfarbe?
- Bestehen Anforderungen an die Ästhetik der Leuchte? (z. B. dekorative Leuchte für Fußgängerzone)
- Sollen neben der Straße weitere Bereiche ausgeleuchtet werden? Wenn ja, in welchem Umfang? (z. B. Gebäude in Wohngebieten; Randgebiete um Radwege in Parks).<sup>32</sup>

---

<sup>32</sup> Insbesondere mit LED lässt sich Licht sehr gezielt auf die Straße lenken. In der Folge können die Randzonen – auch einer normgerecht beleuchteten Straße – als zu dunkel empfunden werden.

- Gibt es Vorgaben bezüglich der Wartung der Beleuchtungsanlage? (z. B. möglichst selten Leuchtmittel wechseln, da Leuchtenköpfe schwer erreichbar.)

Versucht man nun, das gesamte Spektrum der potenziellen Antworten auf die oben genannten Fragen zu berücksichtigen, ergibt sich folglich ein sehr komplexes Bild, das sich nicht in einer einzigen Ökobilanz abbilden lässt. Vielmehr müssten eine Vielzahl von Ökobilanzen für spezifische Fälle angefertigt werden. Die vorliegenden ökobilanzierenden Betrachtungen setzen daher nicht bei der Systemebene, sondern bei den verschiedenen Komponenten (insbesondere bei den Leuchtmitteln) an, die im System zum Einsatz kommen können. Die folgenden Ausführungen stellen daher ebenfalls die Leuchtmittel in den Mittelpunkt.

## 9.2 Lebenszyklus

### 9.2.1 Herstellung

Laut der Ökodesign-Vorstudie zu Straßenbeleuchtung sind die durch die Lampenherstellung entstehenden Umweltwirkungen im Vergleich zu anderen Lebenszyklusphasen in Bezug auf die meisten Wirkungskategorien zu vernachlässigen (vgl. van Tichelen et al. 2007, S. 165 ff.)<sup>33</sup>. Betrachtet wurden hier je nach Einsatzbereich Natriumdampf- und Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, Metallhalogendampflampen, Kompaktleuchtstofflampen und Natriumdampf-Niederdrucklampen. Problematisch ist jedoch der Gehalt an giftigen Substanzen, insbesondere Quecksilber. Der Quecksilbergehalt in Gasentladungslampen konnte durch technische Verbesserungen in den letzten Jahren reduziert werden ohne die Lebensdauer oder Lichtausbeute der Lampen zu beeinträchtigen. In keramischen Metallhalogendampflampen sind etwa 1-5 mg Quecksilber enthalten, in Natriumdampf-Hochdrucklampen etwa 12-30 mg (DG ENV 2011, S. 19).

Verlässliche Analysen der Herstellungsphase von LED-Straßenleuchten liegen nicht vor<sup>34</sup>. Es kann jedoch in Analogie zu entsprechenden Analysen für Haushaltslampen davon ausgegangen werden, dass auch hier die Herstellung eines einzelnen LED-Moduls und weiterer Verbindungsteile etc. mit einem höheren Energieaufwand verbunden ist als die Herstellung z. B. einer Gasentladungslampe für die Straßenbeleuchtung. Der erhöhte Herstellungsaufwand dürfte jedoch regelmäßig durch die längere Lebensdauer wettgemacht werden (vgl. Osram 2009). Zudem ist hervorzuheben, dass LED-Leuchten kein Quecksilber enthalten.

Die Vorschaltgeräte und Leuchten sind durchschnittlich etwa je zur Hälfte aus Metallen und aus Plastik. Die Nutzung verschiedener Materialien für Leuchten und der Materialeinsatz für

<sup>33</sup> Dort sind Herstellung und Entsorgung zusammengefasst.

<sup>34</sup> Die Studie von Hartley et al. (2009) macht fragwürdige Annahmen für die modellierte LED-Straßenleuchte, weshalb unklar ist, inwieweit die Ergebnisse der Realität nahekommen.

verschiedene Arten von Vorschaltgeräten kann zu recht unterschiedlichen Auswirkungen der Herstellungsphase dieser Komponenten führen (DG ENV 2011, S. 19-20). Bei Leuchten steigen die Auswirkungen der Herstellungsphase in Abhängigkeit vom Gewicht der Leuchte (van Tichelen et al. 2007, S. 162). Informationen über die Herstellungsphase moderner Vorschaltgeräte liegen kaum vor. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei einem Vergleich verschiedener Leuchtmittel ähnliche Vorschaltgeräte zu deren Betrieb gewählt werden können, sodass die Auswirkungen des Vorschaltgeräts nicht an die Wahl des Leuchtmittels gekoppelt sind (Hartley et al. 2009, S. 18).

### **9.2.2 Nutzung**

Während der Nutzungsphase der Straßenbeleuchtung entstehen Umweltwirkungen vor allem durch die Erzeugung des für den Betrieb der Leuchten benötigten Stroms. Diese überwiegen in der Regel für die meisten Wirkungskategorien die Auswirkungen während anderer Lebenszyklusphasen deutlich (vgl. van Tichelen et al. 2007, S. 18; Hartley et al. 2009, S. 44). Üblicherweise wird eine Beleuchtungsdauer von durchschnittlich 11 Stunden täglich angesetzt, das entspricht rund 4.000 Betriebsstunden im Jahr.

Weitere während der Nutzung anfallende Umweltwirkungen entstehen durch den zyklischen Ersatz der Leuchtmittel (vgl. Herstellung) und die Wartung (einschl. entsprechender Transportvorgänge).

### **9.2.3 Entsorgung**

Lampen und Leuchten zur Straßenbeleuchtung (einschl. der Vorschaltgeräte) müssen nach Ende der Nutzungsdauer nach der WEEE-Richtlinie gesammelt und gesondert behandelt werden. Einige Komponenten können mit geringem Aufwand getrennt und recycelt werden, z. B. größere Glas-, Plastik- und Metallteile (DG ENV 2011, S. 30). Quecksilber aus Gasentladungslampen wird, sofern diese getrennt gesammelt werden, durch spezielle Behandlung entfernt und als Sondermüll entsorgt (Sander et al., noch unveröff.).

## **9.3 Betrachtete Wirkungskategorien**

Auch eine wissenschaftlich korrekt durchgeführte Ökobilanz kann potenzielle Umweltwirkungen nur bis zur Bewertung bezüglich der Wirkungskategorien zusammenfassen. Es obliegt letztlich dem Auftraggeber der Studie bzw. dem Leser, eine Abwägung zwischen den Wirkungskategorien vorzunehmen. Beispielsweise kann ein Leuchtmittel zwar energieeffizienter sein und somit in der Wirkungskategorie „Treibhauseffekt“ positiv abschneiden, gleichzeitig aber aufgrund seines Quecksilbergehaltes in den Wirkungskategorien „Ökotoxizität“ nachteilig gegenüber einem Referenzsystem sein. Die Bewertung, ob der einen oder der anderen Wirkungskategorie mehr Gewicht beizumessen ist, kann wissenschaftlich nicht entschieden werden. In ähnlicher Weise stehen zumindest bei LED eine aus ästhe-

tischen, gesundheitlichen und ökologischen Gründen erwünschte niedrige Farbtemperatur und eine möglichst hohe Energieeffizienz zueinander im Gegensatz.

Leider liegen keine normgerechten Ökobilanzen für Straßenbeleuchtung vor, auf deren Grundlage sich die Auswirkungen über verschiedene Wirkungskategorien darstellen ließen. Daher wird in Tabelle 14 nur kurz das Ergebnis aus Hartley et al. (2009) bezüglich des globalen Treibhauspotenzials zusammengefasst (Erläuterungen zu dieser Wirkungskategorie siehe Anhang). Angenommen wurde dort ein durchschnittlicher US-amerikanischer Strommix.

Tabelle 14 Ergebnisse verschiedener Leuchtmittel zum Treibhauspotenzial (GWP in Mio. kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) (nach Hartley et al. 2009)

Leuchtmittel	Herstellung	Nutzung (nur Elektrizität)	Summe
Natriumdampf	1	430	431
Metallhalogen	5	480	485
Induktion	6	310	316
LED	5 (Spannweite: 1-10)	300	305

## 10 Analyse der Lebenszykluskosten

In der vorliegenden Studie werden die Kosten aus Sicht der Kommunen berechnet. Wie in Abschnitt 2.5 beschrieben, sind verschiedene Ausgangssituationen möglich, die zu teilweise sehr unterschiedlichen Kosten führen. Hier wird, da dies den größten Anteil am Bedarf für Straßenbeleuchtung ausmacht, von einer Erneuerung bestehender Lichtpunkte ausgegangen. Da grundsätzlich die Optimierung des gesamten Straßenbeleuchtungssystems auf Energieeffizienz der Optimierung einzelner Lichtpunkte überlegen ist, sind die folgenden Berechnungen daher nur als beispielhaft zu verstehen.

Die Deutsche Energie-Agentur (dena) stellt im Internet einen einfachen Lebenszykluskosten-Rechner bereit, der verschiedene Technologien für die Straßenbeleuchtung vergleicht.<sup>35</sup> Dieser geht von einer bestehenden Anlage von zehn mit Quecksilberdampf-Hochdrucklampen ausgerüsteten Straßenleuchten aus und vergleicht die Kosten für deren Weiterbetrieb mit der Umrüstung auf andere Technologien. Vorgeschlagen werden als energieeffiziente Alternativen LED, Natriumdampf-Hochdrucklampen und Metallhalogendampflampen. Die Energieeffizienz der Vorschaltgeräte wird nicht betrachtet. Dieser (vereinfachte) Lebenszykluskostenrechner wurde entsprechend der in Teil I zusammengetragenen Informationen angepasst und für die folgende Rechnung verwendet.

<sup>35</sup> Dena 2012, siehe Unter-Seite <http://www.lotse-strassenbeleuchtung.de/planung-finanzierung/massnahmenbewertung-nach-lebenszykluskosten.html?noMobile=1>

## 10.1 Annahmen für die Lebenszykluskostenanalyse

Berücksichtigt werden folgende Kostenarten:

- Investitionskosten (eventuelle Kosten für die Anschaffung und Installation neuer Leuchten/Leuchtmittel),
- Betriebs- und Unterhaltskosten:
  - Stromkosten,
  - regelmäßiger Ersatz der Leuchtmittel,
  - Wartungskosten.

Entsorgungskosten werden nicht veranschlagt, da keine besonderen Entsorgungskosten anfallen dürften, die über die Kosten der Wartung und damit einhergehende Entfernung ausgedienter Leuchtmittel hinausgehen.

Die Kosten der Anlage werden über 20 Jahre berechnet, der Strompreis mit 0,15 €/kWh veranschlagt. Eine jährliche Strompreissteigerung von 4% ist vorgesehen. Eine Nachtabsenkung der Beleuchtung wurde nicht vorgesehen. Weitere Spezifikationen der einzelnen Technologien sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15 Spezifikationen der verschiedenen in der Lebenszykluskostenberechnung betrachteten Technologien

Technologie	LED	Natrium-dampf	Metall-halogen	Quecksilber-dampf
Leistung in Watt	40	41	42	125
Anzahl Lichtpunkte	10			
Lampen (bzw. Modul) pro Lichtpunkt	1			
Durchschnittliche Betriebsstunden pro Nacht	11 (entspricht rund 4.000 Std./Jahr)			
Einmalige Anschaffungs- und Installationskosten pro Lichtpunkt (€)	500	300	350	0
Kosten pro Wartung u. Lichtpunkt (€)	30	30	30	30
Kosten Leuchtmittel pro Wartung u. Lichtpunkt (€)	150	20	30	10
Wartungsintervall in Jahren	12	4	4	2

## 10.2 Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse der Berechnung unter den oben gemachten Annahmen. Der Amortisationszeitpunkt gegenüber der Bestandsanlage liegt bei sechs bis acht Jahren. Die LED-Anlage ist hier auch langfristig noch etwas teurer als energieeffiziente Vergleichsanlagen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen dass es sich hier nur um eine sehr einfache

Beispielrechnung handelt, die nicht die eigentlich zu beachtenden im Abschnitt 9.1 aufgelisteten Begebenheiten berücksichtigt.

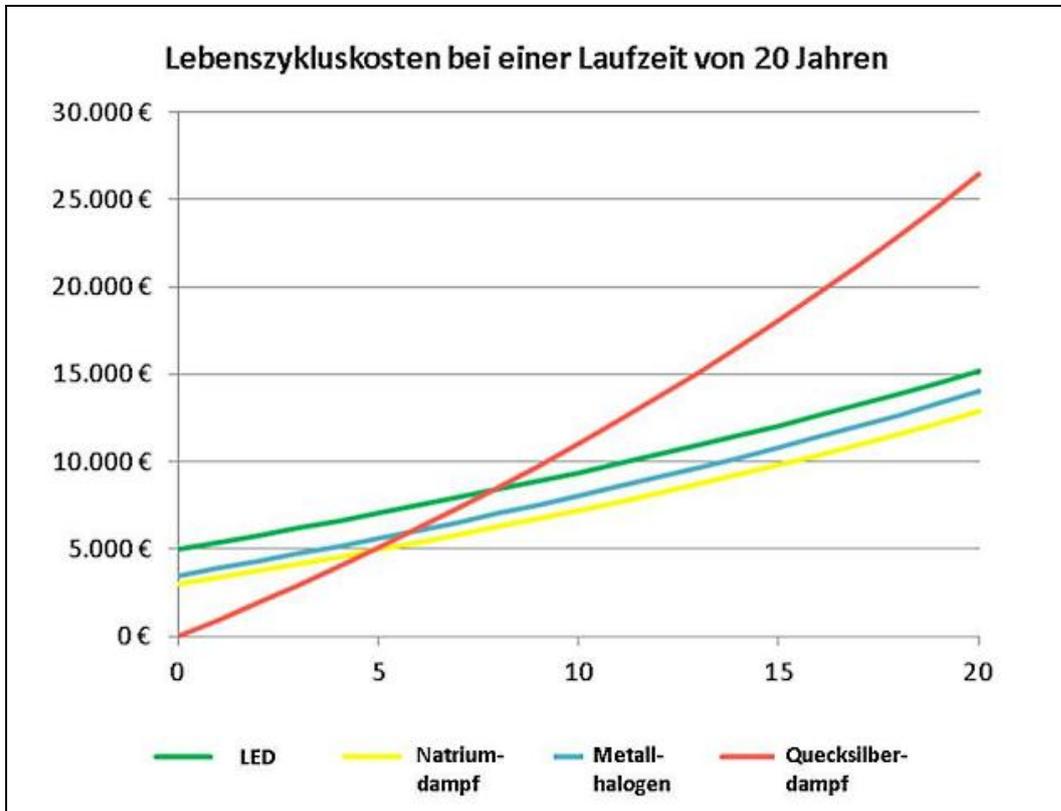


Abbildung 4 Vereinfachte Beispielrechnung für Lebenszykluskosten verschiedener Straßenbeleuchtungsanlagen

## Teil III

### 11 Ableitung der Anforderungen an ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen

#### 11.1 Geltungsbereich

Zunächst ist der Geltungsbereich der Vergabegrundlage festzulegen. Hierfür kommen verschiedene Möglichkeiten in Frage:

- Nur Leuchtmittel,
- Leuchtmittel und Vorschaltgeräte,
- gesamte Leuchte einschließlich Leuchtmittel und Vorschaltgerät,
- Betrachtung der normgerecht beleuchteten Straße (z. B. eines Straßenabschnitts oder eines Quadratmeters Straße) – „Systemansatz“.

Nur die Leuchtmittel zu betrachten wäre nicht zielführend, da auch bei den Vorschaltgeräten bedeutende Unterschiede in der Energieeffizienz bestehen. Die Ökodesign-Verordnung zu gewerblicher Beleuchtung fokussiert die Leuchtmittel und Vorschaltgeräte und stellt darüber hinaus einige Anforderungen für bestimmte Leuchten auf. Letztere sind jedoch darauf begrenzt, dass die Leuchte keinen zusätzlichen Stromverbrauch verursachen darf sowie mit bestimmten Vorschaltgeräten kompatibel sein muss. Ein naheliegender Vorschlag im Sinne der Harmonisierung wäre daher, vor allem Lampen und Vorschaltgeräte zu betrachten. Ein Argument, bei einem Blauen Engel für Straßenbeleuchtung den Geltungsbereich auf die Leuchte auszudehnen, ist jedoch folgendes: Zwar können auch energieeffiziente Leuchtmittel in bestehende Leuchten eingesetzt werden. Der Einspareffekt ist jedoch wesentlich geringer als der bei Austausch der gesamten Leuchte. Es wird daher von Experten stets empfohlen, die gesamte Leuchte zu ersetzen.<sup>36</sup>

Jedoch können auch für die Energieeffizienz optimierte Leuchten so eingesetzt werden, dass sie bezogen auf das gewünschte Ergebnis ineffizient sind, nämlich dann wenn sie beispielsweise Licht über den anzustrahlenden Bereich hinaus abstrahlen (z. B. in Vorgärten) oder ein unnötig hohes Beleuchtungsniveau produzieren, oder weil die Mastabstände nicht angemessen gewählt wurden. Der einzig sinnvolle Bezugspunkt für die Energieeffizienz der Straßenbeleuchtung ist daher die individuelle Beleuchtungssituation, d. h. die normgerecht beleuchtete Straße („Systemansatz“).

---

<sup>36</sup> Siehe z. B. [www.esoli.org](http://www.esoli.org)

Neben der höheren Energieeffizienz ist in der Straßenbeleuchtung die reduzierte „Lichtverschmutzung“ ein sinnvolles Umweltziel. Zwar können bereits Anforderungen an die Leuchten (sog. „Full-Cut-Off-Leuchten“) der Vermeidung von Lichtverschmutzung dienlich sein. Werden diese Leuchten jedoch in ungünstigen Aufstellwinkeln angebracht, führt dies nicht zur erwünschten Minimierung. Lichtverschmutzung lässt sich folglich nur mit dem Systemansatz effektiv adressieren.

Der Geltungsbereich für den Blauen Engel umfasst daher Anlagen zur Straßenbeleuchtung. Einzelne Anforderungen, die Eigenschaften einzelner Komponenten betreffen, können sich auf die jeweilige Komponente innerhalb dieser Anlagen beziehen – beispielsweise wenn es um die Farbtemperatur der Leuchtmittel oder den Schutzgrad der Leuchte geht.

Es wird darauf verzichtet, grundsätzlich bestimmte Technologien aus dem Geltungsbereich der Vergabegrundlage auszuschließen. Die Energieeffizienzkriterien sorgen jedoch dafür, dass nur bestimmte Leuchtmittel den Anforderungen genügen können.

Eine Einschränkung findet jedoch bei den Beleuchtungsklassen statt. Nach EN 13201-2 gibt es sechs verschiedene Gruppen von Straßenklassen. Die meisten Straßen in Deutschland sind den ME-, CE- und S-Klassen zuzuordnen. Die weiteren Klassen spielen eine sehr untergeordnete Rolle, weshalb diese vom Geltungsbereich ausgeschlossen sind.

## 11.2 Anforderungen an die Anlage

Zunächst muss die Straße gemäß DIN EN 13201 klassifiziert werden, damit die erforderliche Leuchtdichte bzw. Beleuchtungsstärke zugeordnet werden kann. Danach ergibt sich der grundsätzliche für den Blauen Engel zugelassene maximale Energiebedarf (in Wh/m<sup>2</sup> pro Jahr).

Darüber hinaus sind folgende Parameter zu berücksichtigen, die den zugelassenen Energiebedarfswert beeinflussen:

- Bestandsnachrüstung oder Neuinstallation: bei einer Neuinstallation ist ein um 10% geringerer Energiebedarfswert vorgesehen, da die Lichtplanung hier im Gegensatz zu einer Nachrüstung optimieren kann.
- Technische oder dekorative Leuchte: damit auch Anlagen, die dekorative Leuchten einsetzen, den Blauen Engel erhalten können, sind die Energiebedarfswerte für diese um 25% erhöht.
- Nachtabsenkung: „rutscht“ die Anlage in den nächtlichen Kernstunden aufgrund geringeren Verkehrsaufkommens in eine andere Straßenklasse und wird dann eine Nachtabsenkung durchgeführt, ist der Energiebedarfswert entsprechend anteilig für die verschiedenen Straßenklassen zu berechnen.

## **11.3 Anforderungen an die Komponenten**

### **11.3.1 Vorwegnahme zukünftiger Ökodesign-Anforderungen**

Die Ökodesign-Verordnung (EG) Nr. 245/2009 stellt stufenweise Anforderungen an einige Komponenten von Straßenbeleuchtungsanlagen. Die derzeit letzte Stufe, also diejenige mit den strengsten Ökodesign-Anforderungen, gilt ab April 2017. Sofern Komponenten, die in den Geltungsbereich der Verordnung fallen, zur Verwendung in der Anlage vorgesehen sind, sollen sie die Anforderungen, die sie ab 2017 ohnehin erfüllen müssen, bereits jetzt erfüllen.

### **11.3.2 Farbtemperatur**

Maximale Werte für die Farbtemperatur sollen sicherstellen, dass negative Auswirkungen des Lichts auf Mensch und Umwelt möglichst gering sind. Hier wird zwischen dekorativen Leuchten, die v. a. in Wohngebieten eingesetzt werden, und technischen Leuchten unterschieden. Für letztere ist mit dem Ziel einer möglichst hohen Energieeffizienz eine etwas höhere Farbtemperatur zugelassen.

### **11.3.3 Anteil des nach oben abgestrahlten Lichts**

Um Lichtverschmutzung zu vermeiden, sollte nach Installation der Leuchten kein Licht in den oberen Halbraum abgestrahlt werden (ULR = 0%).

### **11.3.4 Schutz gegen Schmutz und Feuchtigkeit**

Damit der Wartungsaufwand gering ist, die Leuchte möglichst wenig verschmutzt und Insekten nicht in die Leuchte eindringen können, sollte sie einen hohen Schutzgrad aufweisen (IP 65).

### **11.3.5 Verfügbarkeit von Ersatzteilen**

Die Modularität der Leuchten sowie die Verfügbarkeit von Ersatzteilen für einen ausreichenden Zeitraum sind sicherzustellen, damit Rohstoffe geschont werden und nicht bei Ausfällen einzelner Teile ganze Leuchten ausgetauscht werden müssen.

## **11.4 Ableitung einer Vergabegrundlage**

Die Bedingungen zur Nutzung eines Umweltzeichens für Straßenbeleuchtung sind in einer Vergabegrundlage dokumentiert, die auf Grundlage der durchgeführten Untersuchung und der abgeleiteten Vergabekriterien erarbeitet wurde. Diese Vergabegrundlage enthält die Produktdefinition (Geltungsbereich), die verschiedenen Anforderungen an das Produkt mit den zu erbringenden Nachweisen, die formalen Bedingungen zur Zeichennutzung und einen Mustervertrag, den interessierte Zeichennehmer mit der Zeichenvergabestelle abschließen

müssen, bevor sie das Umweltzeichen benutzen dürfen. Der Entwurf einer Vergabegrundlage „Straßenbeleuchtung“ befindet sich im Anhang II dieser Studie.

## 12 Literatur und weitere Quellen

- |                     |   |
|---------------------|---|
| BMU et al. 2009     | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU); Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW); Umweltbundesamt (UBA); Bundeswettbewerb Energieeffiziente Stadtbeleuchtung: Sammlung energieeffizienter Techniken für die Stadtbeleuchtung. Stand: 11. Februar 2009  |
| BUND o. J.          | Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Landesverband Schleswig-Holstein; Insektenfreundliche Beleuchtung. Faltblatt, ohne Jahresangabe   |
| Dena 2012           | Webseite der Deutschen Energie-Agentur (dena); Lotse energieeffiziente Straßenbeleuchtung,<br><a href="http://www.lotse-strassenbeleuchtung.de/planung-finanzierung/vorhandene-und-verfuegbare-technologien.html">http://www.lotse-strassenbeleuchtung.de/planung-finanzierung/vorhandene-und-verfuegbare-technologien.html</a> |
| DG ENV 2011         | European Commission, DG Environment: Green Public Procurement Street Lighting and Traffic Lights Technical Background Report; Brussels 2011   |
| FGL 2007            | Fördergemeinschaft Gutes Licht (FGL); Straßen, Wege, Plätze, licht.wissen 03; Frankfurt a. M. 2007  |
| FGL 2008            | Fördergemeinschaft Gutes Licht (FGL); Die Beleuchtung mit künstlichem Licht, licht.wissen 01; Frankfurt a. M. 2008  |
| FGL 2010            | Fördergemeinschaft Gutes Licht (FGL); LED: Das Licht der Zukunft, licht.wissen 17, Frankfurt a. M. 2010   |
| Geiger et al. 2007  | Geiger, A.; Kiel, E.-F.; Woike, M.; Künstliche Lichtquellen – Naturschutzfachliche Empfehlungen. In: Natur in NRW 4/07, S. 46-48.   |
| GPP 2012            | Europäische Kommission; EU-Kriterien für die umweltorientierte öffentliche Beschaffung von Straßenbeleuchtungen und Verkehrssignalen, <a href="http://ec.europa.eu/environment/gpp/eu_gpp_criteria_en.htm">http://ec.europa.eu/environment/gpp/eu_gpp_criteria_en.htm</a> .   |
| Hartley et al. 2009 | Hartley, D.; Jurgens, C.; Zatcoff, E.; Life Cycle Assessment of Street-light Technologies; University of Pittsburgh 2009  |

- IPCC 2007 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. Cambridge University Press 2007,  
[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html)
- Kuhn et al. 2008 Kuhn, T.; Haferkemper, N.; Schiller, C.; Groh, A.; Khanh, T. Q.; LEDs für die Außenbeleuchtung. energy 2.0, April 2008, S. 51-55,  
[www.energy20.net](http://www.energy20.net)
- McKinsey 2011 McKinsey & Company (eds.); Lighting the way: Perspectives on the global lighting market, Juli 2011
- Osram 2009 Osram GmbH (Hrsg.); Life Cycle Assessment of Illuminants. A Comparison of Light Bulbs, Compact Fluorescent Lamps and LED Lamps – Executive Summary, Nov. 2009
- Sander et al. noch unveröff. Sander, K. et al.; Maßnahmen zur Optimierung der Entsorgung von quecksilberhaltigen Gasentladungslampen und anderen Lampenarten. Bericht zum UFO-Plan-Vorhaben 3712 33 306 des Umweltbundesamtes, noch nicht veröffentlicht
- Trilux 2005 Trilux-Lenze GmbH (Hrsg.); 13 201 Planungshilfe. Licht für Europas Straßen – Beleuchtung von Straßen, Wegen und Plätzen nach DIN EN 13 201, 1. Aufl., Apr. 2005
- Van Tichelen et al. 2007 Van Tichelen, P.; Geerken, T.; Jansen, B.; Van den Bosch, M.; Van Hoof, V.; Vanhooydonck, L.; Vercalsteren, A.; Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs – Final Report Lot 9: Public street lighting; Jan. 2007
- VO (EG) 244/2009 Verordnung (EG) Nr. 244/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht
- VO (EG) 245/2009 Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb und zur Aufhebung der Richtlinie 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates

VO (EU) 1194/2012	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
VO (EU) 347/2010	Verordnung (EU) Nr. 347/2010 der Kommission vom 21. April 2010 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission in Bezug auf die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb
ZVEI 2005	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI) (Hrsg.); Lebensdauerverhalten von Entladungslampen für die Beleuchtung. Frankfurt a. M. 2005

## 13 Anhang

### 13.1 Anhang I: Wirkungskategorie Treibhauspotenzial der Ökobilanz

Schadstoffe, die zur zusätzlichen Erwärmung der Erdatmosphäre beitragen, werden unter Berücksichtigung ihres Treibhauspotenzials bilanziert, welches das Treibhauspotenzial des Einzelstoffs relativ zu Kohlenstoffdioxid kennzeichnet. Als Indikator wird das Gesamttreibhauspotenzial in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach IPCC 2007 berücksichtigt.

## **13.2 Anhang II: Entwurf der Vergabegrundlage für das Umweltzeichen Blauer Engel**

### **1 Einleitung**

#### **1.1 Vorbemerkung**

Die Jury Umweltzeichen hat in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, dem Umweltbundesamt und unter Einbeziehung der Ergebnisse der von der RAL gGmbH einberufenen Anhörungsbesprechungen diese Grundlage für die Vergabe des Umweltzeichens beschlossen. Mit der Vergabe des Umweltzeichens wurde die RAL gGmbH beauftragt.

Für alle Erzeugnisse, soweit diese die nachstehenden Bedingungen erfüllen, kann nach Antragstellung bei der RAL gGmbH auf der Grundlage eines mit der RAL gGmbH abzuschließenden Zeichenbenutzungsvertrages die Erlaubnis zur Verwendung des Umweltzeichens erteilt werden.

#### **1.2 Hintergrund**

Es zeigte sich, dass der beim Blauen Engel übliche produktbezogene Ansatz bei der Straßenbeleuchtung nur bedingt zielführend ist. Für die unterschiedlichen Einsatzbereiche und Bedingungen können Beleuchtungsprodukte (Leuchten, Leuchtmittel, Steuerung) unterschiedlich gut geeignet sein. Gleichzeitig ist i.d.R. beim Inverkehrbringen (bzw. der Produktion) des Produktes dessen Einsatzbereich nicht festgelegt. Produktspezifische Anforderungen werden dieser Breite daher nur bedingt gerecht. Das Konzept des Blauen Engel basiert auf einer Überprüfung zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens und kann daher die verschiedenen Einsatzbereiche der Produkte nicht hinreichend berücksichtigen.

Wesentliche Energieeinsparungen lassen sich zudem v. a. in der Optimierung des spezifischen „Systems Straßenbeleuchtung“ erzielen. Welche Leuchten und Leuchtmittel am sinnvollsten sind, hängt stark von den Gegebenheiten und Bedürfnissen ab. Entscheidend für eine (energie-) optimierte Straßenbeleuchtung ist somit insbesondere eine angemessene Lichtplanung. Diese wird entweder von den Betreibern der Beleuchtungsanlagen selbst oder von beauftragten Lichtplanern durchgeführt.

Daher gilt diese Vergabegrundlage nicht für einzeln vermarktete Produkte, sondern für installierte Anlagen und ist so konzipiert, dass die Berücksichtigung von Umweltparametern bereits in der Lichtplanung erfolgt. Neben diesen systemorientierten Anforderungen stellt die Vergabegrundlage aber auch produktbezogene Anforderungen an die Komponenten.

Die Anforderungen lehnen sich zu einem wesentlichen Teil an bestehende Instrumente in der Planung von Straßenbeleuchtungsanlagen an.

Zurzeit sind dies

- a. das KfW-Programm 215 („KfW-Investitionskredit Kommunen Premium – Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“)
- b. das BMU-Förderprogramm („Förderung von Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen im Rahmen der Klimaschutzinitiative“)
- c. bestehende und zukünftige Anforderungen an Komponenten der Straßenbeleuchtung durch Verordnungen der Ökodesign-Richtlinie.

Darüber hinaus werden in parallelen Prozessen verschiedene für die hier behandelte Vergabegrundlage relevante Instrumente (weiter-)entwickelt. Dies sind zum Beispiel der Normungs- und Gesetzgebungsprozess im Bereich LED-Beleuchtung, die Erweiterung der EN 13201 um einen Teil 5 zur Energieeffizienz sowie die wissenschaftliche Erforschung der Auswirkungen künstlichen Lichts auf die Umwelt. Die Ergebnisse dieser Prozesse werden bei der zukünftigen Überarbeitung der Vergabegrundlage berücksichtigt.

### 1.3 Ziel des Umweltzeichens

Der Klimaschutz, die Verminderung des Energieverbrauches, die Minimierung von Lichtverschmutzung und die Vermeidung von Schadstoffen und Abfall sind wichtige Ziele des Umweltschutzes.

Mit dem Umweltzeichen für Straßenbeleuchtung können Beleuchtungsanlagen gekennzeichnet werden, die sich durch folgende Umwelteigenschaften auszeichnen:

- geringer Energieverbrauch bei hoher Lichtqualität,
- hohe Sicherheitsanforderungen durch normgerechte Ausleuchtung der Straße,
- langlebige, sichere, reparatur- und wartungsfreundliche Konstruktion,
- Vermeidung von Lichtverschmutzung.

### 1.4 Einhaltung gesetzlicher Vorgaben und Normen

Die Einhaltung bestehender Gesetze und Verordnungen wird für die mit dem Umweltzeichen gekennzeichneten Produkte vorausgesetzt. Diese sind insbesondere die nachfolgend genannten:

- Die durch das Elektro- und Elektronikgesetz (ElektroG)<sup>37</sup> in deutsches Recht umgesetzten EU-Richtlinien 2002/96/EG<sup>38</sup> und 2002/95/EG<sup>39</sup>, die die Entsorgung regeln,

---

<sup>37</sup> Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten, BGBl, 2005, Teil I, Nr. 17 (23.05.2005):

<sup>38</sup> Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte:

sind beachtet. Unter Vorsorgeaspekten darüber hinaus gehende Anforderungen an Materialien werden eingehalten.

- Die durch die Chemikalienverordnung REACH (1907/2006/EG)<sup>40</sup> und die EG-Verordnung 1272/2008<sup>41</sup> (oder die Richtlinie 67/548/EWG) definierten stofflichen Anforderungen werden berücksichtigt.
- Die durch Verordnung (EG) 245/2009<sup>42</sup> gestellten Mindestanforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Komponenten der gewerblichen Beleuchtung werden, soweit anwendbar, berücksichtigt.
- Die Beleuchtung muss den Anforderungen der DIN (EN) 13201 genügen.<sup>43</sup>

## 1.5 Begriffsbestimmung

**Straßenbeleuchtung** ist gemäß Verordnung (EG) 245/2009 Artikel 2 (3) eine feste Beleuchtungseinrichtung, die den Benutzern öffentlicher Verkehrswege außerhalb von Gebäuden bei Dunkelheit gute Sicht verschaffen soll, um zur Verkehrssicherheit, zum Verkehrsfluss und zur öffentlichen Sicherheit beizutragen.<sup>44,45</sup>

---

<sup>39</sup> Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten:

<sup>40</sup> Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission:

<sup>41</sup> Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006:

<sup>42</sup> Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb und zur Aufhebung der Richtlinie 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates:

<sup>43</sup> Somit ist sichergestellt, dass ein Mindestmaß an Beleuchtung gegeben ist. Ferner ist ein klarer Bezug zu Beleuchtungsklassen gegeben. (Allerdings erfüllt ein großer Teil des Bestands der Straßenbeleuchtung diese Anforderungen nicht.)

<sup>44</sup> Diese Definition deckt sich mit der Europäischen Norm EN13201.

<sup>45</sup> Anmerkung: an dieser Stelle ist lediglich auf die Definition der Straßenbeleuchtung in Artikel 2 verwiesen. Die vorliegende Vergabegrundlage beschränkt sich explizit nicht auf die in der Verordnung genannten Komponenten (wie z. B. behandelte Lampentypen). Bezüglich der Einhaltung von Anforderungen der Verordnung siehe Abschnitt 3.3.1.)

Diese Definition schließt somit folgende Bereiche aus:

- Tunnelbeleuchtung,
- Beleuchtung privater Flächen wie Parkplätze, gewerbliche oder industrielle Flächen,
- Sportplätze,
- Flutlicht z. B. zur dekorativen Beleuchtung von Gebäuden oder Bäumen.

**Leuchte** bezeichnet gemäß Verordnung (EG) 245/2009 ein Gerät zur Verteilung, Filterung oder Umwandlung des von einer oder mehreren Lichtquellen übertragenen Lichts, das alle zur Aufnahme, zur Fixierung und zum Schutz der Lichtquellen notwendigen Teile und erforderlichenfalls Hilfselemente zusammen mit den Vorrichtungen zu ihrem Anschluss an die Stromquelle, jedoch nicht die Lichtquellen selbst umfasst.

**Technische versus dekorative Leuchte:** Die Einordnung der in der Straßenbeleuchtungsanlage eingesetzten Leuchten als **technische** oder als **dekorative Leuchte** erfolgt anhand der Beschreibung des Zentralverbands Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.<sup>46</sup> gemäß Anhang x.

Das **Beleuchtungsniveau** gibt die mittlere Leuchtdichte in Candela pro Quadratmeter [cd/m<sup>2</sup>] oder mittlere Beleuchtungsstärke in Lux [lx] an.

**Beleuchtungsklasse:** Diese in DIN EN 13201-2 beschriebenen Klassen legen auf Basis der wesentlichen Verkehrsdaten der Straße lichttechnische Gütemerkmale fest. Es wird eingeteilt in ME-, CE-, S-, A-, ES- und EV-Klassen.

Tabelle 1 Beleuchtungsklassen gemäß DIN EN 13201-2

Beleuchtungsklasse	Beschreibung
ME-Klassen	Die Beleuchtungsklassen ME1 bis ME6 gelten für Straßen mit mittleren bis höheren Fahrgeschwindigkeiten. Für nasse Fahrbahnen gelten die Klassen MEW1 bis MEW5. Die Gütemerkmale der Beleuchtung entsprechen der Leuchtdichtebewertung.
CE-Klassen	Die Beleuchtungsklassen CE0 bis CE5 werden wie die ME-Klassen angewendet, jedoch für Straßen mit Konfliktzonen, wie Straßenkreuzungen, Einmündungen, Kreisverkehre, Staubereiche an Kreuzungen, Straßen mit Fußgängern und Radfahrern, Einkaufs- und Geschäftsstraßen, auch für Unterführungen und Treppen. Die Gütemerkmale der Beleuchtung entsprechen der Beleuchtungsstärkebewertung.
S-Klassen	Die Beleuchtungsklassen S1 bis S7 werden für Fußgänger- und Radfahrbereiche, Stand- und Sicherheitsstreifen und andere Straßenbereiche außerhalb der Fahrbahnen, für repräsentative Straßen, Anwohnerstraßen, Fußgängerzonen, Fußwege, Radwege, Parkstraßen, Schulhöfe usw. angewendet. Die Beleuchtung wird nach dem Kriterium Beleuchtungsstärke bewertet.
A-Klassen	Die Beleuchtungsklassen A1 bis A6 werden wie die S-Klassen angewendet, jedoch erfolgt die Bewertung mit der halbsphärischen (halbräumlichen) Beleuchtungsstärke.

<sup>46</sup> <http://www.licht.de/strassenleuchten> (Stand 14.11.2012)

Beleuchtungsklasse	Beschreibung
ES-Klassen	Die Beleuchtungsklassen ES1 bis ES9 ermöglichen eine zusätzliche Bewertung der Beleuchtung durch die halbzyklische Beleuchtungsstärke, z. B. für Bereiche erhöhter Kriminalität, d. h. zur Identifizierung von Personen und Objekten gegen das subjektive Gefühl der Unsicherheit in Fußgängerzonen und auf Parkplätzen.
EV-Klassen	Die Beleuchtungsklassen EV1 bis EV6 ermöglichen eine zusätzliche Bewertung der Beleuchtung durch die vertikale Beleuchtungsstärke, z. B. an Mautstellen, in Umschlag- und Rangierbereichen usw.

## 2 Geltungsbereich

Diese Vergabegrundlage gilt für Anlagen zur Straßenbeleuchtung gemäß Definition in Abschnitt 1.5, die gemäß DIN EN 13201 den Beleuchtungsklassen ME1 bis ME6, CE0 bis CE5 oder S1 bis S6 zuzuordnen sind. Die Anzahl der beinhalteten Lichtpunkte ist nicht vorgegeben. Ausschlaggebend ist die Einheit, für die eine separate Lichtplanung erstellt und die installiert wurde. Dabei kann es sich um eine Neuinstallation oder um den Ersatz bzw. die Nachrüstung einer bestehenden Anlage handeln.

## 3 Anforderungen

### 3.1 Allgemeine Anforderungen

Die Lokalität des Projektes muss genau und unmissverständlich spezifiziert sein.

Die Lichtplanung muss von einem Sachverständigen durchgeführt oder geprüft werden. Dieser bestätigt, dass die Lichtplanung vollständig und korrekt ist und die Anforderungen der Vergabegrundlage eingehalten werden.

Als Sachverständige im Sinne der Vergabegrundlage werden Personen anerkannt, die nach einem erfolgreich abgeschlossenen Studium (Ing.) an einer Hochschule/Fachhochschule oder einer technischen Berufsausbildung in Verbindung mit einer mindestens fünfjährigen einschlägigen Berufserfahrung im Fachgebiet Lichttechnik bei der Planung von Beleuchtungsanlagen sachverständig und befähigt sind, lichttechnische Planungen, Berechnungen und Messungen durchzuführen. Dies können auch verwaltungsinterne Personen einer Kommune oder eines kommunalen Unternehmens sein.

#### **Nachweis:**

*Der Antragsteller definiert die Lokalität gemäß Anlage x zum Vertrag. Der Antragsteller bestätigt die Qualifikation des Sachverständigen durch Unterschrift in Anlage xxx.*

### 3.2 Anforderungen an die gesamte Anlage

#### 3.2.1 Klassifizierung der Straßen

Der Antragsteller benennt die Beleuchtungsklassen der mit dem Umweltzeichen zu kennzeichnenden Straßen gemäß DIN EN 13201. Daraus ergeben sich die erforderliche Leuchtdichte bzw. Beleuchtungsstärke (Tabelle 2). Dabei können den Straßen je nach Verkehrsdaten zu unterschiedlichen Uhrzeiten unterschiedlichen Beleuchtungsklassen zugeordnet sein.

Tabelle 2 Klassifizierung der Straße nach Straßentyp und minimales Beleuchtungsniveau (gemäß DIN EN 13201)

Beleuchtungsklasse		Leuchtdichte in $\text{cd/m}^2$	Beleuchtungsstärke in lx
ME-Klassen	ME1	2,0	
	ME2	1,5	
	ME3a	1,0	
	ME3b	1,0	
	ME3c	1,0	
	ME4a	0,75	
	ME4b	0,75	
	ME5	0,5	
	ME6	0,3	
CE-Klassen	CE0		50
	CE1		30
	CE2		20
	CE3		15
	CE4		10
	CE5		7,5
S-Klassen	S1		15
	S2		10
	S3		7,5
	S4		5
	S5		3
	S6		2

**Nachweis:**

Der Antragsteller dokumentiert die Beleuchtungsklasse(n) der Straße(n) in Anlage xx und legt die Herleitung der Beleuchtungsklasse anhand der verkehrstechnischen Parameter vor.

### 3.2.2 Energiebedarf

Der Energiebedarf der Anlage darf in Abhängigkeit von der Beleuchtungsklasse bei Ersatz und Nachrüstung die in Tabelle 3 genannten Werte nicht überschreiten.

Zur Berechnung der maximalen Energiebedarfswerte geht die Tabelle von 4.000 Betriebsstunden pro Jahr aus. Gestattet die normgerechte Beleuchtung eine Leistungsreduktion, ergibt sich der maximale Energiebedarfswert aus der entsprechenden Anzahl von Betriebsstunden für die jeweilige (reduzierte) Leistung multipliziert mit dem Leistungsanteil.

Eine nächtliche Abschaltung der Beleuchtung kann nur dann in der Berechnung berücksichtigt werden, wenn die Beleuchtung bei Bedarf (z. B. sensorgesteuert) wieder automatisch einschaltet.

Ist eine durchgängige Abschaltung über die Nachtstunden ohne bedarfsgerechtes Einschalten vorgesehen, muss zur Berechnung der Energiebedarfswerte die elektrische Leistung der Leuchten bei Betrieb mit 100% Beleuchtungsniveau während der Abschaltzeiten angesetzt werden. Die durch das Abschalten jeder zweiten Lampe in zweiflämmigen Leuchten erreichte Energieeinsparung kann zur Berechnung des Energiebedarfswertes berücksichtigt werden.<sup>47</sup>

Auch wenn für einen Straßentyp ein höheres Beleuchtungsniveau geplant ist als die Klassifizierung gemäß Tabelle 2 ergibt, muss der maximale Energiebedarfswert desselben Straßentyps eingehalten werden.

Beim Neubau von Straßenbeleuchtungsanlagen sind die maximalen Energiebedarfsgrenzwerte aus Tabelle 2 um 10% reduziert. Werden in Straßen mit den Beleuchtungsklassen S4 bis S6 dekorative Leuchten eingesetzt, so erhöht sich der maximale Energiebedarfswert um 25%. Daraus ergeben sich die in Tabelle 3 angegebenen Werte.

Der Energieverbrauch ist durch Messung oder Referenzmessung oder Berechnung nachzuweisen und zu dokumentieren.

Tabelle 3 Maximale Energiebedarfswerte pro Fläche normgerecht beleuchteter Straße im Jahr für die jeweils zugehörigen Beleuchtungsklassen

Beleuchtungs- klasse		Maximale Energiebedarfswerte in Wh/m <sup>2</sup> /a			
		Technische Leuchte		Dekorative Leuchte	
		Bestand	Neubau	Bestand	Neubau
ME- Klassen	ME1	4.000	3.600		
	ME2	3.000	2.700		
	ME3	2.000	1.800		
	ME4	1.500	1.350		
	ME5	1.000	900		
	ME6	600	540		

<sup>47</sup> Eine Abschaltung jeder zweiten Leuchte ist hingegen unzulässig.

Beleuchtungs- klasse		Maximale Energiebedarfswerte in Wh/m <sup>2</sup> /a			
		Technische Leuchte		Dekorative Leuchte	
		Bestand	Neubau	Bestand	Neubau
CE-Klassen	CE0	7.500	6.750		
	CE1	4.000	3.600		
	CE2	3.000	2.700		
	CE3	2.000	1.800		
	CE4	1.500	1.350		
	CE5	1.000	900		
S-Klassen	S1	1.800	1.620	1.800	1.620
	S2	1.200	1.080	1.200	1.080
	S3	900	810	900	810
	S4	600	540	750	675
	S5	360	324	450	405
	S6	240	216	300	270

**Nachweis**

*Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage xx zum Vertrag und legt die entsprechende Lichtplanung mitsamt der technischen Dokumentation der Komponenten (z. B. Leuchten) vor. Wenn keine Leistungsreduktion eingeplant ist, begründet der Antragsteller dies. Ferner legt er eine Dokumentation der realisierten Energieverbrauchswerte vor.*

**3.3 Anforderungen an Komponenten**

3.3.1 Konformität mit Ökodesign-Verordnung (EG) 245/2009

Sofern die zum Einsatz vorgesehenen technischen Komponenten im Geltungsbereich der Ökodesign-Verordnung (EG) 245/2009 enthalten sind, müssen diese die ab April 2017 geltenden Anforderungen der Verordnung erfüllen.

**Nachweis**

*Der Antragssteller legt die entsprechende Erklärung der Komponentenhersteller bei.*

3.3.2 Farbtemperatur der Lampen

Werden dekorative Leuchten in Straßen mit den Beleuchtungsklassen S4 bis S6 eingesetzt, so darf deren Farbtemperatur 3.000 K nicht überschreiten.

Alle anderen Leuchten dürfen eine Farbtemperatur von 4.000 K nicht überschreiten.

**Nachweis**

*Der Antragssteller erklärt die Einhaltung der Anforderung und legt die Dokumentation zu den eingesetzten Leuchtmitteln bei.*

**3.3.3 Anteil des nach oben abgestrahlten Lichtes**

Der Anteil des von den Leuchten nach Installation in den oberen Halbraum abgestrahlten Lichtes (Upward Light Ratio, ULR) muss 0% sein. D.h. sie dürfen bei einem Winkel von 0° und mehr über der Horizontalen maximal 0,49 cd pro 1000 Lumen abstrahlen.

**Nachweis**

*Der Antragssteller erklärt die Einhaltung des Kriteriums und legt die technische Dokumentation zu der Leuchte bei, aus der dessen Abstrahlung in den oberen Halbraum hervorgeht.*

**3.3.4 Schutz der Leuchten gegen Eindringen von Schmutz und Feuchtigkeit**

Der Schutzgrad gegen Eindringen von Schmutz und Feuchtigkeit muss mindestens IP 65 (gemäß DIN EN 60 598) betragen.

**Nachweis**

*Der Antragsteller legt die technische Dokumentation zu der Leuchte oder eine Erklärung des Leuchtenherstellers vor.*

**3.3.5 Modularität und Bereitstellung von Ersatzteilen**

Die eingesetzten Leuchten müssen modular aufgebaut sein. Das heißt, dass die Leuchtmittel, die Vorschaltgeräte und andere Ersatzteile an der installierten Leuchte ausgetauscht werden können.

Der Antragsteller verwendet nur solche Komponenten, bei denen die Hersteller dafür sorgen, dass die Ersatzteilversorgung für die Reparatur der Geräte für mindestens 10 Jahre ab Produktionseinstellung sichergestellt ist.

Unter Ersatzteilen sind solche Teile zu verstehen, die die Funktionalität der Leuchten wieder herstellen, ohne die gesamte Leuchte auszutauschen.

LED-Module gelten in diesem Sinne als Ersatzteile. Andere, regelmäßig die durchschnittliche Lebensdauer des Produktes überdauernde (ästhetische) Teile, sind nicht als Ersatzteile anzusehen.

**Nachweis**

*Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage **xx** zum Vertrag und legt die Herstellererklärung über die Ersatzteilbereitstellung vor.*