

PROSA

Leuchten für die Anwendung in Büros und verwandten Einsatzbereichen

Entwicklung der Vergabekriterien für ein
klimaschutzbezogenes Umweltzeichen

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

März 2013

Autor/innen:

Tobias Schleicher
Ran Liu

Projektleitung:

Jens Gröger

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 95-188

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt, Deutschland
Tel. +49 (0) 6151 – 81 91-0
Fax +49 (0) 6151 – 81 91-233

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

Teil I		1
1	Einleitung	1
2	Methodisches Vorgehen	2
3	Definitionen	2
4	Markt- und Umfeldanalyse	7
4.1	Hersteller	7
4.2	Verbände und Vereine	8
4.3	Markttrends	8
4.3.1	Leuchten und Lampen	9
4.3.2	Vorschaltgeräte	10
4.3.3	Leuchtstofflampen	10
4.3.4	LED-Leuchten	11
4.4	Preise	11
4.4.1	Leuchten	11
4.4.2	Vorschaltgeräte	13
4.4.3	Lineare Leuchtstofflampen	13
4.4.4	LED-Lampen	14
4.5	Technologietrends	15
5	Energieeffizienz	19
5.1	Einsparpotenzial	19
5.2	Lichtausbeute und Leuchteneffizienzfaktor (LEF)	20
5.3	Analyse der Energieeffizienz von Leuchten	20
5.4	Einsparpotenzial: Modellbeispiel	23
6	Schadstoffe	24
6.1	Quecksilber in Leuchtstofflampen	24
6.2	EU-RoHS-Richtlinie	24
6.3	Exkurs: Amalgamtechnologie in linearen Leuchtstofflampen	25
6.4	Entsorgung von Leuchtstofflampen sowie LED-Lampen	28
7	Gesetzliche Mindestanforderungen und Energieeffizienzkennzeichnung	30
7.1	Gesetzliche Mindestanforderungen	30
7.1.1	Lampen zur Allgemeinbeleuchtung im Dienstleistungssektor	30
7.1.2	Lampen mit gebündeltem Licht	33
7.1.3	LED-Lampen	35

7.1.4	Vorschaltgeräte	36
7.1.5	Gesetzliche Anforderungen an Leuchten	38
7.2	Gesetzliche Energieeffizienzkennzeichnung	40
8	Umweltzeichen	43
8.1	Das Schweizer Umweltzeichen „Minergie“	43
8.2	Das Europäische Umweltzeichen	46
9	Qualitätsaspekte	47
9.1	Lichttechnische Eigenschaften	47
9.2	Sonstige Qualitätsparameter	48
9.3	Qualitätsaspekte LED-Leuchtmittel	49
9.4	Qualitätsaspekte Vorschaltgeräte	50
10	Normen, Standards und Richtlinien	50
10.1.1	DIN EN 12464-1	50
10.1.2	Technische Regel für Arbeitsstätten ASR 3.4	50
10.1.3	DIN EN 12665:2002	51
10.1.4	DIN EN 13032-1:2004	51
10.1.5	DIN EN ISO/IEC 17025	51
10.1.6	IEC 62554:2011 und IEC 62321	51
10.1.7	IEC/PAS 62722-2-1:2011	51
10.1.8	IEC 1036	52
11	Konsumtrends	52
12	Nutzenanalyse	53
12.1	Gebrauchsnutzen	53
12.2	Symbolischer Nutzen	53
12.3	Gesellschaftlicher Nutzen	53
Teil II		55
13	Orientierende Ökobilanz und Lebenszykluskostenanalyse	55
13.1	Untersuchungsrahmenbedingungen	55
13.1.1	Funktionelle Einheit	55
13.1.2	Systemgrenzen	56
13.2	Orientierende Ökobilanz	56
13.2.1	Modellierung der Leuchte mit elektronischem Vorschaltgerät (ohne Lampe)	56
13.2.2	Betrachtete Wirkungskategorien	61
13.2.3	Ergebnisse der orientierenden Ökobilanz	61
13.2.4	Sensitivitätsanalyse: Dimmung der Lampe	63
13.3	Analyse der Lebenszykluskosten	64

13.3.1	Investitionskosten	64
13.3.2	Stromkosten	65
13.3.3	Reparaturkosten	66
13.3.4	Entsorgungskosten	66
13.3.5	Lebenszykluskostenanalyse	66
Teil III		69
14	Ableitung der Anforderungen an ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen	69
14.1	Einzelanforderungen	69
14.2	Vergabegrundlage	70
15	Literatur	71
16	Anhang	75
16.1	Anhang I: die berücksichtigten Wirkungskategorien der orientierenden Ökobilanz	75
16.1.1	Kumulierter Primärenergiebedarf	75
16.1.2	Treibhauspotential	75
16.1.3	Versauerungspotential	75
16.1.4	Eutrophierungspotential	75
16.1.5	Photochemische Oxidantienbildung	76
16.2	Anhang II: Ableitung der PGN-Höchstwerte	76
16.3	Anhang III: Vergabegrundlage für das Umweltzeichen Blauer Engel, Entwurf	80

Teil I

1 Einleitung

Die vorliegende Untersuchung zu Leuchten für die Anwendung in Büros und verwandten Einsatzbereichen ist Teil des mehrjährigen Forschungsvorhabens „Top 100“, bei dem die aus Klimasicht wichtigsten Haushaltsprodukte im Hinblick auf ökologische Optimierungen und Kosteneinsparungen bei Verbrauchern analysiert werden.

Auf Basis dieser Analysen können Empfehlungen für verschiedene Umsetzungsbereiche gegeben werden:

- für Verbraucherinformationen zum Kauf und Gebrauch klimarelevanter Produkte (einsetzbar bei der Verbraucher- und Umweltberatung von Verbraucherzentralen, Umweltorganisationen und Umweltportalen),
- für die freiwillige Umweltkennzeichnung von Produkten (z.B. das Umweltzeichen „Der Blaue Engel“, für das europäische Umweltzeichen, für Marktübersichten wie www.topten.info und www.ecotopten.de oder andere Umwelt-Rankings),
- für Anforderungen an neue Produktgruppen bei der Ökodesign-Richtlinie und für Best-Produkte bei Förderprogrammen für Produkte,
- für Ausschreibungskriterien für die öffentliche und umweltfreundliche Beschaffung,
- für produktbezogene Innovationen bei Unternehmen.

Mit Blick auf die verschiedenen Umsetzungsbereiche wird auch die Beleuchtung für die Anwendung in Büros und verwandten Einsatzbereichen untersucht. Diese Studie ergänzt die bereits erstellte PROSA Lampen in Privathaushalten (vgl. Zangl et al. 2010) um professionelle Beleuchtungsanwendungen.

Der Anteil der Beleuchtung am gesamten Stromverbrauch in Deutschland beträgt 10% (zum Vergleich: EU 16% und weltweit 19%). Der Blick auf Bürogebäude im Speziellen zeigt, dass dort der Anteil der Beleuchtung am gesamten Stromverbrauch bei bis zu 40% liegt.¹

Durch den Einsatz energieeffizienter Beleuchtungssysteme kann daher in Bürogebäuden und vergleichbaren Einsatzbereichen ein deutlicher Beitrag zur Energieeinsparung geleistet werden. Anhand der Vergabekriterien für ein Umweltzeichen soll Beschaffern und Lichtplanern die Möglichkeit gegeben werden, durch die Auswahl von energieeffizienten Produkten signifikante Einsparungen zu erzielen, bei gleichzeitig sehr guter Lichtqualität.

¹ Energieagentur NRW (2011) Erhebung: Wo bleibt der Strom, Fraunhofer ISI (2009) Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD).

2 Methodisches Vorgehen

Für die Ableitung von Vergabekriterien für das Umweltzeichen wird gemäß ISO 14024 geprüft, welche Umweltauswirkungen bei der Herstellung, Anwendung und Entsorgung des Produktes relevant sind – neben Energieverbrauch und Treibhauseffekt kommen Umweltauswirkungen wie Ressourcenverbrauch, Eutrophierungs-Potenzial, Lärm, Toxizität, etc. in Betracht.

Methodisch wird die Analyse mit der vom Öko-Institut entwickelten Methode PROSA – Product Sustainability Assessment durchgeführt (Abbildung 1). PROSA umfasst mit der Markt- und Umfeld-Analyse, der Ökobilanz, der Lebenszykluskostenberechnung und der Nutzen-Analyse die erforderlichen Teil-Methoden zur integrativen Entwicklung der relevanten Vergabekriterien.

Da soziale Aspekte bislang nicht oder nicht quantifizierbar in Umweltzeichen einbezogen werden, wird im Rahmen dieser Studie keine Sozialbilanz durchgeführt. Grundsätzlich eignet sich die Methode PROSA jedoch auch zur Identifizierung von sozialen Hot-Spots, die entlang des Lebensweges von Produkten auftreten.

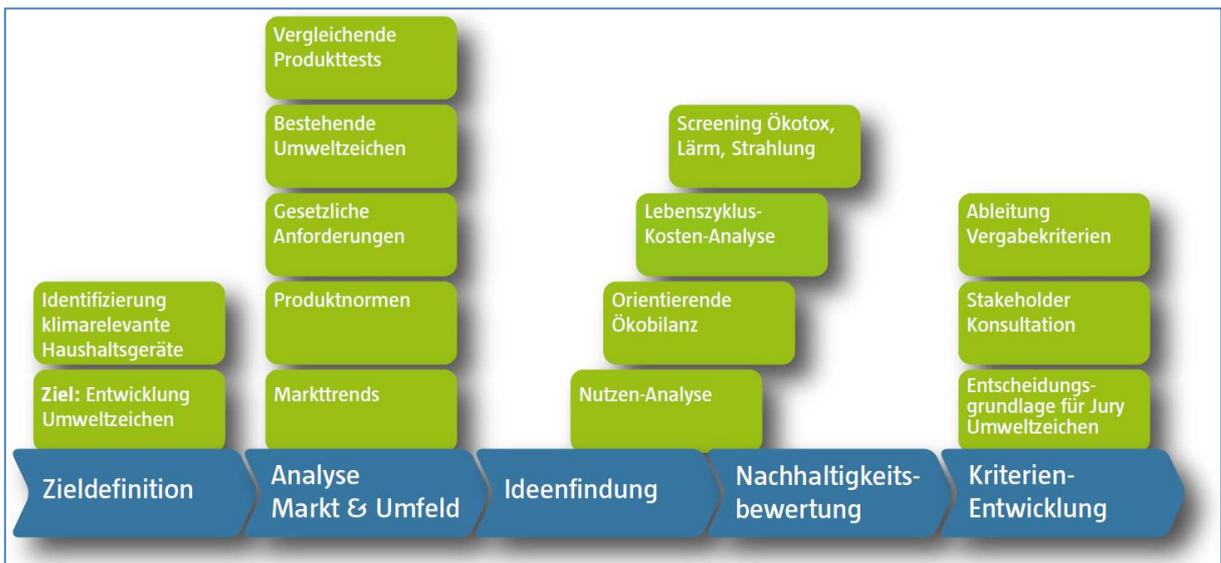


Abbildung 1 Screening-PROSA für die Entwicklung von Vergabekriterien für Umweltzeichen

3 Definitionen

Im Folgenden werden einige zentrale Begriffe definiert, die für die Beleuchtung im Büro- und Dienstleistungsbereich (tertiärer Wirtschaftszweig) besonders relevant sind. Sie gehen zum einen auf die Verordnung Nr. 245/2009 der Europäischen Kommission bzw. auf die Neufassung der sogenannten Öko-Design-Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments

und des Rates zurück, sowie den zugehörigen Durchführungsverordnungen. Daneben werden die wichtigsten technischen Normen für die Innenbeleuchtung in Büros und ähnlichen Einsatzbereichen, insbesondere die Norm DIN EN12464-1:2011 Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen herangezogen (vgl. licht.de 2011) herangezogen.

Bürobeleuchtung und Allgemeinbeleuchtung

Als **Bürobeleuchtung** wird eine feste Beleuchtungseinrichtung für Büroarbeit bezeichnet, die Menschen zur effizienten und genauen Ausführung visueller Aufgaben (am Arbeitsplatz) befähigen soll (nach DIN EN 12464-1). Der Begriff **Allgemeinbeleuchtung** bezeichnet eine im Wesentlichen gleichförmige Beleuchtung eines Gebiets ohne Berücksichtigung besonderer örtlicher Erfordernisse.

Leuchte

Leuchte bezeichnet ein Gerät zur Verteilung, Filterung oder Umwandlung des von einer oder mehreren Lichtquellen übertragenen Lichts. Eine Leuchte umfasst alle zur Aufnahme, zur Fixierung und zum Schutz der Lichtquellen notwendigen Teile und erforderlichenfalls Hilfselemente sowie die Vorrichtungen zu ihrem Anschluss an die Stromquelle (nach EU-Verordnung 874/2012). Nach DIN EN 12665 ist eine Leuchte „ein Gerät zur Betreibung von Lampen und Verteilung des Lichts“.

Folgende **Typologie für Leuchten** (nach Gasser et al. 2012a, vgl. Abbildung 2), die in Büros und verwandten Einsatzbereichen (wie beispielsweise Schulen) zum Einsatz kommen, wird in dieser Studie verwendet:

- Bei **Deckeneinbauleuchten** handelt es sich um Leuchten, die in die Decke bzw. in deren Abhängung eingebaut werden.
- Bei **Deckenanbauleuchten** handelt es sich um Leuchten, die an der Decke angebracht werden. Im Gegensatz zu Deckeneinbauleuchten werden diese nicht in die Abhängung von Decken eingebaut.
- Bei **Pendelleuchten** handelt es sich um Leuchten mit Pendelaufhängung. Die Aufhängung wird so an der Decke angebracht, dass die Leuchte in einigem Abstand zur Decke frei im Raum hängt.
- **Wandleuchten** sind Leuchten, die an der Wand angebracht werden.
- **Stehleuchten** sind frei, auf dem Fußboden stehende Leuchten. Sie werden teilweise als einzige Beleuchtung, teilweise zur Beleuchtungsunterstützung weiterer Leuchten eingesetzt.

- **Tischleuchten** sind kleine Stehleuchten, die auf Tischen und anderen Einrichtungsgegenständen aufgestellt werden. Die häufigste Tischleuchte ist die Schreibtischleuchte.
- **Strahlerleuchten** sind Leuchten, die Licht in gebündelter Form abstrahlen. Das heißt, dass das Licht nicht gleichmäßig an den Raum (vgl. Allgemeinbeleuchtung), sondern in einem Lichtkegel mit einem bestimmten Winkel zur Richtungsachse abgestrahlt wird. Sie werden entweder an die Decke oder die Wand angebracht, jedoch nicht eingebaut (vgl. Downlights/Tiefstrahler). Typischerweise ist die Abstrahlrichtung eines Strahlers verstellbar.
- Als **Tiefstrahler** (engl. „Downlights“) bezeichnet man meist runde, mit Reflektoren und anderen optischen Elementen ausgestattete Deckenleuchten. Tiefstrahler können schwenkbar sein und für den Deckeneinbau (Einbau-Tiefstrahler) oder für den Deckenanbau (Anbau-Tiefstrahler) vorgesehen sein.

Abbildung 2 zeigt die Leuchtentypen anhand von exemplarischen Fotografien.

Deckenanbauleuchten



Deckeneinbauleuchten



Strahlerleuchten



Pendelleuchten



Downlights (dt. auch Tiefstrahler)



Stehleuchten



Tischleuchten



Wandleuchten



Abbildung 2 Leuchten-Typologien nach Gasser et al 2012a, Quelle: www.toplicht.ch.

Vorschaltgerät

Ein Vorschaltgerät bezeichnet eine Vorrichtung, die in erster Linie zur Begrenzung der Spannung und des Stromes 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 (nach EU-Verordnung 245/2009). Die Norm DIN EN 12665 bezeichnet ein Vorschaltgerät kurz als Vorrichtung zur Betreibung von Entladungslampen.

Lampe

Die Norm DIN EN 12665 definiert eine Lampe kurz als „Quelle optischer, meist im sichtbaren Bereich liegender Strahlung“. Eine Entladungslampe ist eine Lampe, in der Licht direkt oder indirekt mittels einer elektrischen Entladung durch ein Gas, einen Metaldampf oder ein Gemisch verschiedener Gase und Dämpfe erzeugt wird (nach EU-Verordnung 245/2009). Die häufigsten Entladungslampen sind lineare Leuchtstofflampen (umgangssprachlich fälschlicherweise häufig als „Neonröhren“ bezeichnet) sowie Kompaktleuchtstofflampen (umgangssprachlich auch als „Energiesparlampen“ bezeichnet).

Leuchtmittel

Als Leuchtmittel kann man alle elektrischen Betriebsmittel und elektrische Verbraucher bezeichnen, die dazu dienen, Licht zu erzeugen sowie alle Gegenstände, die durch chemische oder physikalische Vorgänge Licht erzeugen. Sie bilden eine Lichtquelle.

Lichtemittierende Diode (LED)

Eine Lichtemittierende Diode (LED) bezeichnet ein Halbleiterbauelement, das an seinem p-n-Übergang Licht emittiert, wenn es durch einen elektrischen Strom angeregt wird. Ein LED-Leuchtmittel ist ein Leuchtmittel, dessen Lichtquelle aus einer oder mehreren Lichtemittierenden Dioden (LED) besteht (nach EU-Verordnung 874/2012).

Sonstige

Die **Nutzlebensdauer** von Leuchtmitteln berücksichtigt den Rückgang des Lichtstroms sowie den Anteil der funktionsunfähigen Leuchtmittel nach einer bestimmten Betriebsdauer.

Unter dem **Lampenüberlebensfaktor** (Lamp Survival Factor, LSF) versteht man den Anteil der zu einem gegebenen Zeitpunkt unter bestimmten Bedingungen und bei bestimmter Schaltfrequenz noch funktionierenden Lampen an der Gesamtzahl der Lampen.

Der **Lampenlichtstromwartungsfaktor** (Lamp Lumen Maintenance Factor, LLMF) beschreibt den Lichtstrom einer Lampe im Betrieb über die Lebensdauer im Vergleich zu einer neuen Lampe.

Der **Lichtstrom Φ** – gemessen in Lumen (lm) – ist die Lichtleistung einer Lampe. Er beschreibt die von der Lichtquelle in alle Richtungen abgestrahlte Leistung im sichtbaren Bereich. Eine Glühlampe hat etwa 1.400 Lumen, eine zweiseitig gesockelte Halogenlampe bis zu 44.000 Lumen. Der Lichtstrom einzelner LEDs beträgt zwischen 18 und 30 Lumen.

Lichtstrom der Leuchte (Φ_L) bezeichnet den Lichtstrom der Leuchte wie er dem Nutzer zur Verfügung steht. Es ist damit der Lichtstrom, der durch eine Abdeckung (oder Raster o.ä.) hindurch, von der gesamten Leuchte abgestrahlt wird.

Leistungsaufnahme der Leuchte (P_L) bezeichnet die gesamte elektrische Leistung, die erforderlich ist, damit die Leuchte die benötigte Lichtdienstleistung (Lichtstrom der Leuchte) erbringen kann.

Der **Bereitschaftszustand** bezeichnet einen Zustand, in dem die Leuchte mit dem Stromnetz verbunden ist, auf die Energiezufuhr aus dem Stromnetz angewiesen ist, um zeitlich unbegrenzt die Reaktivierungsfunktion bereitzustellen.

Die **Reaktivierungsfunktion** bezeichnet eine Funktion zur Aktivierung des Betriebsmodus der Leuchte mittels eines Fernschalters, eines Sensors oder eines sonstigen Lichtsteuerungssystems.

Unter **Quecksilbergehalt einer Lampe** versteht man die Menge des in einer Lampe enthaltenen Quecksilbers. Dieser wird gemäß der IEC-Normen 62554 sowie 62321 gemessen.

4 Markt- und Umfeldanalyse

4.1 Hersteller

. Den größten Anteil am **weltweiten Markt für Leuchten** hat das Unternehmen Philips, gefolgt von den Firmen Osram und Zumtobel mit deutlich kleineren Anteilen. Den übrigen Markt teilen nationale und regionale Hersteller unter sich auf (z.B. Fa. Trilux, Siteco, Fagerhult in Deutschland; Targetti Poulsen in Italien uvm.).

Im Leuchtenmarkt herrscht im Vergleich zum Markt für Lichtquellen (Lampen) deutlich mehr Wettbewerb. Die Marktstruktur ist regional ausdifferenzierter. Eine Liste aller im ZVEI, Fachverband Licht, organisierten Hersteller der Lichtindustrie ist auf deren Internetseiten (<http://www.licht.de/de/produkte-und-hersteller/hersteller-von-a-bis-z/>) zu finden.

Der Markt für Lampen, insbesondere für lineare **Leuchtstofflampen**, ist deutlich konzentrierter als der Markt für Leuchten. Die weltweit größten Hersteller sind die Unternehmen Philips (Marktanteil Lampen in Deutschland 2011: 41,4% nach GfK Deutschland 12/2011), Osram und General Electrics (GE), wobei die beiden erstgenannten den Markt im deutschsprachigen Raum dominieren (BMBF 2007). Folgende Hersteller von Leuchtstofflampen sind nach dessen Angaben außerdem im ZVEI organisiert (vgl. licht.de): Ansorg, Aura, Elektra, Indal Narva, Paulmann, Radium, Schröder.

Da es sich bei **LED-Lampen** im Vergleich zu Leuchtstofflampen um eine vollkommen andere Lichttechnik handelt, sind auf diesem sehr rasant wachsenden Markt deutlich mehr Akteure vertreten. Insbesondere Hersteller aus dem Bereich Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) drängen auf den deutschen Leuchtmittelmarkt (z.B. Toshiba, Panasonic uvm.). Die traditionellen Lampenhersteller (Osram, Philips) versuchen sich ihrerseits auf dem LED-Markt zu behaupten. Der ZVEI listet folgende Hersteller von LED-Lampen: Ansorg, BLV, Brumberg, Elektra, Indal LT Elektronik, Lumenova, Nicha, Osram, Paulmann, Philips, Tridonic Atco und WS Walter Schrickel.

Der Markt für Vorschaltgeräte ist vergleichsweise konzentriert. Es dominieren auch hier die beiden großen Hersteller Osram und Philips, gefolgt von der Firma Zumtobel aus Österreich. Weitere Unternehmen sind Ansorg, Brumberg, Helver, Holophane, Hüco, Insta, LT Elektronik, Samrtlux, Tridonic Atco sowie die Panasonic Tochter Vossloh-Schwabe GmbH (vgl. licht.de).

4.2 Verbände und Vereine

Die Hersteller von Leuchten und Lampen sind in Deutschland im **Fachverband Licht des Zentralverbands der deutschen Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI)** organisiert.

Die **Lichttechnische Gesellschaft (LiTG)** ist ein eingetragener, gemeinnütziger Verein, der für alle Akteure in Verbindung mit Lichttechnik die deutschlandweite Wissensplattform darstellt. Mitglieder sind insbesondere Wissenschaftler aus Forschung und Lehre, Ingenieure und Techniker aus Entwicklung, Fertigung, Projektierung und Vertrieb, Mitarbeiter aus Bundes- und Landesministerien sowie Kommunalverwaltungen, Architekten, Innenarchitekten, Lichtplaner, Elektrofachplaner, Handwerker, Produktdesigner, Künstler und Studierende. (vgl. dazu <http://www.litg.de/>)

Auf **europäischer Ebene** waren die Leuchtenhersteller bis Dezember 2012 im Verband Federation of National Manufacturers Associations for Luminaires And Electrotechnical Components for Luminaires in the European Union (CELMA), die Lampenhersteller im internationalen Fachverband European Lamp Companies Federation (ELC) zusammengeschlossen. Seit Dezember 2012 sind die führenden Hersteller der Beleuchtungsindustrie auf europäischer Ebene in der Vereinigung LightingEurope (www.lightingeurope.org) organisiert. Diese Vereinigung ersetzt beide Vorgängerverbände, sowohl CELMA als auch ELC.

4.3 Markttrends

Das gesamte Volumen des weltweiten Beleuchtungsmarktes (Leuchten, Lichtquellen, Vorschaltgeräte, LED-Lichtquellen sowie Lichtsteuerungssysteme) belief sich im Jahre 2011 auf ca. 55 Mrd. Euro (McKinsey 2012). Das Marktsegment der Bürobeleuchtung lag hier bei

etwa 8 Mrd. Euro (15% des gesamten Marktes), nach der Haushaltsbeleuchtung (21 Mrd. Euro) an zweiter Stelle. Es wird erwartet, dass der weltweite Beleuchtungsmarkt bis zum Jahr 2016 um jährlich 5% und danach bis 2020 um jährlich 3% wachsen wird.

Der Markt für Bürobeleuchtung befindet sich auf einem Übergangspfad von traditionellen Technologien (Leuchten mit linearen Leuchtstofflampen und Vorschaltgerät) hin zu LED-Technologien (McKinsey 2012).

Im Jahr 2011 lag der Marktanteil der LED-Beleuchtung in Bürogebäuden bei etwa 6% (bei einer Marktdurchdringung von 9% für den gesamten Beleuchtungsmarkt). Aktuelle weltweite Projektionen schätzen die Marktdurchdringung in Bürogebäuden auf 31% im Jahr 2016 (über alle Segmente: 45%) und 54% im Jahr 2020 (über alle Segmente: 69%), (McKinsey 2012).

4.3.1 Leuchten und Lampen

Die weltweite Marktentwicklung für Leuchten und Lampen korrelierte in den letzten Jahren sehr mit der Entwicklung der gesamten weltweiten Wirtschaftsleistung (McKinsey 2012). Hohe Wachstumsraten von etwa 10% pro Jahr waren in den Jahren 2005-2008 zu beobachten. Die globale Finanzkrise übertrug sich ab Mitte/Ende 2008 auf die Realwirtschaft und damit auch auf den Beleuchtungsmarkt, so dass die Hersteller 2009 mit starken Umsatzrückgängen zu kämpfen hatten und auf das Niveau 2006/07 zurückfielen. Ab 2010 erholte sich der Beleuchtungsmarkt und stand Ende 2011 knapp 40% über dem Marktvolumen von 2005.

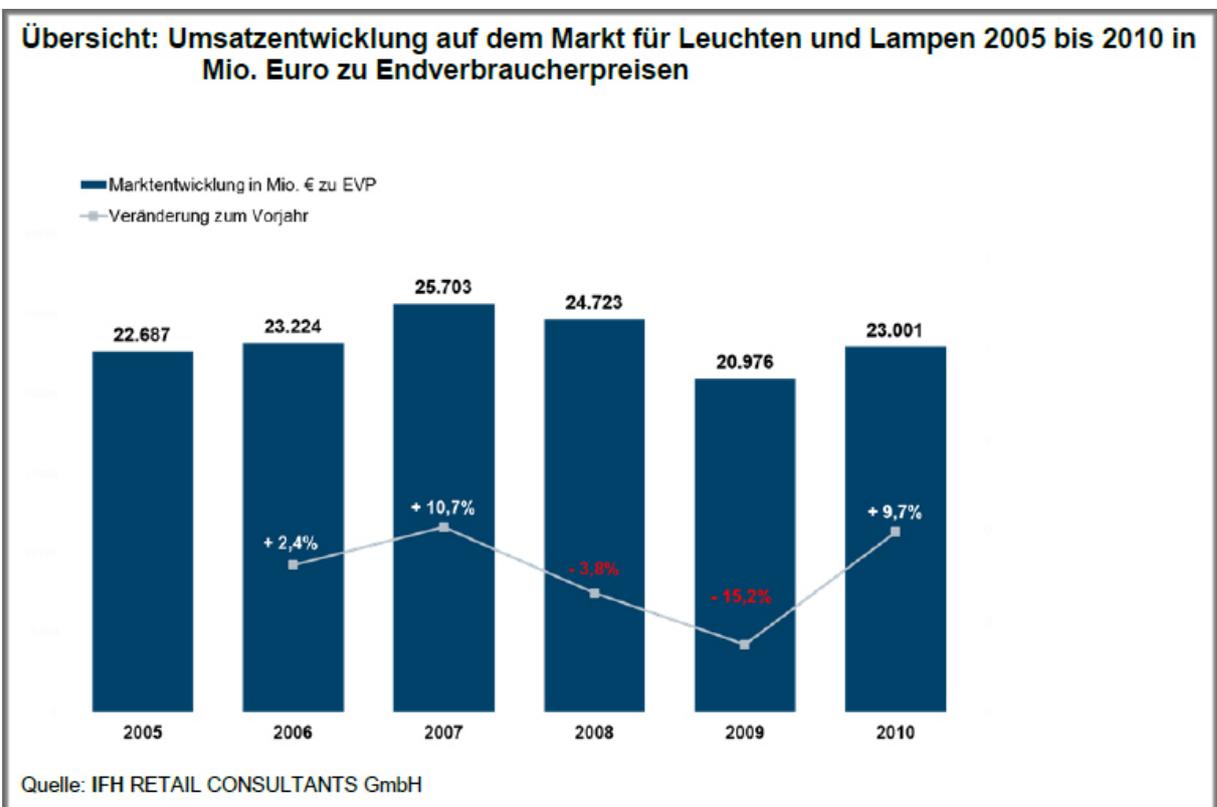


Abbildung 3 Umsatzentwicklung auf dem Leuchten- und Lampenmarkt 2005–2010, Quelle: IFH RETAIL CONSULTANTS GmbH 2012

Eine ähnliche Entwicklung wurde auch auf dem europäischen Beleuchtungsmarkt festgestellt (IFH 2012). Er folgte im Wesentlichen der allgemeinen Baukonjunktur. Nachdem der Beleuchtungsmarkt in den Jahren 2006 (23,2 Mrd. €, +2,4% ggü. Vorjahr) und 2007 (26,7 Mrd. €, +10,7% ggü. Vorjahr) mitunter sehr stark gewachsen war („Bauboom“), mussten die Hersteller in den Jahren 2008 (24,7 Mrd. €, -3,8% ggü. Vorjahr) und 2009 (21 Mrd. €, -15,2% ggü. Vorjahr) teils sehr erhebliche Umsatzrückgänge verkraften. Seit 2010 (23 Mrd. €, +9,7% ggü. Vorjahr) erholt sich der Markt und erreichte im selben Jahr noch das Niveau des Jahres 2005.

Der deutsche Beleuchtungsmarkt musste im Jahr 2011 wieder Umsatzrückgänge hinnehmen. Das gesamte Marktvolumen ist um -1,8% gegenüber dem Vorjahr auf 4,1 Mrd. € gesunken (IFH 2012). Verantwortlich dafür ist vor allem der Einbruch beim Lampenumsatz (-24,8% von 2010-2011). Der Umsatz von Decken- und Wandleuchten, Strahlern und anderen Leuchten ist leicht gestiegen.

Hintergrund für die Einbrüche auf dem Lampenmarkt ist der strukturelle Umbruch, der sich im Beleuchtungsmarkt vollzieht: Die hohen Zuwächse bei den LED-Leuchtmitteln führen dazu, dass die Trennung zwischen Leuchte und Lampe immer mehr aufgehoben wird. LED-Leuchtmittel bilden zusammen mit den Leuchten ein Gesamtprodukt.

4.3.2 Vorschaltgeräte

Bei Vorschaltgeräten unterscheidet man konventionelle Vorschaltgeräte (KVG), verlustarme Vorschaltgeräte (VVG) und elektronische Vorschaltgeräte (EVG).

Aufgrund der (zwischenzeitlich ersetzten) EU-Vorschaltgeräte-Richtlinie (2000/55/EG), welche den Verkauf der Vorschaltgeräte der Klassifizierung D und C seit 2002 bzw. 2005 europaweit verbat, sind die Marktanteile von konventionellen Vorschaltgeräten ab 2007 stark eingebrochen. Seit 2010 sind diese praktisch vom europäischen Markt verschwunden. Parallel dazu stiegen die Verkaufszahlen der A- und B-klassifizierten elektronischen und verlustarmen Vorschaltgeräten im vergangenen Jahrzehnt kontinuierlich an. Im Jahr 2010 wurden europaweit mehr als 60 Mio. Vorschaltgeräte der Klasse A verkauft (vgl. CELMA 2010).

4.3.3 Leuchtstofflampen

Noch im Jahr 2007 hatten Leuchtstofflampen bei der Bürobeleuchtung in Deutschland einen Marktanteil von 100% (Expertenbefragung, vgl. VITO 2007). Bei den Neuinstallationen lagen die Kompaktleuchtstofflampen bei ca. 10%, lineare T8-Leuchtstofflampen bei 45% sowie lineare T5-Leuchtstofflampen bei weiteren 45%. Für bestehende Beleuchtungssysteme lag

zum Betrachtungszeitpunkt eine Verteilung von 5% Kompaktleuchtstofflampen, 90% lineare T8-Leuchtstofflampen sowie 5% lineare T5-Leuchtstofflampen vor.

Diese Verteilung, sowohl bei Neuinstallation als auch bei den Bestandssystemen, hat sich in den vergangenen fünf Jahren zu Gunsten der energieeffizienteren linearen T5-Leuchtstofflampen (im Betrieb mit elektronischen Vorschaltgeräten, EVGs) verschoben. Aufgrund der hohen Energie- und damit auch Kosteneffizienz (vgl. Kap. 13.3, Analyse der Lebenszykluskosten,) ist dieses System das aktuell verbreitetste Beleuchtungssystem für die Anwendung in Büros und ähnlichen Bereichen wie beispielsweise Schulen.

4.3.4 LED-Leuchten

Die oben genannten hohen Marktanteile der Leuchtstofflampen für die Bürobeleuchtung verschieben sich gleichzeitig zu Gunsten von LED-Leuchten. Zum einen steigt die Verbreitung von sogenannten Hybridleuchten (Kombination aus T16-Leuchtstofflampen und LED-Leuchtmittel in Leuchten), welche die Vorteile einer punktuellen Beleuchtung durch LEDs in Kombination mit einer effizienten Allgemeinbeleuchtung durch Leuchtstofflampen nutzen (vgl. licht.de, Lichtwissen 07).

Neben den Hybridleuchten sind heute auch Pendel-, Einbau- und Stehleuchten auf dem Markt erhältlich, die ausschließlich LEDs als Leuchtmittel nutzen. Mit den zu erwartenden weiter fallenden Preisen von LEDs wird die Marktdurchdringung in den kommenden Jahren voraussichtlich weiter zunehmen. Vor allem in Kombination mit modernen Tageslicht- und Präsenzsteuerungssystemen sind hier sehr hohe Energieeffizienzpotenziale realisierbar. Sie eignen sich für diese Anwendungen besonders durch deren lange Nutzlebensdauer sowie sehr hohe Schaltfestigkeiten in Kombination mit immer besseren Lichteigenschaften (Farbwiedergabe, Dimmbarkeit, Blendfreiheit usw.).

Für den weltweiten LED-Markt insgesamt kann ein jährliches Wachstum von 5% bis 2016 sowie 3% bis 2020 angenommen werden (McKinsey 2012).

4.4 Preise

4.4.1 Leuchten

Die Preise von Leuchten für die Anwendung in Büros und verwandten Einsatzbereichen variieren je nach Design, Lichtausbeute sowie Lichtqualität (z.B. Blendfreiheit). Ein Lichtplaner kann ein Büro anhand einer Vielzahl von Leuchten-Kombinationen so ausleuchten, dass die gesetzlich geforderte Beleuchtungsstärke von 500 lux „auf den für die Sehaufgabe relevanten Teilflächen“ (vgl. ASR 3.4) erreicht wird. Bei der Ausstattung von Bürogebäuden mit Leuchten ist der Kauf von Einzelstücken jedoch untypisch. Eine einheitliche Ausstattung mehrerer Büros mit baugleichen Leuchten im Rahmen einer umfassenden Lichtplanung ist hier die Regel. Da es sich beim Büroleuchtenmarkt um einen reinen „business-to-business“

(B2B)-Markt handelt, sind maßgeschneiderte Komplettangebote inklusive Rabatte für den Einbau in Neubauten oder für die Sanierung üblich.

Zur Übersicht werden nachfolgend durchschnittliche Preise auf Grundlage der Angaben der drei Hersteller Trilux, Philips und Siteco (Osram) angeführt. Es wurden jeweils typische Leuchten jeder Kategorie miteinander verglichen. Im Preis ist jeweils ein elektronisches Vorschaltgerät mit inbegriffen, das Lampen mit verschiedenen Leistungsaufnahmen betreiben kann (Multi-Lamp), jedoch nicht dimmbar ist. Die Preise steigen mit dem jeweiligen Vorschaltgerät in folgender Reihenfolge: nicht dimmbar, dimmbar, digital dimmbar (DALI-Bus-System).

Tabelle 1 Mittlere Preise von Büroleuchten nach Typ, Quelle: Trilux, Philips, Siteco

Leuchtentyp	Leuchtmittel / Leistung	Durchschnittlicher Preis ² € (UVP) inkl. Vorschaltgerät, inkl. MwSt.
Deckenanbauleuchten	1 x Lineare Leuchtstofflampe z.B. 28 W	229 €
Deckeneinbauleuchten	3 x Lineare Leuchtstofflampe z.B. 14 W	264 €
Pendelleuchten (Hängeleuchten)	1 x Lineare Leuchtstofflampe z.B. 28 W	268 €
Wandleuchten	1 x Lineare Leuchtstofflampe z.B. 28 W	223 €
Stehleuchten	3 x Kompaktleuchtstofflampe z.B. 55 W	1084 €
Einbau-Downlights, rund (dt. auch Tiefstrahler)	Kompaktleuchtstofflampe TC-TEL 26/32 W	187 €
Strahlerleuchten	Halogenmetaldampflampe HIT-TC 35 W	267 €
Tischleuchten	Kompaktleuchtstofflampe / LED	64 € LED-Leuchten, ab ca. 268 €

Für die orientierende Ökobilanz sowie die Lebenszykluskostenanalyse in Teil II wurde eine typische, qualitativ hochwertige Büro-Deckenanbauleuchte (Gehäuse inklusive dimmbarem elektronischem Vorschaltgerät, exkl. T5-Leuchtstofflampe) eines großen Leuchtenherstellers in Deutschland herangezogen. Diese kostete zum Zeitpunkt der Berichterstellung als Einzelstück im Großhandel 171 Euro (vgl. Kap. 13, Orientierende Ökobilanz und Lebenszykluskostenanalyse).

² Für die Preisrecherche wurden vergleichbare Leuchten des gleichen Typs der Hersteller Trilux, Philips und Siteco (Tochterunternehmen von Osram) berücksichtigt.

4.4.2 Vorschaltgeräte

Es befindet sich eine Vielzahl von unterschiedlichen Vorschaltgeräten für Leuchtstofflampen auf dem Markt. Sie unterscheiden sich zunächst nach der Bauart (EVG oder VVG, vgl. CELMA-Klassifizierung). Elektronische Vorschaltgeräte unterscheiden sich zudem je nach Bauart und Anzahl der Leuchtstofflampen, für deren Betrieb sie vorgesehen sind und ob sie dimmbar sind. Außerdem unterscheiden sie sich danach, ob sie für den Betrieb eines Lichtsteuerungssystems vorgesehen sind (z.B. DALI-Bus, vgl. Stratmann & Gröger 2012, PROSA Lichtmanagementsysteme).

Eine Übersicht über die Bandbreite der Preise ist der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 2 Preisübersicht für Vorschaltgeräte, Quelle:Angaben der Hersteller Osram, Philips und Vossloh-Schwabe sowie eigene Recherchen (Stand Febr. 2013)

Vorschaltgerät / Lampentyp	Dimmbarkeit / Lichtsteuerung (DALI)	Bandbreite der UVPs der Hersteller (inkl. Mwst.)
EVG/T16-Leuchtstofflampen	nicht dimmbar	60–70 €
	dimmbar 1...10 V	105–130 €
	Lichtsteuerung (DALI-Bus)	70–90 €
EVG/T8-Leuchtstofflampen	Nicht dimmbar / kein DALI-Bus	25–40 €
	dimmbar 1...10 V / kein DALI-Bus	90–145 €
	Lichtsteuerung (DALI-Bus)	75–90 €
Verlustarme Vorschaltgeräte (VVG)	-	5–15 €

Konventionelle Vorschaltgeräte (KVG) befinden sich nicht mehr auf dem Markt.

4.4.3 Lineare Leuchtstofflampen

Die Preise für lineare Leuchtstofflampen unterscheiden sich nach der Bauart (High Efficiency / High Output, vgl. auch EU-Verordnung 245/2009), teilweise nach der Farbtemperatur (in Kelvin) und dem Lichtstrom der Lampe. Da die beiden Hersteller Philips und Osram den deutschen Markt dominieren, werden aktuelle Preise dieser Hersteller betrachtet. Die folgende Tabelle zeigt die Bandbreite der Preise für die häufigsten linearen Leuchtstofflampen.³

³ Aktuelle Preise weiterer Bauarten (z.B. ringförmig) können den Preiskatalogen der beiden marktdominierenden Lampenhersteller in Deutschland entnommen werden. Vgl. dazu <http://www.osram.de/media/resource/HIRES/337551/3914928/konventionelle-lampen-und-evg--unverbindliche-preisempfehlung.pdf>, sowie http://www.lighting.philips.de/pwc_li/de_de/connect/tools_literature/Assets/Philips_Preisinformation_Gro%C3%9Fhandel_Lampen_Vorschaltgeraete_Leuchten_Deutschland_UVPE_2012.pdf, (Zugriff am 27.2.2013).

Tabelle 3 Bandbreiten der Preise der häufigsten linearen Leuchtstofflampen auf dem deutschen Lampenmarkt, Quelle: Osram GmbH, Philips Deutschland GmbH (Stand Feb. 2013)

Lampentyp	Lampenmodelle	UVP des Herstellers ⁴ (inkl. MwSt.)
T16-Leuchtstofflampen	High efficiency (HE)	6–12 €
	High efficiency <ul style="list-style-type: none"> • energy saver (HE ES) • high efficiency eco (HE Eco) 	14–20 €
	High output (HO)	6–20 €
	High output <ul style="list-style-type: none"> • energy saver (HO ES) • high output eco (HO Eco) 	14–21 €
	High Output Constant (CO) [Amalgamtechnologie]	10–13 €
T8-Leuchtstofflampen	Standardlampen Stabform	5–24 € (je nach Lichteigenschaften)
	Stabform mit verlängerter Lebensdauer (Long life)	20 €
	Stabform mit sehr langer Lebensdauer (Long life XXT)	30–40 €
	Energy saver (ES)	11–12 €

4.4.4 LED-Lampen

In Bürogebäuden und verwandten Bereichen, z.B. Schulen, kommen immer häufiger LED-Lampen zum Einsatz (siehe Kapitel 4.3, Markttrends). Nachfolgend werden aktuelle preisliche Bandbreiten von repräsentativen Lampentypen (z.B. LED-Retrofit-Röhren, Downlights etc.) aufgeführt. Generell gilt, dass die Preise für LED-Lampen umso höher sind, je größer ihr Lichtstrom (lm) ist.

Tabelle 4 Bandbreiten der Preise der häufigsten LED-Lampen auf dem deutschen Lampenmarkt, Quelle: Osram GmbH, Philips Deutschland GmbH sowie DEHA-Elektrohandelsgesellschaft mbH & Co. KG

LED-Lampe	Modell	Preise [€] (inkl. MwSt.)
Strahler / Spots (gerichtete Beleuchtung)	Niedervolt-Spot (Sockel: GU 5.3)	20 € (190 lm) – - 70 € (500 lm)
	Hochvolt-Spot (Sockel: GU10)	18 € (170- lm) – 60 € (620 lm)
T8-LED-Retrofit (SubstiTUBE, Osram)	Sockel G13	57 € – 112 ⁵ €
T16-LED-Retrofit (Master LEDtube GA, Philips)	Sockel T5	60 € – 160 ⁶ €

⁴ Für die Preisrecherche wurden Lampen der beiden Hersteller Osram und Philips betrachtet.

⁵ Eigene Recherche, Großhandel.

⁶ Die Preise steigen mit der Leistungsaufnahme und variieren mit der Farbtemperatur, vgl. http://www.lighting.philips.de/pwc_li/de_de/connect/tools_literature/Assets/Philips_Preisinformation_Gro%C3%9Fhandel_Lampen_Vorschaltgeraete_Leuchten_Deutschland_UVPE_2012.pdf, (Zugriff am 27.2.2013).

4.5 Technologietrends

Traditionelle Beleuchtungssysteme setzen sich aus den Einzelkomponenten Lampe, Leuchte und Vorschaltgerät zusammen (z.B. T5-Leuchtstofflampen mit elektronischem Vorschaltgerät und Leuchte). Diese Differenzierung der traditionellen Einzelkomponenten geht durch die fortschreitende Marktdurchdringung von LEDs verloren. Die klare Trennung von Lampe und Leuchte ist bei der LED-Technologie oft nicht mehr möglich. So sind LEDs teilweise fest in die Leuchte eingebaut oder bilden als sogenannte „Light-Engine“ eine neue Komponenteneinheit (vgl. Zhaga-Module).

Folge dieser technologischen Entwicklung ist, dass traditionelle Lampenhersteller wie Osram und Philips zunehmend in den Leuchtenmarkt eintreten. Aber auch der umgekehrte Fall ist zu beobachten. Traditionelle Leuchtenhersteller (wie z.B. Zumtobel) drängen auf den neuen, gemeinsamen Leuchtmittelmarkt. Darüber hinaus treten auf dem Markt für LED-Leuchtmittel eine Vielzahl von neuen Anbietern, insbesondere mit LED-Know-How aus dem Bereich Informations- und Kommunikationstechnologien (z.B. Hintergrundbeleuchtung von Fernsehern und Bildschirmen) auf.

Die am Markt vertretenen Beleuchtungstechnologien unterscheiden sich voneinander maßgeblich durch ihre Lichtausbeute (lm/W) sowie durch ihre Lebensdauer. Aber auch die Merkmale maximale Anzahl der Schaltzyklen, Dimmbarkeit, Farbwiedergabe und Entsorgung unterscheiden sich maßgeblich. Einen Überblick über die wichtigsten Merkmale im Vergleich ist Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5 Beleuchtungstechnologien im Vergleich, nach Gasser et al. 2012a

Beleuchtungstechnologie	Lichtausbeute (lm/W)	Lebensdauer (h)	Schaltzyklen	Dimmbarkeit	Farbwiedergabe CRI	Entsorgung	Leistungsbereich
Glühlampen	10–15	1000	beliebig	immer	100 (optimal)	Hausmüll	10 W – 2000 W
Halogen-glühlampen	ca. 20	2000	beliebig	immer	100 (optimal)	Hausmüll	10 W – 2000 W
Leuchtstofflampen (mit EVG)	40–100	6000–30000	5000-1000 (Kaltstartlampen) bis 500.000 (Warmstartlampen)	Mit speziellem EVG	80-90	Sondermüll (Quecksilber)	3 W – 80 W
Entladungslampen (Halogenmetaldampflampen)	80–10	5000–10000	begrenzt	nein	80-90	Sondermüll (Quecksilber)	3 W – 100 W
LED	50–100	20.000–30.000 (teilweise auch länger)	Bis zu 1.000.000	Je nach Modell	Über 90 möglich	Elektroschrott	

Lineare Leuchtstofflampen

Die verbreitetste Lampentechnologie für die allgemeine Bürobeleuchtung stellen die sogenannten linearen Leuchtstofflampen (LLL) dar, die umgangssprachlich auch als „Leuchtstoffröhren“ bezeichnet werden. Sie gehören zu den Gasentladungslampen. Die Glasröhren sind auf der Innenseite mit einem fluoreszierenden Leuchtstoff beschichtet und mit einem Edelgas (z.B. Argon oder Krypton) und einer geringen Menge Quecksilber gefüllt. An beiden Enden der Röhre befinden sich Elektroden aus Wolfram. Setzt man diese unter Spannung sendet der Quecksilberdampf durch die Entladung UV-Strahlen aus. Trifft diese auf den Leuchtstoff emittiert dieser sichtbares Licht. Helligkeit und Lichtfarbe lassen sich über den Leuchtstoff variieren (Reichenbach 2009).

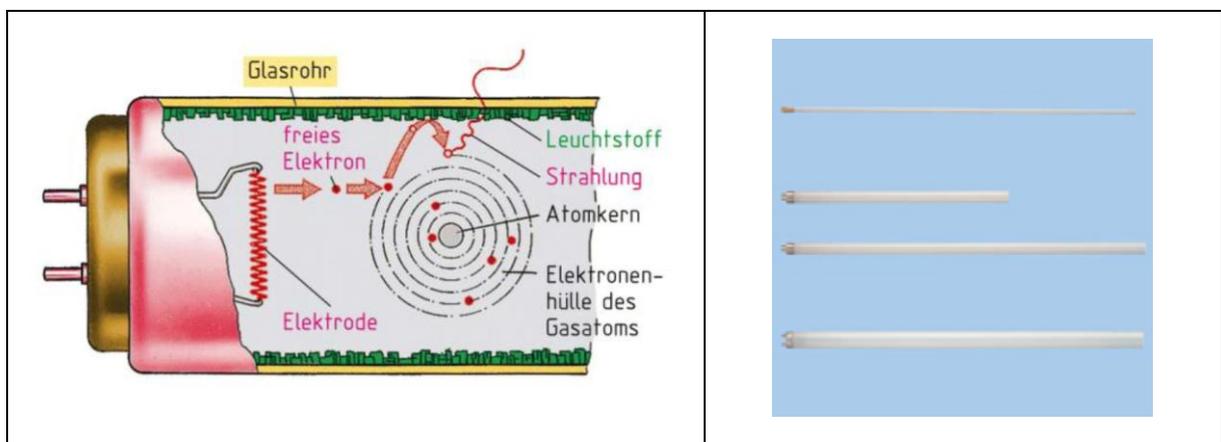


Abbildung 4 Funktionsprinzip einer Leuchtstofflampe; Quelle: Reichenbach, F. Züblin AG

Abbildung 4 stellt das beschriebene Funktionsprinzip einer Leuchtstofflampe schematisch dar. Im Gegensatz zum Tageslicht wird bei dieser Art der Lichterzeugung nicht das ganze Spektrum des sichtbaren Lichts gleichmäßig verteilt wiedergegeben. Da die Spitzen eher im Blaubereich liegen wird die abgegebene Lichtfarbe oft als „kalt“ empfunden. Tageslichtähnliches Licht strahlen Vollspektrumlampen aus. Dies sind Leuchtstofflampen, unter welchen man die Farben von Objekten sehr gut erkennen kann (ähnlich wie unter Tageslicht).

Lineare Leuchtstofflampen sind folgendermaßen standardisiert: Neben einer Abkürzung für den Lampentyp (hier: „T“ für engl. Tube) erfolgt der Durchmesser der Röhre in Achtel Zoll (25,4 mm / 8 = 3,175 mm). Grundsätzlich gibt es Lampen von T2-T5 sowie T8, T9 und T12 Lampen. Die heute weitverbreitetsten linearen Leuchtstofflampen sind T5-Röhren (15,875 mm) und T8-Röhren (25,4 mm). T4-Röhren werden in platzsparenden Lichtleisten eingesetzt. Die veralteten T12-Röhren werden nach und nach ersetzt.

Die Länge der Lampen ist standardisiert und orientiert sich an der Leistung. T4-Lampen sind zwischen 454 mm (16 W) und 751 mm (30 W) lang, T5-Lampen haben i.d.R. vier möglich Längen: 288 mm (8 W), 549 mm (14-24 W), 849 mm (21-39 W), 1149 mm (25-54 W),

1449 mm (32-80 W). T8-Lampen sind zwischen 33 mm und 1500 mm, in seltenen Fällen auch 1800 mm lang (DIN EN 60081).

T5-Röhren gibt es in zwei Ausführungen: Zum einen mit einer besonders hohen Lichtleistung (Angabe: HO für „High Output“ oder FQ für „Fluorescent Quintron“) oder mit einer besonders hohen Energieeffizienz (HE für „High Efficiency“ und FH für „Fluorescent High Efficiency“).

Nach Reichenbach 2009 erreichen die modernsten und sparsamsten T5-Leuchtstoffröhren (16 mm) eine Lichtausbeute von 104 lm/W (bei 35°C). Sie sind ausgelegt auf den Betrieb mit EVGs und rund 20% wirtschaftlicher als die älteren T8-Röhren (26 mm). Folgende Vorteile ergeben sich nach Reichenbach für T5-Lampen im Vergleich zu T8-Lampen:

- 1) T5 Röhren haben mit 16.000 bis 30.000 Stunden im Vergleich eine längere Lebensdauer als T8-Röhren mit 6.000 bis 8.000 Stunden
- 2) Nach 24.000 Betriebsstunden beträgt die Lichtausbeute bei neuen T5-Röhren noch 95%. Die T8-Röhre hat nach etwa 4.000 Stunden bereits nur noch eine Lichtausbeute von 80%.

Lichtemittierende-Dioden (LED)

Lichtemittierende Dioden (LEDs) sind Halbleiterbauteile, die in der Informations- und Kommunikationstechnik seit Jahrzehnten verwendet werden. Jedoch erst um das Jahr 2000 wurde es technisch möglich, blaue LEDs so zu beschichten, dass qualitativ hochwertiges weißes Licht erzeugt werden konnte, sodass eine weitere Entwicklung in Richtung Anwendung für die allgemeine Beleuchtung möglich wurde. Wie die oben stehende Tabelle zeigt, haben LEDs eine Reihe von Vorteilen gegenüber konventionellen Lichttechnologien. Sie weisen schon heute eine hohe Energieeffizienz auf, die Lebensdauer ist sehr lange, sie starten sofort, lassen sich gut dimmen, haben eine kompakte Bauweise und die Farben können gut moduliert werden.

Die LED-Technik wird die künstliche Beleuchtung in den nächsten zehn Jahren voraussichtlich revolutionieren. Gasser et al. (2012a) vergleichen die Entwicklung mit dem Übergang von der Schallplatte zur CD. Die Energieeffizienz wird sich auf etwa 150 lm/W verdoppeln und der Leistungsbereich wird soweit ausgedehnt, dass so gut wie alle Beleuchtungszwecke durch LEDs bereitgestellt werden können. Daneben werden die Preise weiter fallen, wobei schwer vorherzusagen ist, mit welcher Geschwindigkeit. Neben wirtschaftlichen Faktoren hängt dies von der Verfügbarkeit der Rohstoffe ab, die für die LED-Produktion benötigt werden (vgl. Gasser et al. 2012a).

Organische Lichtemittierende Dioden (OLED)

Über die LED-Technik hinaus wird intensiv an sogenannten organischen LEDs (kurz: OLEDs) geforscht. Die Vorteile von OLEDs liegen im geringeren Materialbedarf sowie der Möglichkeit, auf dünnem Untergrund flächige Lichtquellen herzustellen. Derzeit erreichen OLEDs jedoch noch geringe Wirkungsgrade (ca. 20 lm/W) und Lebensdauern. Visionär sind

sehr dünne flächige OLEDs, die wie eine Tapete als Rolle gekauft werden kann, um ganze Wände zu erleuchten. Experten halten den Durchbruch der OLEDs derzeit erst mittelfristig (ca. 10 Jahre oder mehr) für möglich.

Vorschaltgeräte

Zum Betrieb von Leuchtstofflampen werden Vorschaltgeräte benötigt. Je nach Lampentyp werden konventionelle (magnetische) Vorschaltgeräte (KVG) bzw. deren Weiterentwicklung verlustarme Vorschaltgeräte (VVG) oder elektronische Vorschaltgeräte (EVG) eingesetzt. KVGs und VVGs benötigen zudem einen elektronischen Starter.

Elektronische Vorschaltgeräte (EVGs) betreiben die Leuchtstofflampe mit einer höheren Frequenz als KVGs bzw. VVGs, typischerweise bei 45 KHz. Weitere Vorteile gegenüber dem KVG / VVG sind das geringere Gewicht und die geringere Größe. Außerdem sind die Verluste an elektrischer Energie von EVGs geringer als bei KVGs.

Der europäische Dachverband der Hersteller von Leuchten und Leuchtenzubehör (CELMA) hat eine Klassifizierung von Lampen-Vorschaltgeräten eingeführt, die sich an der Systematik der europäischen Energieeffizienzkennzeichnung orientiert (CELMA/ELC 2010). Die Effizienz von Vorschaltgeräten wird nach der CELMA-Klassifizierung, wie die nachfolgende Abbildung zeigt, in 7 Klassen eingeteilt:

Tabelle 6 CELMA-Klassifizierung von Vorschaltgeräten

Bezeichnung	Energieeffizienzklasse nach CELMA	Anmerkung
Konventionelle, magnetische Vorschaltgeräte (KGV) mit hohen Energieverlusten	D	Seit 2002 in der EU nicht mehr erlaubt
Konventionelle, magnetische Vorschaltgeräte (KGV) mit moderaten Energieverlusten	C	Seit 2005 in der EU nicht mehr erlaubt
Verlustarme, magnetische Vorschaltgeräte (VVG) mit geringen Energieverlusten	B2	
Verlustarme, magnetische Vorschaltgeräte (VVG) mit sehr geringen Energieverlusten	B1	
Elektronische Vorschaltgeräte (EVG)	A3	
Elektronische Vorschaltgeräte (EVG) mit reduzierten Energieverlusten	A2	
Dimmbare elektronische Vorschaltgeräte (EVG)	A1	

Es befinden sich zudem weiterentwickelte magnetische Vorschaltgeräte auf dem Markt, die den Energieeffizienzstandard der Klasse A2 erreichen.

5 Energieeffizienz

5.1 Einsparpotenzial

Modere Beleuchtungssysteme für Bürogebäude und verwandte Anwendungsbereiche weisen gegenüber den immer noch weit verbreiteten Altanlagen aus den 1970er bzw. (konventionelle Vorschaltgeräte mit Standard-T8-Leuchtstofflampen) und 1980er Jahren (verlustarme Vorschaltgeräte mit 3-Banden-Leuchtstofflampen) sehr hohe Energieeinsparpotenziale auf. Gegenüber einer Altanlage aus den 1980er Jahren liegen sie in der Größenordnung von 35%, gegenüber einer Altanlage aus der 1970er Jahren liegen sie in der Größenordnung von 55% (Quelle: licht.de). In Abbildung 5 wird dieses Einsparpotenzial dargestellt.

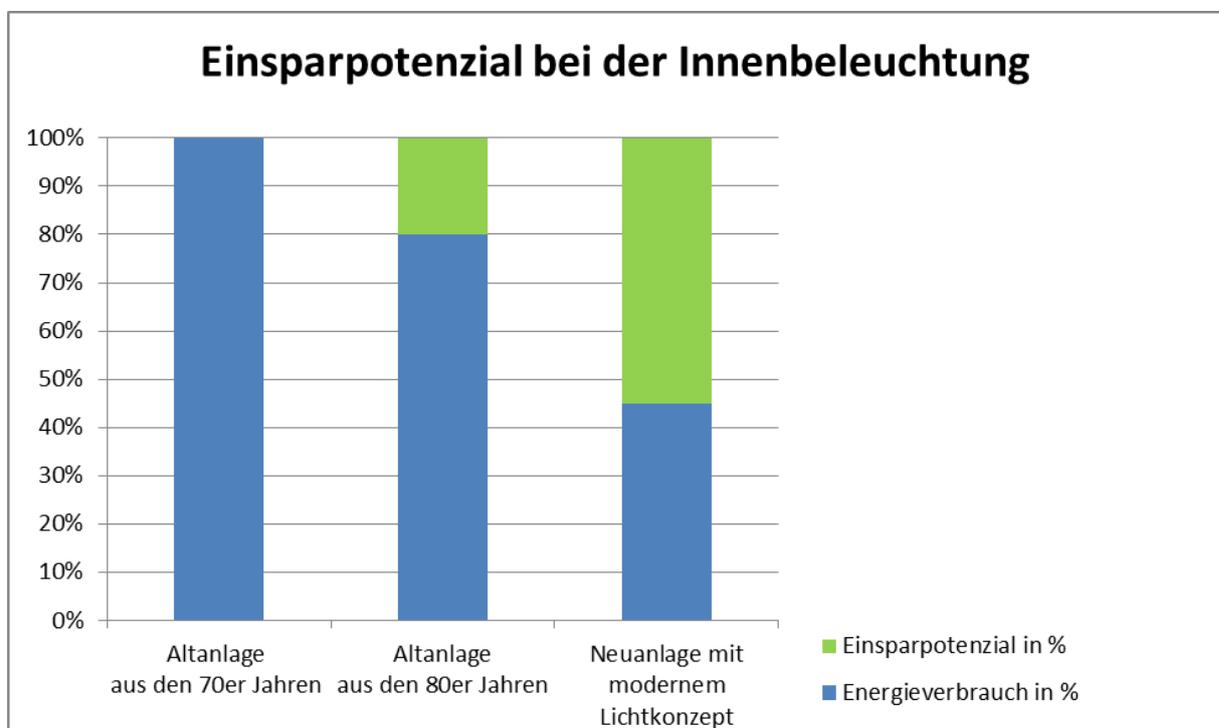


Abbildung 5 Einsparpotenzial bei der Innenbeleuchtung im Vergleich; Altanlage 70er Jahre: Standard-Leuchtstofflampen, 38mm an Konventionellem Vorschaltgerät (KVG); Altanlage 80er Jahre: 3-Banden-Leuchtstofflampe, 26mm an Verlustarmem Vorschaltgerät (VVG); Neuanlage: Leuchtstofflampe, 16mm an Elektronischem Vorschaltgerät (EVG) mit sehr geringer Verlustleistung und energieeffizienter Leuchte; Quelle: nach ZVEI-Licht

Weitere, sehr hohe Einsparpotenziale können durch die Installation von modernen Lichtsteuerungssystemen (Tageslichtsteuerung, Präsenzsteuerung) realisiert werden. Diese liegen jedoch außerhalb des Untersuchungsgegenstandes dieser Studie und werden in einer eigenen PROSA-Studie zu Lichtmanagementsystemen (Stratmann & Gröger 2012) gesondert behandelt.

5.2 Lichtausbeute und Leuchteneffizienzfaktor (LEF)

Ein wesentlicher ökologischer Aspekt bei der Beleuchtung von Bürogebäuden und ähnlichen Anwendungsbereichen ist der Stromverbrauch während der Nutzung (vgl. Kap. 13, Orientierende Ökobilanz und Lebenszykluskostenanalyse). Aus Umweltgesichtspunkten ist die Energieeffizienz von Leuchten deshalb eine der relevantesten Eigenschaften im Bereich der Innenraumbelichtung. Das Maß für die Energieeffizienz von Leuchten ist deren Lichtausbeute inklusive Betriebsgeräten und Leuchtmittel. Sie wird in Lumen pro Watt [lm/W] angegeben. Je größer die Lichtausbeute einer Leuchte ist, desto höher ist der Lichtstrom, den sie im Verhältnis zu ihrer Leistungsaufnahme abgibt. Damit steigt die Energieeffizienz.

Gemessen wird die Lichtausbeute einer Leuchte anhand des Leuchteneffizienzfaktors (LEF). Die entsprechende Norm zur Messung ist die EN 13032 (siehe Kapitel 10, Normen, Standards und Richtlinien). Er setzt sich aus dem Produkt der Wirkungsgrade von Leuchtmittel, Betriebsgerät und Leuchte zusammen (vgl. Gasser et al. 2012). Das heißt, dass sowohl die Lichtausbeute des Leuchtmittels, der Verlust des Vorschaltgeräts als auch der Wirkungsgrad der Leuchte selbst (letzterer wird auch als LOR=Light Output Ratio bezeichnet) eine Rolle spielen.

5.3 Analyse der Energieeffizienz von Leuchten

Das Schweizer Minergie-Label (Fassung von 2007, vgl. Kapitel 8, Umweltzeichen) stellt Anforderungen an den Leuchteneffizienzfaktor (LEF) und damit an die Lichtausbeute der gesamten Leuchten inklusive Vorschaltgerät und Leuchtmittel.

In diesem Kapitel wird auf der Datengrundlage von 706 Leuchten, die seit 2007 mit dem Minergie-Zeichen zertifiziert wurden (Gasser 2012b), die Energieeffizienz von Leuchten analysiert. Diese Analyse dient im Anschluss zur Ableitung von möglichen Anforderungen an ein aktuelles Umweltzeichen für Bürobeleuchtung. Da sich die Märkte für Leuchten zwischen Deutschland und der Schweiz kaum unterscheiden, eignen sich die Daten für die Definition von Energieeffizienzanforderungen für den deutschen Markt sehr gut. Es wird die oben aufgeführte Leuchtentypologie verwendet.

Die Auswertung der 706 Leuchten ist in Tabelle 7 dargestellt:

Tabelle 7 Lichtausbeute von Minergie-zertifizierten Leuchten (Auswertung 2012), Quelle: Gasser 2012b

Leuchtentyp	Anzahl N	Lichtausbeute					Empfehlung für Umweltzeichen	Bemerkung
		Minergie-Anforderung	Minimum	Maximum	Mittel	Median		
Stehleuchten	140	≥ 55 lm/W	55 lm/W	98 lm/W	68 lm/W	65 lm/W	70 lm/W	deutliche Steigerung erwartet
Pendelleuchten	191	≥ 65 lm/W	47 lm/W	98 lm/W	71 lm/W	70 lm/W	70 lm/W	
Decken-Anbau-Leuchten	145	≥ 55 lm/W	48 lm/W	84 lm/W	68 lm/W	67 lm/W	65 lm/W	
Decken-Einbau-Leuchten	84	≥ 55 lm/W	49 lm/W	81 lm/W	66 lm/W	65 lm/W	65 lm/W	
Downlights	78	≥ 50 lm/W	43 lm/W	105 lm/W	65 lm/W	67 lm/W	65 lm/W	unter 20 W bis 50 lm/W abfallend
Strahler	40	≥ 50 lm/W	40 lm/W	70 lm/W	61 lm/W	60 lm/W	60 lm/W	unter 20 W bis 50 lm/W abfallend
Tischleuchten	19	≥ 40 lm/W	38 lm/W	60 lm/W	58 lm/W	63 lm/W	50 lm/W	tiefer als Median, da wenig Leuchten
Wandleuchten	9	≥ 55 lm/W	70 lm/W	97 lm/W	73 lm/W	76 lm/W	70 lm/W	tiefer als Median, da wenig Leuchten
Total	706	56 lm/W			68 lm/W	67 lm/W	67 lm/W	

Die Auswertung der Daten zeigt, dass Leuchten mit geringen elektrischen Anschlussleistungen (z.B. Tischleuchten) tendenziell auch geringere Lichtausbeuten aufweisen. Grund sind die physikalischen Eigenschaften der Leuchtmittel und der Eigenverbrauch der Vorschaltgeräte. Bei der Festlegung eines einheitlichen Mindestwertes für die Lichtausbeute für alle Lampen würden daher Leuchten mit niedriger Leistungsaufnahme systematisch benachteiligt. Deshalb wird für die Entwicklung eines Umweltzeichens Blauer Engel für Büroleuchten und verwandte Einsatzbereiche eine vom Umweltbundesamt (UBA) in Zusammenarbeit mit dem Öko-Institut entwickelte Aufwandskennzahl PGN verwendet. Die dimensionslose Aufwandskennzahl PGN ist abhängig von der Leistungsaufnahme und der Lichtausbeute und beschreibt die jeweils zulässigen Höchstwerte für eine energieeffiziente Leuchte.⁷

⁷ Die Bezeichnung PGN für eine dimensionslose Aufwandskennzahl geht auf Herrn Mordziol, UBA zurück.

Die Aufwandskennzahl PGN errechnet sich wie folgt:

$$PGN (P_L, \Phi_L) = P_L / (0,01029 * (0,88 * \sqrt{\Phi_L} + 0,049 * \Phi_L))$$

mit Φ_L : Lichtstrom der Leuchte; P_L : Leistungsaufnahme der Leuchte

Die Formel orientiert sich am Verlauf der Energieeffizienzklassen für Leuchtmittel der Richtlinie 98/11/EG (S.8) der europäischen Kommission.

Eine Orientierung an den Empfehlungen in Tabelle 4 ergibt folgende PGN-Höchstwerte (für die exakten Werte siehe Anhang).

Tabelle 5 Höchstwerte für die dimensionslose Aufwandskennzahl PGN_{max}

Leuchtentyp	Aufwandskennzahl PGN_{max}
Stehleuchten	24
Pendelleuchten	22
Decken-Anbau-Leuchten	23
Decken-Einbau-Leuchten	23
Tiefstrahler (Downlights)	23
Strahlerleuchten	25
Tischleuchten	26
Wandleuchten	22

Die **Übertragung der PGN-Werte in ein typisches Schaubild**, das die Lichtausbeute inkl. Vorschaltgerät und Leuchtmittel (Leuchteneffizienz-Faktor) in lm/W in Abhängigkeit von der Leistungsaufnahme der Leuchte abbildet, ergibt folgendes Bild.

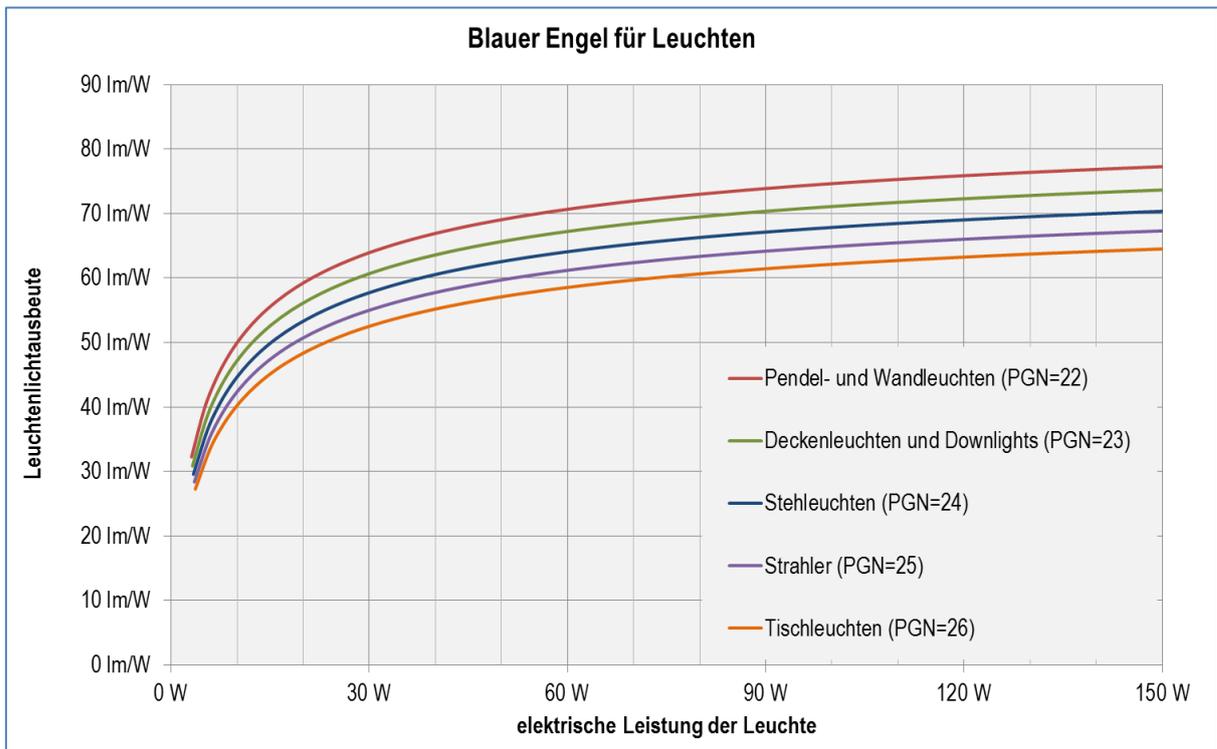


Abbildung 2 Lichtausbeute der Leuchte inkl. Vorschaltgerät und Leuchtmittel in Abhängigkeit der elektrischen Leistung und der Aufwandskennzahl PGN; Quelle: Öko-Institut / Gasser 2012b

Abbildung 2 zeigt, dass an Pendel- und Wandleuchten mit einer Aufwandskennzahl von PGN=22 die strengsten Anforderungen an die Energieeffizienz angelegt werden. Die Anforderungen an Deckenleuchten und Downlights liegen mit PGN=23 leicht darunter, gefolgt von der Anforderung an Stehleuchten (die auf der Expertenanhörung von PGN=24, wie für Pendel und Wandleuchten, auf PGN=22 gesenkt wurde). Die niedrigsten Anforderungen werden an Strahler (PGN=25) und Tischleuchten (PGN=26) gestellt. Je geringer die Leistungsaufnahme desto stärker fällt die Anforderung an die Lichtausbeute der Leuchte inkl. Vorschaltgerät und Lampe ab.

5.4 Einsparpotenzial: Modellbeispiel

Eine Deckenanbauleuchte, wie sie für die orientierende Öko-Bilanz in Teil II verwendet wurde, hat eine Leistungsaufnahme von 34,2 W im Betriebszustand. Damit sie den oben genannten Effizienzkriterien entspricht, müsste sie eine maximale Aufwandskennzahl von PGN=23 aufweisen (entspricht einer Lichtausbeute von 62 lm/W). Der entsprechende Lichtstrom liegt hier bei 2120 Lumen pro Leuchte.

Zum Vergleich, eine Leuchte, die einen PGN-Wert von 28,5 (bzw. Lichtausbeute von 50 Lumen pro Watt) aufweist, benötigt für den gleichen Lichtstrom eine Leistungsaufnahme von 42,4 W.⁸

Unter der Annahme von zwei Leuchten pro Büro, einer jährlichen Brenndauer von 2.600 Stunden (10 Stunden an 260 Tagen, vgl. Kap. 13, Orientierende Ökobilanz und Lebenszykluskostenanalyse) ergibt sich ein Jahresstromverbrauch für die energieeffizienten Leuchten von 178 kWh/a (89 kWh/a * 2). Dem steht ein Jahresstromverbrauch von 220 kWh/a (110 kWh/a * 2) der ineffizienten Leuchten gegenüber. Daraus ergibt sich ein jährliches Einsparpotenzial von 42 kWh.

6 Schadstoffe

6.1 Quecksilber in Leuchtstofflampen

Marktgängige Leuchtstofflampen kommen nicht ohne eine kleine Menge an Quecksilber aus.⁹ Das gilt für lineare Leuchtstofflampen wie für Kompaktleuchtstofflampen (ugs. „Energiesparlampen“). Es ist allerdings möglich, die Quecksilbermenge in den Lampen zu reduzieren. Derzeit enthalten die linearen Leuchtstofflampen auf dem Markt mit dem wenigsten Quecksilbergehalt 1,4 mg pro Lampe (T16-Leuchtstofflampen, Herstellerangabe PHILIPS). T8-Leuchtstofflampen mit dem geringsten Quecksilbergehalt enthalten nur 2,0 mg Quecksilber. Kompaktleuchtstofflampen enthalten derzeit mindestens 1,2 mg Quecksilber (Gasser et al. 2012a).

6.2 EU-RoHS-Richtlinie

Die Menge an Quecksilber, die für den Betrieb von Leuchtstofflampen in der Europäischen Union erlaubt ist, wird in der EU-Richtlinie Nr. 2011/65/EU¹⁰, der sogenannten RoHS-Richtlinie („Restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment“) geregelt. Grundsätzlich legt die Richtlinie die zulässigen Höchstkonzentrationen in homogenen Werkstoffen von 0,1% für Blei, Quecksilber, sechswertiges Chrom, Polybromierte Biphenyle (PBB) sowie Polybromierte Diphenylether (PBDE) fest. Darüber hinaus ist für Cadmium eine Höchstkonzentration von 0,01% festgelegt.

⁸ Für den Vergleich wurde nur der Betriebszustand betrachtet. Die Standby-Verluste wurden für beide Leuchten als gleich angenommen und deshalb vernachlässigt.

⁹ Auf der Branchenmesse light & building 2012 wurde erstmals eine Leuchtstofflampe vorgestellt, die kein Quecksilber enthält, http://www.kit.edu/besuchen/pi_2012_9933.php

¹⁰ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:174:0088:0110:DE:PDF>

In Anhang III der RoHS-Richtlinie werden Ausnahmen für Anwendungen festgelegt, die diese zulässigen Höchstkonzentrationen überschreiten dürfen. Die folgende Tabelle zeigt die Ausnahmen für Quecksilber in Leuchtstofflampen für die häufigsten Leuchtstofflampentypen:

Tabelle 8 Aktuelle Grenzwerte für Quecksilber in Lampen, Quelle: EU-RoHS-Richtlinie, Anhang III

Anwendung	Eigenschaften pro Lampe	Aktuelle Höchstwerte
Kompaktleuchtstofflampen	< 30 W	2,5 mg (seit 1/2013)
	≥ 30 W und < 50 W	3,5 mg (seit 1/2011)
	< 50 W und < 150 W	5 mg
	≥ 150 W	15 mg
	Weitere Ausnahmen siehe RoHS-Richtlinie	
Lineare Leuchtstofflampen (Tri-Phosphor-Lampen, normale Lebensdauer)	Durchmesser < 9 mm (z.B. T2)	4 mg (seit 1/2012)
	Durchmesser ≥ 9 mm und ≤ 17 mm (z.B. T5)	3 mg (seit 1/2012)
	Durchmesser >17 mm und ≤ 28 mm (z.B. T8)	3,5 mg (seit 1/2012)
	Durchmesser > 28 mm (z.B. T12)	3,5 mg (seit 1/2013)
	Weitere Ausnahmen siehe RoHS-Richtlinie	

6.3 Exkurs: Amalgamtechnologie in linearen Leuchtstofflampen

In Leuchtstofflampen mit Amalgamtechnologie liegt das benötigte Quecksilber vor dem Einschalten nicht in flüssiger sondern in fester Form als amalgamierte Legierung vor. Beim Start der Lampe wird Quecksilber aus der festförmigen Legierung verdampft. Dies verlängert die Anlaufzeit der Lampe (Zeit bis ein bestimmter Anteil des Lichtstroms, z.B. 70%, erreicht wird).

Vorteil der Amalgamtechnologie ist, dass bei Lampenbruch das meiste Quecksilber in der Amalgamlegierung gebunden ist und nicht frei werden kann. Lediglich der verdampfte Anteil in der Röhre kann frei werden.

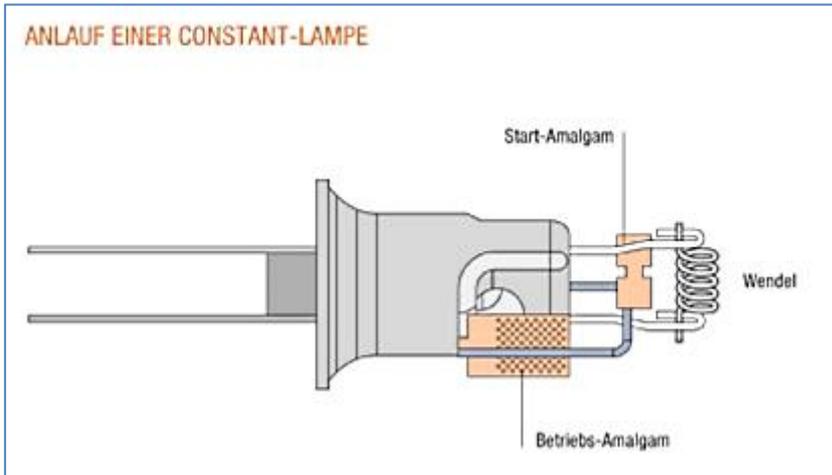


Abbildung 6 Anlauf einer Leuchtstofflampe mit Amalgamtechnologie, Quelle: Osram.

Die Technologie ist vor allem bei Kompaktleuchtstofflampen (Anwendung in Privathaushalten) auf dem Markt weit verbreitet (Hersteller: MEGAMAN u.a.). Vereinzelt ist die Technologie auch für lineare Leuchtstofflampen auf dem Markt zu finden.

Die Firma Osram hat, neben Kompaktleuchtstofflampen, auch lineare Leuchtstofflampen mit Amalgamtechnologie in der Produktpalette. Es sind die T5-Leuchtstofflampen Modell HO CONSTANT (HO steht für High Output).¹¹ Ein besonderer Vorteil dieser Modelle liegt beim weitaus größeren Temperaturbereich, in dem die Lampen effizient funktionieren (nach Osram.de). Sie erreichen 90% des Lichtstroms in einem Temperaturbereich zwischen 5°C und 70°C.

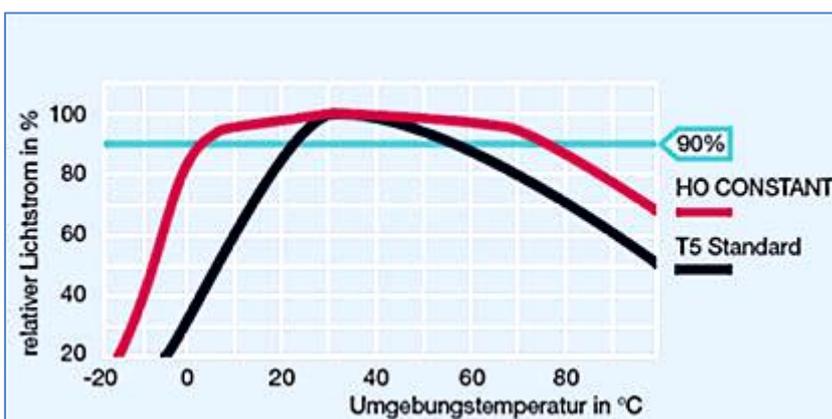


Abbildung 7 Vergrößerter Temperaturbereich von T5-Leuchtstofflampen durch die Amalgamtechnologie; Quelle: Osram

¹¹ Die Kompaktleuchtstofflampen OSRAM DULUX L CONSTANT sowie OSRAM DULUX T/E CONSTANT, Quelle: http://www.osram.de/osram_de/trends-und-wissen/kompaktleuchtstofflampen/kompaktleuchtstofflampen-stecksockel/professionelles-wissen/amalgamtechnologie/index.jsp

Osram empfiehlt den Betrieb der linearen Leuchtstofflampen mit Amalgamtechnologie mit seinen elektronischen Vorschaltgeräten Power Boost EVG QT_i (DALI)-DIM. Es garantiert den Betrieb in der Anlaufphase, solange in der Lampe Quecksilbermangel herrscht, da das Amalgam noch nicht genug Quecksilber freigesetzt hat („Pink Phase“). Diese Funktion ist besonders für die Dimmbarkeit der Lampe relevant.¹²

Der Quecksilbergehalt dieser Produktfamilie liegt bei 2,6 mg pro Lampe. Damit liegt der Quecksilbergehalt deutlich über den 1,5 mg der Produktfamilie LUMILUX.

Bei der Firma Philips sind ebenfalls Leuchtstofflampen (Linear, Kompakt) im Sortiment zu finden, welche die Amalgamtechnologie verwenden. In den Hintergrundinformationen werden Vorteile und Nachteile diskutiert. Vorteil der Amalgamtechnologie ist der größere Temperaturbereich, Nachteile sind eine geringere Anzahl an Schaltzyklen und die längere Anlaufzeit.

MEGAMAN hat keine linearen Leuchtstofflampen im Sortiment. PAULMANN hat T5- und T8 Leuchtstofflampen im Sortiment. Die T5-Lampen haben einen Quecksilbergehalt von 3,0 mg, T8-Lampen von 3,5 mg. Lineare Leuchtstofflampen mit Amalgamtechnologie sind bei PAULMANN nicht im Sortiment.¹³

Philips bietet das Produkt T5 HO Extreme auf dem US-amerikanischen Markt an (Stand: 2010).¹⁴ Diese LLL kommt mit 1,4 mg Quecksilber im Amalgam aus. Diese Lampe befindet sich nicht in der Angebotspalette für den deutschen Markt.¹⁵

Anwendungsbereiche

Aufgrund des großen Temperaturbereichs gibt Osram für seine Amalgamlampen folgende Anwendungsbereiche an:

- Industriebereiche
- Lagerhallen
- Kühlbereiche
- Unterführungen
- Vordachbereiche
- Tunnel
- Stadien

¹² Das Produktdatenblatt / Familiendatenblatt der T5-Leuchtstofflampe HO CONSTANT ist hier zu finden: http://www.osram.de/osram_de/produkte/lampen/leuchtstofflampen/leuchtstofflampen-t5/lumilux-t5-ho-constant/index.jsp?productId=ZMP_60231

¹³ http://www.paulmann.com/paulmann/app/displayApp/%28cpgsize=0&layout=7.0-9_8_9_8_8_8_74_69_76_8_8_1_7&uiarea=7&care=0000000012&cpgnum=1%29/.do?rf=y

¹⁴ http://www.usa.lighting.philips.com/pwc_li/us_en/connect/tools_literature/downloads/p-6077.pdf

¹⁵ Vgl. <http://www.ecat.lighting.philips.de/l/professionelle-lampen/leuchtstofflampen/19601/cat/>

Die Anwendungen in Bürogebäuden und verwandten Einsatzbereichen (Schulen, etc.) ist nicht vorgesehen. Die Temperatur in den genannten Gebäudeteilen beträgt in der Regel zwischen 19° und 22° C (Anforderung an eine an die Tätigkeit angepasste Raumtemperatur, Verordnung über Arbeitsstätten §3, Abs. 3.5).¹⁶

Lineare Leuchtstofflampen mit Amalgamtechnologie haben, wie vergleichbare Kompaktleuchtstofflampen, den Vorteil, dass das in den Lampen enthaltene Quecksilber bei abgekühlter Lampe in amalgamierter und damit fester Form gebunden ist. Bei Lampenbruch kann nur der zur Beleuchtung verdampfte Quecksilberanteil freigesetzt werden. Ein vergleichender Blick auf den Quecksilberanteil beider Lampen zeigt, dass die erhältlichen Amalgamlampen teilweise mehr Quecksilber enthalten (Osram). Teilweise benötigen die Lampen jedoch auch gleich viel Amalgam (PHILIPS). Diese Lampen sind jedoch nicht auf dem deutschen Markt verfügbar.

Die vorliegende Kurzrecherche zeigt, dass die Amalgamtechnologie bei linearen Leuchtstofflampen nur in Form von Speziallampen auf dem Markt erhältlich ist. Da ein relativer Lichtstrom von über 90% von Amalgamlampen bei Temperaturen zwischen 0° bis ca. 75 ° C erreicht wird, werden sie vorzugsweise für Anwendungen bei denen niedrige Temperaturen, (Kühlbereiche), hohe Temperaturen (Industriebereiche) oder hohe Temperaturschwankungen herrschen, eingesetzt.

Zwei Nachteile hemmen die breite Verwendung von Amalgamlampen in Bürogebäuden und vergleichbaren Anwendungsbereichen. Zum einen dauert die Verdampfung des benötigten Quecksilbers eine gewisse Zeit und verlängert so die Anlaufzeit. Zum anderen sind, nach Angaben der Hersteller (z.B. PHILIPS), Amalgamlampen weniger schaltfest. Beides sind Anforderungen, die für Bürogebäude eine vergleichsweise hohe Bedeutung haben. Aus diesem Grund werden die auf dem Markt befindlichen linearen Leuchtstofflampen mit Amalgamtechnologie nicht für die Anwendung in Bürogebäuden oder ähnlichen Anwendungen empfohlen.

6.4 Entsorgung von Leuchtstofflampen sowie LED-Lampen

Leuchtstofflampen müssen aufgrund des Quecksilbergehalts als Sondermüll entsorgt werden. Auf europäischer Ebene wird dies in der Elektro- und Elektronik-Altgeräte-Richtlinie 2012/19/EU (sog. „WEEE-Richtlinie“: Waste Electrical and Electronic Equipment) bzw. deren Vorgängerrichtlinien geregelt. In Deutschland wurde diese Richtlinie im Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) implementiert. Anhang I, Abschnitt 5 regelt, welche Beleuchtungskörper darunter fallen. Hersteller von Leuchtstofflampen sind verpflichtet diese

¹⁶ Das Land Niedersachsen gibt für Schulen (überwiegend sitzende Tätigkeit) eine Mindesttemperatur von 19°C vor. Für Büroräume (vergleichbar mit Unterrichtsräumen) werden 20-22°C empfohlen.

http://www.arbeitsschutz.nibis.de/seiten/themen/raumklima_pi/medien/Raumklima_info.pdf

zurückzunehmen und der sachgemäßen Entsorgung zuzuführen. In Deutschland wird dies über das Sammelnetz *Lichtzeichen* der Lightcycle Retourlogistik und Service GmbH (www.lightcycle.de) der Lampenhersteller organisiert. Darüber hinaus beteiligen sich kommunale Wertstoffhöfe an der Rücknahme.

Während die Recyclingquote von Leuchtstofflampen im Bereich der Privathaushalte immer noch auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau liegt (im Jahr 2007 noch bei ca. 10%, vgl. Zangl et al. 2010, PROSA Lampen in Privathaushalten), liegt sie im gewerblichen Sektor (wie z.B. zur Bürobeleuchtung) bei ca. 90% (vgl. VITO 2007).

Darüber hinaus fallen auch LED-Lampen (Sonstige Beleuchtungskörper außer Glühlampen und Leuchten) unter das ElektroG. Obwohl diese Leuchtmittel kein Quecksilber enthalten, handelt es sich um Elektrokleingeräte und damit im Entsorgungsfall um Elektroschrott.



Abbildung 8 Rücknahmemengen von Altlampen in Deutschland 2007 – 2011, Quelle: Lightcycle

7 Gesetzliche Mindestanforderungen und Energieeffizienzkennzeichnung

7.1 Gesetzliche Mindestanforderungen

Auf europäischer Ebene gelten seit dem Jahr 2009 gesetzliche Mindestanforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Beleuchtungsprodukten im tertiären Bereich (Dienstleistungssektor) insbesondere Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten mit Vorschaltgeräten. Bei der entsprechenden Verordnung handelt es sich um die Nr. 245/2009 der Europäischen Kommission zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG („Öko-Design“). Sie wurde im Jahr 2010 durch die Verordnung Nr. 347/2010 ergänzt.

Die Verordnung setzt technische Anforderungen an die genannten Produkte zur Allgemeinbeleuchtung, die sie in drei zeitlich gestaffelten Hauptstufen (Stufe 1: 13.04.2010, Stufe 2: 13.04.2012 und Stufe 3: 13.04.2017) anpasst.¹⁷

7.1.1 Lampen zur Allgemeinbeleuchtung im Dienstleistungssektor

Die EU-Verordnung Nr. 245/2009 regelt folgende Leistungskriterien für Lampen zur Allgemeinbeleuchtung im tertiären Bereich, d.h. Dienstleistungssektor (vgl. auch CELMA/ELC 2010 Leitfaden):

- Farbwiedergabe (Ra)
- Lichtausbeute (lm/W)
- Lampenlichtstromwartungsfaktor
- Lampenüberlebensfaktor

Daraus ergeben sich folgende konkrete Konsequenzen:

- Ab der ersten Stufe im Jahr 2010 dürfen keine Halophosphat-Leuchtstofflampen mehr auf den europäischen Markt gebracht werden, die T8-stabförmig, U-förmig oder T9-ringförmig sind.
- Ab 2012 gelten Leistungsanforderungen an Halophosphat-Leuchtstofflampen, die T4/T10/T12-stabförmig sind sowie an Halogen-Metaldampflampen (E27, E40, PGZ12-Sockel) und an Standard-Natriumdampf-Hochdrucklampen (E27, E40, PGZ12-Sockel).
- Ab 2015 dürfen ineffiziente Quecksilberdampf-Hochdrucklampen und Natriumdampf-Hochdrucklampen nicht mehr auf den EU-Markt gebracht werden.

¹⁷ Einige Anforderungen werden auch in zwei Zwischenstufen zum 13.10.2010 und 13.04.2015 angepasst. Eine Überprüfung der Anforderungen unter Berücksichtigung des technischen Fortschritts soll spätestens am 14.04.2014 erfolgen.

- Ab 2017 dürfen ineffiziente Halogen-Metaldampflampen mit E27, E40 und PGZ12-Sockel nicht mehr auf den Markt gebracht werden. Kompaktleuchtstofflampen mit Zweistiftsockel und integriertem Starter werden in der Praxis mit Vorschaltgeräten der Klasse A2 betrieben und werden deshalb (siehe Anforderungen Vorschaltgeräte) vom Markt genommen.

Folgende Übersicht fasst die Anforderungen an Lampen zusammen:

 Konsequenzen EuP für Büro-, Industrie- und Straßenbeleuchtung (Tertiär)
Zeitplan für den Auslauf ineffizienter Lampen und Leuchtensysteme

	jeweils ab April	2010	2012	2015	2017
Leuchtstofflampen	T8 und T5** 	Auslauf* aller ineffizienter Leuchtstofflampen durch Mindesteffizienz (lm/W) und RA > 80 (Lichtfarben 33-640, 54-765)			
	TL-D U-Form 	Auslauf* aller ineffizienter Leuchtstofflampen durch Mindesteffizienz (lm/W) und RA > 80 (Lichtfarben 33-640, 54-765)			
	TL-D Ringform 	Auslauf* aller ineffizienter Leuchtstofflampen durch Mindesteffizienz (lm/W) und RA > 80 (Lichtfarben 33-640, 54-765)			
	T12 		Auslauf* aller ineffizienter Leuchtstofflampen durch Mindesteffizienz (lm/W) und RA > 80 (Lichtfarben 33-640, 54-765)		
		Kompaktleuchtstofflampen			
Hochdruckentladungslampen	Natriumdampflampen 		Auslauf* aller ineffizienter Natriumdampflampen		
	Natriumdampfaustauschlampen 		Auslauf* aller ineffizienter Natriumdampfaustauschlampen		
	Quecksilberdampflampen 		Auslauf* aller ineffizienter Quecksilberdampflampen		
	Metallhalogenidlampen 		Auslauf* aller ineffizienter Metallhalogenidlampen		Auslauf* weiterer Typen
KVG/VVG					Auslauf* ineffizienter TL-D Leuchten mit KVG/VVG***

■ Erlaubt **Alternativprodukte siehe Konversionsliste**
■ Auslauf * Auslauf: Lampen/Leuchten mit KVG/VVG dürfen nicht mehr in den Verkehr gebracht werden. Alle Lagerbestände dürfen noch aufgebraucht werden.
 ** Ausgenommen sind Leuchtstofflampen ≤ 13W und > 80W
 *** KVG = Konventionelles Vorschaltgerät, VVG = Verlustarmes Vorschaltgerät

Weitere Informationen finden Sie unter: www.philips.com/eup-licht

Stand 17.03.2009

Abbildung 9 EuP-Anforderungen für Lampen, Quelle: Philips 2009

7.1.2 Lampen mit gebündeltem Licht¹⁸

Neben der Verordnung 245/2009 wird am 1.9.2013 die neue Verordnung (EU) Nr. 1194/2012 zu Lampen für die gerichtete Beleuchtung sowie zu LED-Lampen und Betriebsgeräte (außer Vorschaltgeräte und Leuchten, die in der Verordnung (EU) Nr. 245/2009 geregelt sind) in Kraft treten. Diese Verordnung stellt Anforderungen an die genannten Produkte, die in drei Stufen in den Jahren 2013, 2014 sowie 2016 angepasst werden. Bezüglich der Lampen, die keine LED-Lampen sind, werden Effizienzanforderungen an gerichtete Lampen (Abschnitt 1.1) sowie Effizienzanforderungen für das Betriebsgerät (Abschnitt 1.2) gestellt.

Des Weiteren werden Funktionalitätsanforderungen an alle Lampentypen (Abschnitt 2) gestellt.

Sofern es sich um Kompaktleuchtstofflampen mit gebündeltem Licht handelt, gelten die in der folgenden Tabelle aufgeführten Funktionalitätsanforderungen. Sie umfassen den Lampenlebensdauerfaktor nach der Betriebsdauer von 6.000 Stunden, den Lampenlichtstromerhalt nach einer Betriebszeit von 2.000 Stunden, die Anzahl an Schaltzyklen bis zum Ausfall, die Zündzeit, die Anlaufzeit bis zur Erreichung von 60% des endgültigen Lichtstroms Φ , die Frühausfallrate, den elektrischen Leistungsfaktor der Lampen mit eingebautem Betriebsgerät sowie die Farbwiedergabe Ra. Die Werte und Stufen sind der folgenden Tabelle zu entnehmen (vgl. Verordnung (EU) Nr. 1194/2012/EU).

¹⁸ Die Anforderungen an Lampen gemäß der Verordnung (EU) Nr. 244/2009 werden hier nicht betrachtet. Auf diese wurde in der Studie PROSA Lampen in Privathaushalten, Zangl et al. 2010, eingegangen.

Tabelle 9 Funktionalitätsanforderungen an Lampen mit gebündeltem Licht , Quelle: Verordnung (EU) Nr. 1194/2012

Anforderungen an die Betriebseigenschaften von Kompaktleuchtstofflampen mit gebündeltem Licht

Betriebseigenschaftsparameter	Stufe 1 soweit nicht anders angegeben	Stufe 3
Lampenlebensdauerfaktor bei 6 000 h	ab 1. März 2014: $\geq 0,50$	$\geq 0,70$
Lichtstromerhalt	bei 2 000 h: $\geq 80 \%$	bei 2 000 h: $\geq 83 \%$ bei 6 000 h: $\geq 70 \%$
Zahl der Schaltzyklen bis zum Ausfall	\geq Hälfte der Lampenlebensdauer ausgedrückt in Stunden $\geq 10\,000$ wenn die Zündzeit $> 0,3$ s	\geq Lampenlebensdauer ausgedrückt in Stunden $\geq 30\,000$ wenn die Zündzeit $> 0,3$ s
Zündzeit	$< 2,0$ s	$< 1,5$ s wenn $P < 10$ W $< 1,0$ s wenn $P < 10$ W
Anlaufzeit bis zur Erreichung von 60 % von Φ	< 40 s oder < 100 s bei Lampen, die Quecksilber in Form von Amalgam enthalten	< 40 s oder < 100 s bei Lampen, die Quecksilber in Form von Amalgam enthalten
Frühausfallrate	$\leq 5,0 \%$ bei 500 h	$\leq 5,0 \%$ bei 1 000 h

Betriebseigenschaftsparameter	Stufe 1 soweit nicht anders angegeben	Stufe 3
elektrischer Leistungsfaktor der Lampe bei Lampen mit eingebautem Betriebsgerät	$\geq 0,50$ wenn $P < 25$ W $\geq 0,90$ wenn $P \geq 25$ W	$\geq 0,55$ wenn $P < 25$ W $\geq 0,90$ wenn $P \geq 25$ W
Farbwiedergabe (Ra)	≥ 80 ≥ 65 wenn die Lampe für Außen- oder Industrieanwendungen gemäß Nummer 3.1.3 Buchstabe l dieses Anhangs bestimmt ist	≥ 80 ≥ 65 wenn die Lampe für Außen- oder Industrieanwendungen gemäß Nummer 3.1.3 Buchstabe l dieses Anhangs bestimmt ist

Sonstige Lampen mit gebündeltem Licht, die nicht Leuchtstofflampen oder LED-Lampen sind müssen die Anforderungen der folgenden Tabelle erfüllen. Dazu zählen beispielsweise Halogenleuchtstofflampen.

Tabelle 10 Funktionalitätsanforderungen an Lampen mit gebündeltem Licht (außer Leuchtstofflampen und LED-Lampen; d.h. z.B. Halogenglühlampen), Quelle: Verordnung (EU) Nr. 1194/2012

Betriebseigenschaftsparameter	Stufen 1 und 2	Stufe 3
Bemessungslebensdauer bei einer Lampenüberlebensrate von 50 %	$\geq 1\,000\text{ h}$ ($\geq 2\,000\text{ h}$ in Stufe 2) $\geq 2\,000\text{ h}$ für mit Kleinspannung betriebene Lampen, die den in Nummer 1.1 dieses Anhangs festgelegten Effizienzanforderungen an Glühlampen in der Stufe 3 nicht erfüllen	$\geq 2\,000\text{ h}$ $\geq 4\,000\text{ h}$ für mit Kleinspannung betriebene Lampen
Lichtstromerhalt	$\geq 80\%$ bei 75 % der durchschnittlichen Bemessungslebensdauer	$\geq 80\%$ bei 75 % der durchschnittlichen Bemessungslebensdauer
Zahl der Schaltzyklen	\geq Vierfaches der in Stunden ausgedrückten Bemessungslebensdauer	\geq Vierfaches der in Stunden ausgedrückten Bemessungslebensdauer
Zündzeit	$< 0,2\text{ s}$	$< 0,2\text{ s}$
Anlaufzeit bis zur Erreichung von 60 % von Φ	$\leq 1,0\text{ s}$	$\leq 1,0\text{ s}$
Frühausfallrate	$\leq 5,0\%$ bei 100 h	$\leq 5,0\%$ bei 200 h
elektrischer Leistungsfaktor der Lampe bei Lampen mit eingebautem Betriebsgerät	Leistung $> 25\text{ W}$: $\geq 0,9$ Leistung $\leq 25\text{ W}$: $\geq 0,5$	Leistung $> 25\text{ W}$: $\geq 0,9$ Leistung $\leq 25\text{ W}$: $\geq 0,5$

Neben Funktionalitäts- und Energieeffizienzanforderungen stellt die Verordnung (EU) Nr. 1194/2012 auch Anforderungen an die Produktinformation von Lampen mit gebündeltem Licht.¹⁹ Auf der Lampe selbst müssen der nominelle Nutzlichtstrom (in Lumen), die Farbtemperatur (in Kelvin) sowie der nominelle Halbwertswinkel angegeben werden. Auf der Lampenverpackung müssen, parallel zu Lampen mit ungebündeltem Licht, unter anderem der Lichtstrom (Lumen), die Nennlebensdauer (Stunden), die Farbtemperatur (Kelvin), die Anzahl der Schaltzyklen und die Anlaufzeit bis zur Erreichung von 60% des vollen Lichtstroms angegeben sein.²⁰

7.1.3 LED-Lampen

Bei LED-Lampen macht die Verordnung (EU) Nr. 1194/2012 keine Unterscheidung zwischen Lampen mit gebündeltem und ungebündeltem Licht. Die Anforderungen an die Lampen können der nachstehenden Tabelle entnommen werden. Der Lampenlebensdauerfaktor bei 6000 Stunden gibt an, welcher Anteil der Lampen noch nutzbar ist. Die Ergänzung um den

¹⁹ Die EU schließt damit eine Lücke bei der Produktinformationspflicht in Bezug auf Lampen mit gebündeltem Licht, die in der Verordnung (EU) Nr. 244/2009 nicht abgedeckt sind.

²⁰ Die vollständige Liste der verpflichtenden Angaben auf der Lampenverpackung ist Abschnitt 3 der Verordnung (EU) Nr. 1194/2012 zu entnehmen.

Lichtstromerhalt bei 6.000 Stunden ist deshalb wichtig, weil er festlegt, ab wann eine Lampe nicht mehr nutzbar ist. In diesem Fall legt die Verordnung nach 6.000 Stunden einen Lichtstrom von mindestens 80% des ursprünglichen Lichtstroms fest. Die Mindestanzahl der Schaltzyklen orientiert sich für LED-Lampen an der gesamten Bemessungslebensdauer der Lampe. Die Schaltzyklen müssen mindestens der Hälfte der Anzahl der Bemessungslebensdauer in Stunden entsprechen. Ist die Bemessungslebensdauer größer als 30.000 Stunden genügen 15.000 Schaltzyklen.

Tabelle 11 Funktionalitätsanforderungen an LED-Lampen, Quelle: Verordnung (EU) Nr. 1194/2012

Betriebseigenschaftsparameter	Anforderungen ab der Stufe 1, sofern nicht anders angegeben
Lampenlebensdauerfaktor bei 6 000 h	ab dem 1. März 2014: $\geq 0,90$
Lichtstromerhalt bei 6 000 h	ab dem 1. März 2014: $\geq 0,80$
Zahl der Schaltzyklen bis zum Ausfall	$\geq 15\,000$ wenn die Bemessungslebensdauer $\geq 30\,000$ h ansonsten: \geq Hälfte der Lampenlebensdauer ausgedrückt in Stunden
Zündzeit	$< 0,5$ s
Anlaufzeit bis zur Erreichung von 95 % von Φ	< 2 s
Frühhausfallrate	$\leq 5,0$ % bei 1 000 h
Farbwiedergabe (Ra)	≥ 80 ≥ 65 wenn die Lampe für Außen- oder Industrieanwendungen gemäß Nummer 3.1.3 Buchstabe l dieses Anhangs bestimmt ist
Farbkonsistenz	Abweichung der Farbwertanteile innerhalb einer MacAdam-Ellipse mit bis zu sechs Stufen
elektrischer Leistungsfaktor der Lampe (PF) bei Lampen mit eingebautem Betriebsgerät	$P \leq 2$ W: keine Anforderung 2 W $< P \leq 5$ W: PF $> 0,4$ 5 W $< P \leq 25$ W: PF $> 0,5$ $P > 25$ W: PF $> 0,9$

Das detaillierte Nachprüfverfahren zur Marktaufsicht für die Anforderungen nach Verordnung (EU) Nr. 1194/2012 können dort dem dort enthaltenen Anhang IV entnommen werden.

7.1.4 Vorschaltgeräte

Die EU-Verordnung Nr. 245/2009 bezieht sich auch auf Vorschaltgeräte zum Betrieb von Leuchtstofflampen. Sie hebt die sogenannte „Vorschaltgeräte-Richtlinie“ Nr. 2000/55/EG auf. Eine wichtige Änderung ist, dass der Energieeffizienzindex (EEI) nicht mehr auf der Systemleistung, sondern auf dem Wirkungsgrad des Vorschaltgeräts selbst basiert (Lampen-

leistung / Systemleistung). Die Anforderungen und die Stufen des Inkrafttretens sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 12 Anforderungen an Vorschaltgeräte nach 245/2009/EG, Quelle CELMA/ELC 2010

		1. Stufe ab April 2010	2. Stufe ab April 2012	3. Stufe ab April 2017
Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen	Nicht dimmbare Vorschaltgeräte	Mindestens EEI = B2 für vorhandene Vorschaltgeräte/Lampen-Systeme und mindestens EEI = A3 für neue Lampensysteme		A2 BAT und A2 nach Grenzwertformeln
	Dimmbare Vorschaltgeräte	Mindestens EEI = A1		A1 BAT nach Grenzwertformeln
	Standby-Verluste	≤ 1 W pro Vorschaltgerät	≤ 0,5 W pro Vorschaltgerät	
	Produktinformationen	EEI-Klassifizierung: Vorschaltgerät, Webseiten und technische Unterlagen		Klassifizierung gemäß Grenzwertformeln: Vorschaltgerät, Webseiten und technische Unterlagen
Vorschaltgeräte für Hochdruckentladungslampen	Nicht dimmbare Vorschaltgeräte	–	Grenzwerte des Wirkungsgrads η_{VG} , Kennzeichnung EEI = A3	Grenzwerte des Wirkungsgrads η_{VG} , Kennzeichnung A2
	Dimmbare Vorschaltgeräte	–	–	–
	Standby-Verluste	–	–	–
	Produktinformationen	–	Angabe von η_{VG} : Vorschaltgerät, Webseiten und technische Unterlagen	Angabe von η_{VG} : Vorschaltgerät, Webseiten und technische Unterlagen

Eine Reihe von speziellen Vorschaltgeräten sind von der Verordnung ausgenommen (z.B. Verwendung in Laboratorien für Beleuchtungsmesstechniken, Not- und Rettungsleuchten). Die Ausnahmen können der Verordnung entnommen werden.

Beispielhaft für die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von Vorschaltgeräten bezüglich der Lampenleistung werden in der nachfolgenden Abbildung die Grenzwertkurven für die Energieeffizienzklassen A2 BAT sowie A2 und A1 BAT dargestellt (nach CELMA/ELC 2010).

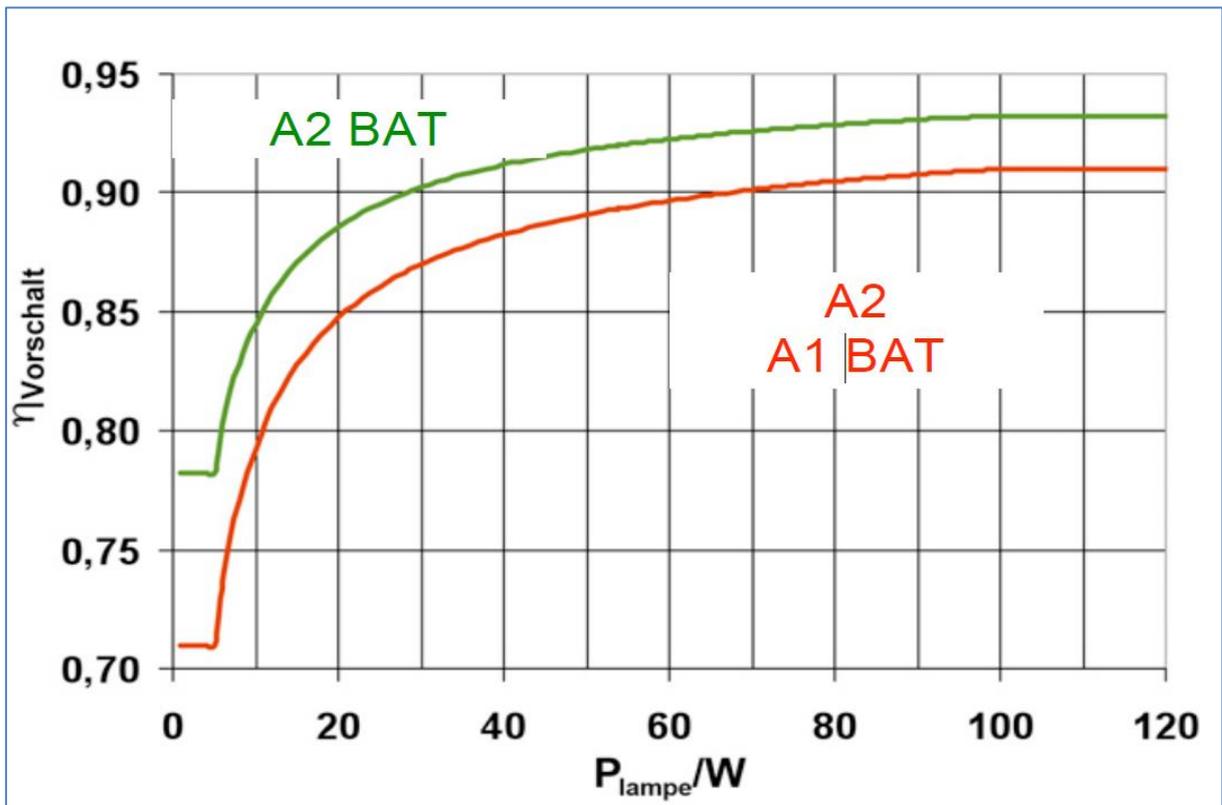


Abbildung 10 Anforderungen an die Effizienz von Vorschaltgeräten im Verhältnis zur Lampenleistung für die Effizienzklassen A2, A2 BAT und A1 BAT, Quelle: CELMA/ELC 2010

Die Grenzkurve für den Wirkungsgrad η des Vorschaltgeräts steigt bei einer Lampenleistung zwischen 5 und ca. 50 Watt steil an und flacht bei höheren Leistungsaufnahmen zunehmend ab.

7.1.5 Gesetzliche Anforderungen an Leuchten

Die Anforderungen an Leuchten nach der EU-Verordnung Nr. 245/2009 beziehen sich auf Leuchten zur Allgemeinbeleuchtung, in welchen Leuchtstoff- und Hochdruckentladungslampen verwendet werden.

Die geltenden Effizienzanforderungen an Leuchten sind in der folgenden Tabelle 13 zusammengefasst (Nach CELMA/ELC 2010). Die Grenzwerte für die Leuchten orientieren sich im Wesentlichen an den addierten Grenzwerten der Vorschaltgeräte. Dasselbe gilt für die Begrenzung der Standby-Verluste der Leuchten.

Tabelle 13 Energieeffizienzanforderungen an Leuchten nach EU-Verordnung 245/2009, Quelle: CELMA/ELC 2010

Leuchten für Leuchtstofflampen oder Hochdruckentladungslampen		1. Stufe ab 13.04.2010	2. Stufe ab 13.04.2012	3. Stufe ab 13.04.2017
Energieeffizienz- anforderungen an Leuchtstoff- lampen- Leuchten	Nicht dimmbare Vorschaltgeräte	Leuchtengrenzwerte = aufaddierte Vorschaltgerätegrenzwerte (Anzahl der verwendeten Vorschaltgeräte – Netzwerkverbindungen oder Sensoren werden bei den Standby-Verlusten nicht beurteilt). n = Anzahl der Vorschaltgeräte in einer Leuchte		
	Dimmbare Vorschaltgeräte			
	Standby- Verluste	$n \times 1$ Watt	$n \times 0,5$ Watt	$n \times 0,5$ Watt
Kompatibilitätsanforderungen an Leuchten für Leuchtstoff- und Hochdruckentladungslampen			Leuchten müssen mit den Vorschaltgeräte- anforderungen der 3. Stufe kompatibel sein. Ausnahmen: Leuchten mit mindestens IP4X.	Alle Leuchten müssen mit den Vorschaltgeräte- anforderungen der 3. Stufe kompatibel sein.
Energieeffizienz- anforderungen an Leuchten für Hochdruck- entladungs- lampen	Nicht dimmbare Vorschaltgeräte	Keine speziellen Anforderungen.	Leuchtengrenzwerte = aufaddierte Vorschaltgerätegrenzwerte (Anzahl der verwendeten Vorschaltgeräte – Netzwerkverbindungen oder Sensoren werden bei den Standby-Verlusten nicht beurteilt).	
	Dimmbare Vorschaltgeräte			
	Standby- Verluste			

Die Anforderungen gelten nicht für Leuchten,

- zur Notbeleuchtung (Abgedeckt durch die Richtlinie 2006/95/EG),
- die explosionsgeschützt sind (Richtlinien 94/9/EG und 1999/92/EG),
- die in Maschinen integriert sind (2006/42/EG),
- die in Medizinprodukte integriert sind (93/427/EWG) sowie
- die Bestandteile von Spielzeug sind (88/378/EWG).

Des Weiteren regelt die Verordnung Anforderungen an die Produktinformation von Leuchten. Seit der 1. Zwischenstufe (13.10.2010) müssen für Leuchten für Leuchtstofflampen mit einem Gesamtlichtstrom > 2.000 Lumen Informationen auf frei zugänglichen Internetseiten und in anderer zweckmäßiger Form (z.B. Katalog, Datenblätter etc.) verfügbar sein.

Außerdem müssen folgende technischen Informationen in die Unterlagen der CE-Konformitätserklärung aufgenommen werden:

- Wirkungsgrad der verwendeten Vorschaltgeräte.
- Wirkungsgrad der Lampen, falls diese mit den Leuchten geliefert werden.
- Informationen zu den zugelassenen Vorschaltgeräten und Lampen (falls diese nicht zusammen mit den Leuchten vermarktet werden).
- Informationen zur fachgerechten Wartung.
- Anweisungen zum Zerlegen am Ende der Lebensdauer zur fachgerechten Entsorgung.

Mit Stufe 2 der EU-Verordnung 245/2009 (13.04.2012) gelten die genannten Produktinformationspflichten auch für Leuchten mit Hochdruckentladungslampen. Außerdem muss auf allen Leuchten angegeben werden, welche Lampen eingesetzt werden dürfen.

7.2 Gesetzliche Energieeffizienzkennzeichnung

Für Lichtquellen gilt zum Zeitpunkt der Berichtserstellung (Stand: März 2013) noch die EU-Energieeffizienzkennzeichnung nach Richtlinie 98/11/EG. Allerdings ist die Nachfolgeverordnung Nr. 874/2012 bereits verabschiedet (12. Juli 2012). Sie folgt damit der neuen Rahmenrichtlinie zur Energieverbrauchskennzeichnung Nr. 2010/30/EU und tritt am 1.9.2013 in Kraft. Sie wird für Lampen und Leuchten gelten, während die alte Energieeffizienzkennzeichnung nur für Lampen galt. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle die neue Verordnung betrachtet und mit der alten verglichen.

	Alte Kennzeichnung nach 98/11/EG	Neue Kennzeichnung nach Verord. Nr. 874/2012/EU	
Anwendungsbereich	Gilt nur für Lampen	Lampen	Leuchten
Beispiel			
Energieeffizienzklassen	A bis E	A++ bis E	A++ bis E

Abbildung 11 Vergleich der alten Energieeffizienzkennzeichnung nach 98/11/EG und der neuen Verordnung Nr. 874/2012/EU

Das neue Energieeffizienz-Label für Lampen wird um die Klassen A+ (Anwendung für effiziente LED-Lampen) und A++ (zunächst noch offene Klasse für zukünftig besonders energieeffiziente LED-Lampen) erweitert. Zusätzlich muss ein Energieverbrauchswert in Kilowattstunden pro 1000 Stunden Betriebsdauer (typische Jahresnutzungsdauer in Privat-

haushalten) angegeben werden. Die Einteilung in die Energieeffizienzklassen folgt nach neu definierten Energieeffizienzindizes (vgl. Verordnung (EU) Nr. 874/2012).

Neu ist die Kennzeichnung für Leuchten. Sie zeigt, mit welchen Lampen (Energieeffizienzklassen) die Leuchte betrieben werden kann. Wenn das Leuchtmittel in einer Leuchte nicht ausgewechselt werden kann (z.B. fest eingebautes LED-Modul), muss dies auf dem Effizienzlabel vermerkt sein. Weitere Beispiele sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

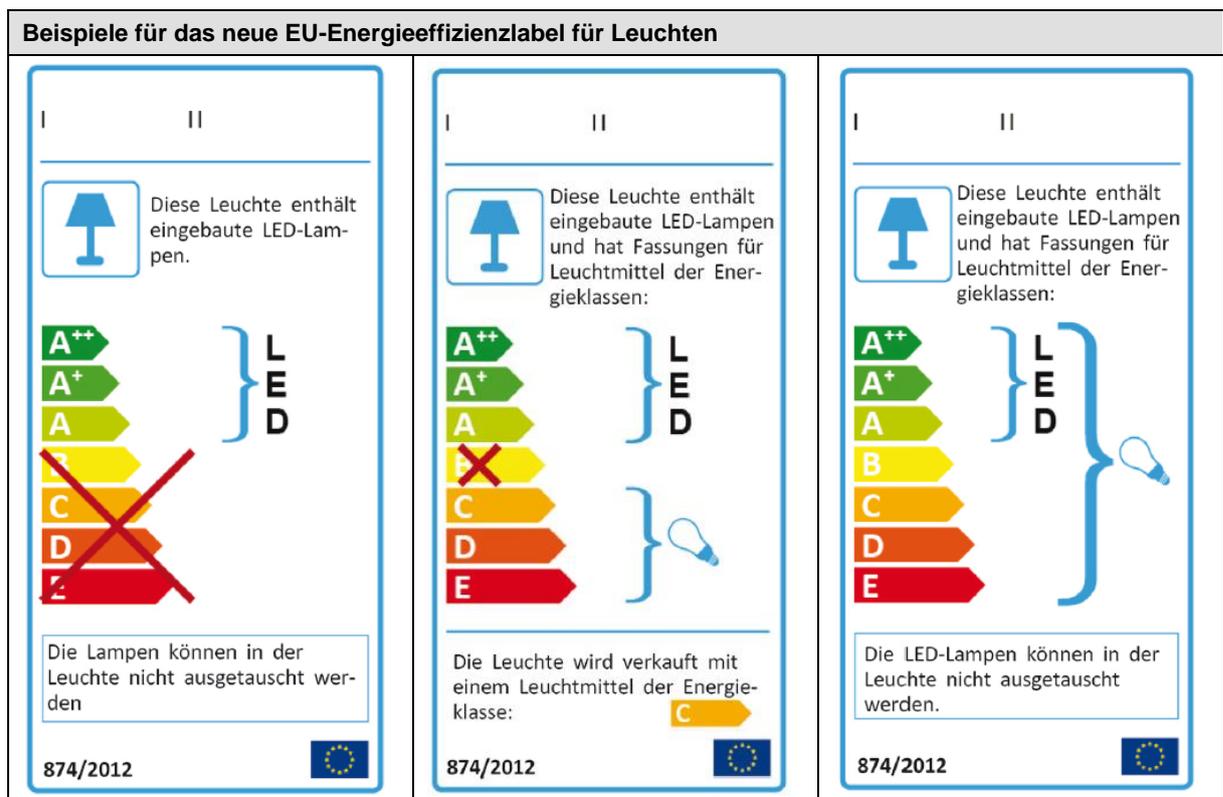


Abbildung 12 Beispiele für das neue EU-Energieeffizienzlabel für Leuchten

Ein EU-Energieeffizienzlabel ausschließlich für Vorschaltgeräte existiert nicht.

Welche Lampen zukünftig in welche Klasse eingeteilt werden kann der folgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 14 Einteilung verschiedener Lampentypen in die neue Energieeffizienzkenzeichnung nach Verordnung 874/2012/EU, Quelle: Europäische Kommission 2012, Explanatory note on draft regulation 874/2012/EU

Energieeffizienzklasse	Lampen mit ungebündeltem Licht	Lampen mit gebündeltem Licht
A++ (am effizientesten)	In Bezug auf Innenbeleuchtung aktuell leere Klasse. Die Klasse wird voraussichtlich mittelfristig von sehr effizienten LED-Lampen gefüllt.	Derzeit leere Klasse, die sich mittelfristig mit sehr effizienten LED-Lampen füllen wird.
A+	Die besten LED-Lampen zum Zeitpunkt der Verabschiedung der Verordnung (2012). Die besten linearen Leuchtstofflampen, Kompaktleuchtstofflampen sowie Hochdruckentladungslampen.	Die besten LED-Lampen im Jahr 2012.
B	Schlechte Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen (mit wenigen Ausnahmen bereits 2009 ausgelaufen). Die besten Halogenglühlampen.	Schlechte Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen. Die besten Niedervolt Halogenreflektorlampen.
C	Hochvolt Halogenglühlampen (Xenon). (laufen 2016 aus.) Ausnahme: G9 und R7s-Lampen.	Qualitativ gute, konventionelle Niedervolthalogenlampen.
D	Konventionelle Halogenglühlampen und die besten Glühlampen (bereits 2012 ausgelaufen).	Schlechte konventionelle Niedervolthalogenlampen. Qualitativ gute, konventionelle Hochvolthalogenglühlampen.
E (am ineffizientesten)	Typische Glühlampen (vollkommen ausgelaufen im Jahr 2012).	Reflektorglühlampen sowie schlechte Hochvolt Halogenglühlampen (laufen 2013 und 2014 aus).

8 Umweltzeichen

8.1 Das Schweizer Umweltzeichen „Minergie“

Das Schweizer Umweltzeichen „Minergie“²¹, das von der Schweizer Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E. entwickelt wurde, stellt Energieeffizienz-Anforderungen an Leuchten für die Bürobeleuchtung. Produkte, die die Anforderungen von Minergie erfüllen (vgl. Tabelle 7), können sich mit folgendem Zeichen zertifizieren lassen:



Abbildung 13 Das Umweltzeichen Minergie für Leuchten, Quelle: toplicht.ch

Damit eine Leuchte mit dem Minergie-Label gekennzeichnet werden darf, müssen die in Tabelle 15 genannten Energieeffizienz-Anforderungen eingehalten werden. Die Anforderungen beziehen sich jeweils auf die Lichtausbeute der Leuchte inklusive Vorschaltgerät und Leuchtmittel (Leuchteneffizienzfaktor LEF, vgl. Kapitel 5.3):

Tabelle 15 Energieeffizienz-Anforderungen an Büroleuchten im Minergie-Label, Quelle: Minergie, CH

Lampentyp Abstrahlung	Leuchtstoffröhren		Kompaktleuchtstoff-, LED- und Entladungslampen	
	Baulänge < 600mm	Baulänge > 600mm	Leistung < 32W	Leistung > 32W
direkt strahlend > 90% Direktlichtanteil	55 lm/W	60 lm/W	34 lm/W + 0,5 x Leistung	50 lm/W
direkt-indirekt strahlend 10 bis 90% Direktlicht	60 lm/W	65 lm/W	39 lm/W + 0,5 x Leistung	55 lm/W
indirekt strahlend < 10% Direktlichtanteil	65 lm/W	70 lm/W	44 lm/W + 0,5 x Leistung	60 lm/W

²¹ <http://www.minergie.ch/leuchten.html>

Die Anforderungen an direkt strahlende LED-Leuchten stellen sich grafisch wie folgt dar:

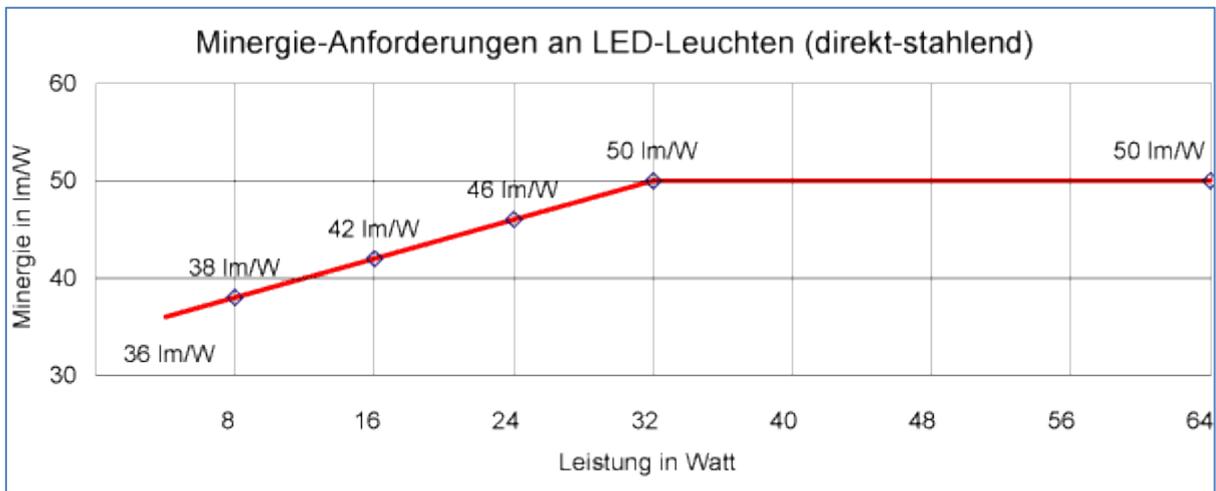


Abbildung 14 Minergie-Anforderungen an LED-Leuchten (direkt strahlend), Quelle: toplicht.ch, S.A.F.E.

Weitere Anforderungen im Minergie-Label an LED-Leuchten sind folgende:

- Bei LED-Leuchten müssen zusätzliche Werte gemessen und deklariert werden; für einige gelten konkrete quantitative Anforderungen (für die anderen müssen nur Messungen vorgelegt werden). Die Vorgaben an LED-Leuchten gelten vorerst bis Inkraftsetzung einer europäischen Normierung und werden dann entsprechend angepasst.

Tabelle 16 Anforderungen des Minergie-Labels an LED-Leuchten, Quelle: toplicht.ch

Deklaration	Anforderung
Farbwiedergabeindex (CRI)	min. Ra = 80
Farbtemperatur in Kelvin	-
Leistungsfaktor	bis 25W, min. 0.5, ab 25W, min. 0.9
Nennstrom LED-Modul	-
Lebensdauer (70% Lichtstromerhalt)	min. 20'000 h

- Der Farbwiedergabeindex Ra (oder CRI) ist der Mittelwert der Farbwiedergabeeigenschaften von 8 typischen Farben. Temperaturstrahler weisen mit 100 den höchsten Farbwiedergabeindex auf.
- Bei einer LED-Leuchte mit variablen Farbtemperaturen wird diejenige mit der tiefsten Energieeffizienz (in der Regel warmweiss) angegeben; auch die Werte zur Energie-

effizienz beziehen sich auf diese Farbtemperatur. Angaben zur Temperaturmodulation können im beschreibenden Text gemacht werden.

- Für den Leistungsfaktor gelten die gleichen (gesetzlichen) Vorgaben wie für Kompaktleuchtstofflampen.
- Je tiefer der Nennstrom eines LED-Moduls, desto höher ist die Energieeffizienz und desto gesicherter ist eine hohe Lebensdauer der LED. Der definierte Nennstrom der LED-Leuchte darf nicht erhöht werden; eine Verringerung ist zulässig.
- Als Lebensdauer wird die Zeit bezeichnet, nach welcher die LED noch 70% des Anfangslichtstroms aufweist.
- Die Messungen für den Farbwiedergabeindex und die Farbtemperatur erfolgen in der Mitte des Lichtstroms.

Es werden folgende Anforderungen an die **Leistung der Leuchten im Standby** gemacht:

Anforderungen Minergie:

- Ungeregelte und nicht dimmbare Leuchten: 0 Watt
- Leuchten mit dimmbaren Vorschaltgeräten: 1,0 Watt (Zielwert: 0,5 Watt)
- Stehleuchten und andere Leuchten mit integrierter Tageslicht- oder Präsenz-Regulierung: 0,5 Watt

Anmerkung: Die EU Verordnung 245/2009 (vgl. Kapitel 7.1, Gesetzliche Mindestanforderungen und Energieeffizienzkenzeichnung) sieht ab dem 13.4.2012 vor, dass Standby-Verluste von Leuchten für Leuchtstofflampen $\leq n \cdot 0,5$ Watt sein müssen, wobei n die Anzahl der eingebauten Vorschaltgeräte ist (der Stromverbrauch anderer Komponenten innerhalb der Leuchte wird außer Acht gelassen). Insofern sind die Minergie-Anforderungen anspruchsvoll genug, da sie dem Wert für ein Vorschaltgerät entsprechen bzw. für nicht dimmbare Leuchten sogar 0 Watt vorschreiben.

Bei Leuchten spielt der Grad der **Blendung** eine wichtige Rolle.

Minergie legt eine Blendbegrenzung der Leuchte nach UGR im Standardraum bei höchstens 25 fest.

Anmerkung: Deklaration des UGR-Wertes (Unified Glare Rating) im Standardraum gemäß Definition der deutschen lichttechnischen Gesellschaft (LiTG): „Sind die Raumabmessungen und die Reflexionsgrade zum Zeitpunkt der Planung nicht bekannt, so kann eine Referenzsituation zur Berechnung des UGR-Wertes herangezogen werden. Als Referenzsituation sind die relativen Raumabmessungen 4 H / 8 H eines mittleren Raumes bei der Reflexionsgradkombination 0,7 / 0,5 / 0,2 festgelegt“. Der Abstand der Leuchten beträgt $\frac{1}{4}$ der Lichtpunkthöhe ($S = 0.25$). Die Abstufung erfolgt in 4 Klassen: <16, <19, <22, <25. Es sind zwei UGR-Werte (Blickrichtung quer bzw. parallel zur Leuchtenachse) anzugeben.

8.2 Das Europäische Umweltzeichen

Darüber hinaus existiert ein europäisches Umweltzeichen für Lichtquellen, dessen Kriterien anspruchsvoller sind als die gesetzlichen Mindestanforderungen. Der Geltungsbereich des europäischen Umweltzeichens umfasst Lichtquellen mit einem Lichtstrom zwischen 60 und 12.000 Lumen. Die Anforderungen sind im Beschluss der Kommission Nr. 2011/331/EU festgeschrieben. Folgende Anforderungen sind die Eckpunkte des Beschlusses. Es wird dabei jeweils zwischen einseitig und zweiseitig gesockelten Lichtquellen unterschieden. Für die Anwendung in Büros sind dabei besonders die zweiseitig gesockelten Lichtquellen zu beachten.

Das entscheidende Kriterium aus Sicht der Energieeffizienz ist eine um 10% bessere Lichtausbeute (in Lumen pro Watt) als der Wert, welcher der Energieeffizienzklasse A entspricht.²² Das europäische Umweltzeichen stellt außerdem Anforderungen an die Lebensdauer, das Lichtstromverhältnis, sowie den Quecksilbergehalt in der Lampe.

Tabelle 17 Anforderungen an Lichtquellen im Europäischen Umweltzeichen, Quelle: Beschluss der Kommission 2011/331/EU

	Einseitig gesockelte Lichtquellen	Zweiseitig gesockelte Lichtquellen
Energieeffizienz	10 % besser als der Wert Lumen pro Watt, der Klasse A entspricht	10 % besser als der Wert Lumen pro Watt, der Klasse A entspricht
Lebensdauer (Stunden)	15 000	20 000
	Einseitig gesockelte Lichtquellen	Zweiseitig gesockelte Lichtquellen
Lichtstromverhältnis	80 % bei 9 000 Stunden	90 % bei 16 000 Stunden
Quecksilber (mg)	< 1,5	< 3,0

Als zweites Kriterium geht ein Farbwiedergabeindex von mindestens 85 in die Anforderungen für das europäische Umweltzeichen ein. Zudem wird eine Anforderung an die Farbkonsistenz, d.h. der korrelierten Farbtemperatur-Verteilung („Correlated Colour Temperature“) der Lichtquelle gestellt. Sie muss innerhalb einer MacAdam-Ellipse mit 3 Schwellwerteinheiten oder besser liegen.

²² Anmerkung: Diese Energieeffizienzklasse A bezieht sich auf die Richtlinie 98/11/EC. Am 1.9.2013 tritt die Nachfolgeverordnung Nr. 874/2012 in Kraft. Die Weiterentwicklung und Anpassung des europäischen Umweltzeichens erfolgt in dem europäischen Projekt Eco-Lighting : <http://www.eco-lighting-project.eu/>

9 Qualitätsaspekte

Da die Qualität von Leuchten, Lampen und Vorschaltgeräten zum Teil erhebliche Unterschiede aufweisen, werden in diesem Kapitel zusätzliche Qualitätsaspekte neben der Energieeffizienz behandelt. Aufgrund der unterschiedlichen technischen Lösungen (Leuchtstofflampen bzw. LED-Lampen) sind zusätzliche Parameter zur Beschreibung der Produktqualität notwendig. Im Anschluss werden sowohl lichttechnische Parameter als auch sonstige technische Parameter beschrieben.

9.1 Lichttechnische Eigenschaften

Die lichttechnischen Eigenschaften einer Leuchte hängen maßgeblich von den Eigenschaften des eingesetzten Leuchtmittels ab (z.B. Farbtemperatur einer Leuchtstofflampe). Die technischen Parameter, die diese Eigenschaften beschreiben sind hier in der Regel die gleichen, wie die zur Beschreibung der Eigenschaften von Lampen (vgl. Zangl et al. 2010, PROSA Lampen in Privathaushalten).

Folgende Parameter sind zu beachten:

- **Lichtstrom:** Der Lichtstrom beschreibt, welche Lichtmenge (oder auch Strahlungsleistung) eine Leuchte tatsächlich emittiert. Die Bewertung der Strahlungsleistung erfolgt anhand der Empfindlichkeit des menschlichen Auges auf definierte Lichtfarben. Der Lichtstrom wird in Lumen (lm) gemessen.
- **Beleuchtungsstärke:** Als Beleuchtungsstärke wird der Lichtstrom bezeichnet, der auf eine festgelegte Fläche z.B. auf eine Arbeitsfläche, auftrifft. Sie wird in der Einheit Lux gemessen. Verbindliche Richtwerte für unterschiedliche Sehaufgaben sind in der Norm DIN 12464 festgelegt.
- **Farbwiedergabe:** Die Farbwiedergabe-Eigenschaft beschreibt wie eine Lichtart auf das farbliche Aussehen von Gegenständen wirkt und damit die Qualität der Visualisierung von Objektfarben. Gemessen wird sie als Farbwiedergabe-Index oder RA-Index (Englisch: CRI für Color Rendering Index). Um die Farbwiedergabe zu bewerten werden acht ausgewählte ungesättigte Farbtöne verwendet, vier gesättigte Farbtöne, ein spezielles Blattgrün und ein der menschlichen Haut ähnlicher Farbton (vgl. Gasser et al. 2012a, DIN 6169). Der höchste Wert des RA-Index ist 100. Bei diesem Wert erscheinen dem Betrachter die Farben eines Gegenstandes als natürlich. Je größer die Abweichung nach unten (z.B. 85) umso schlechter werden die Farben auf einem beleuchteten Gegenstand wiedergegeben. Liegt der Wert über 80 so spricht man von einer guten Farbwiedergabe, über 90 von einer sehr guten.
- **Farbtemperatur:** Die Farbtemperatur des von einer Leuchte emittierten Lichts ist ein Parameter, die die „Wärme“ des Lichts misst. Er wird in Kelvin (K) gemessen. Niedrige Farbtemperaturen (2.500-3.000 Kelvin) werden als „warmweiß“ wahrgenommen, mittlere Farbtemperaturen (ca. 4.000 Kelvin) als „neutralweiß“ sowie hohe Farb-

temperaturen (ab 6.000 Kelvin) als „tageslichtweiß“. Die Bezeichnung tageslichtweiß geht darauf zurück, dass die (Mittags-)sonne eine (Farb-)temperatur von rund 6.500 Kelvin hat. Diese Farbtemperatur eignet sich besonders für die Anwendung in Bürogebäuden, da hohe Farbtemperaturen eine konzentrationsfördernde Wirkung haben (vgl. licht.de, Lichtwissen 04, Licht im Büro).

- (System-)Lichtausbeute: Die Lichtausbeute einer Leuchte beschreibt deren Wirtschaftlichkeit bzw. Energieeffizienz. Sie setzt sich als Quotient aus Lichtstrom (Lumen) und Leistungsaufnahme (Watt), inklusive Vorschaltgerät und Leuchtmittel zusammen. Aus diesem Grund wird sie auch als Systemlichtausbeute bezeichnet. Sie hängt nicht nur von den Eigenschaften der Leuchte ab (wie z.B. Reflektoren, Blenden etc.) sondern maßgeblich auch von den Effizienzeigenschaften des Leuchtmittels sowie des Vorschaltgeräts. Gemessen wird die Lichtausbeute einer Leuchte i.d.R. als Leuchteneffizienzfaktor (LEF) in Lumen pro Watt (lm/W).
- UGR-Wert: Der UGR-Wert einer Leuchte ist ein Maß für die Blendung. Es beschreibt das Verhältnis der direkten Blendung durch Leuchten zur allgemeinen Raumhelligkeit. Die Norm DIN EN 12464 legt Werte für verschiedene Anwendungsbereiche von Leuchten (z.B. Bürobeleuchtung) fest. Je größer der UGR-Wert, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Nutzer geblendet wird. „UGR“ steht für das Verfahren mit dem der Wert ermittelt wird (Unified Glare Rating).
- Lampenlichtstromerhalt: In Bezug auf das Leuchtmittel einer Leuchte spielt der Lampenlichtstromerhalt eine wichtige Rolle. Dieses Maß trägt der Tatsache Rechnung, dass der Lichtstrom aller Lampentypen im Verlauf der Zeit abnimmt. Der Lampenlichtstromerhalt misst wie groß der Anteil des Lichtstroms am Anfangslichtstrom nach einer festgelegten Zeit, z.B. nach 6.000 Stunden, ist.

9.2 Sonstige Qualitätsparameter

An dieser Stelle werden Qualitätsparameter erläutert, die über die lichttechnischen Eigenschaften hinausgehen:

- Leistungsaufnahme der Leuchte: Dieser Parameter beschreibt die gesamte Leistungsaufnahme einer Leuchte inklusive Vorschaltgerät und Lampe. Sie wird in der Einheit Watt gemessen. Die Leistungsaufnahme ist ein Indikator für den potenziellen Energieverbrauch einer Leuchte. Je größer die Leistungsaufnahme während eines definierten Zeitraums desto größer ist der Energieverbrauch.
- Schaltzyklus: Ein Schaltzyklus ist eine Folge von Ein- und Ausschaltzeiten, die jeweils eine festgelegte Länge dauern. In der Praxis werden unterschiedliche Schaltzyklen verwendet. Ein kurzer Schaltzyklus (nach Verordnung (EU) Nr. 244/2009) dauert 5 Minuten, wobei die Lampe 4,5 Minuten ein und 0,5 Minuten ausgeschaltet ist. Beim europäischen Umweltzeichen werden kurze Schaltzyklen gefordert, wobei die Lampe 3

Minuten ein- und 1 Minute ausgeschaltet sein muss. Lange Schaltzyklen können 12 Stunden dauern (10 Stunden an, 2 Stunden aus). Ein solcher, langer Schaltzyklus kann für konventionelle Bürobeleuchtungssysteme angemessen sein. Vor dem Hintergrund der Entwicklungen hin zu Präsenzsteuerungssystemen sind jedoch deutlich kürzere Schaltzyklen zur Qualitätsprüfung von Leuchte und Lampen sinnvoll.

- **Nutzlebensdauer:** Die Nutzlebensdauer eines Leuchtmittels berücksichtigt bei der Festlegung der Lebensdauer dessen zeitlichen Rückgang des Lichtstroms (siehe Lampenlichtstromerhalt). Die Definition der Nutzlebensdauer beinhaltet somit erstens einen Zeitpunkt (z.B. nach 6000 Stunden) sowie den Lampenlichtstrom, den ein Leuchtmittel zu diesem Zeitpunkt noch emittieren muss. Typischerweise wird ein Lampenlichtstrom von 70% oder 80% festgelegt. Der Zeitpunkt zu dem der Lichtstrom unter diesen Anteil fällt, bedeutet das Ende der Nutzlebensdauer.

9.3 Qualitätsaspekte LED-Leuchtmittel

Da zum Zeitpunkt der Berichtserstellung keine Norm existiert, welche Qualitätsaspekte von LED-Lampen und Leuchten abdeckt, wurde auf die sogenannte Qualitäts-Charta für LED zurückgegriffen, die von einer internationalen Expertengruppe entwickelt wurde (JRC 2011, vgl. Gasser et al. 2012a). Eckdaten dieser Charta sind:

- eine Lebensdauer von mindestens 15.000 Stunden,
- ein Anteil von Lampen der vorzeitig (nach 1.000 Stunde) ausfällt von max. 5%,
- eine Startzeit von weniger als 0,5 Sekunden,
- ein Farbwiedergabeindex CRI von min. 80,
- ein Leistungsfaktor von mindestens 0,5²³,
- kein Flackern (auch bei Dimmung),
- Blaulicht: Strahlungsklasse 0 oder 1.²⁴

Für die Anwendung in Haushalten wird von der Qualitäts-Charta für LED zudem eine Farbtemperatur von minimal 2.600 Kelvin und maximal 3.500 Kelvin empfohlen.

²³ Der Leistungsfaktor gibt das Verhältnis zwischen Wirkenergie und Scheinenergie an, hier sollte nach Gasser et al. 2012a ein Wert von 0,9 für LED-Lampen angestrebt werden.

²⁴ Da das Spektrum von LED-Lampen im Blaulichtbereich eine Spitze aufweist kann ein zu hoher Blaulichtanteil zu einer photochemischen Netzhautgefährdung führen (vgl. Gasser et al. 2012a).

9.4 Qualitätsaspekte Vorschaltgeräte

Ein wichtiger Qualitätsaspekt von Vorschaltgeräten ist die Energieeffizienz, die durch deren Wirkungsgrad beschrieben wird (vgl. Gasser et al. 2012a, CELMA/ELC 2010). Dieser wiederum geht in den Leuchteneffizienz-Faktor (LEF) ein. Außerdem ist die Nutzlebensdauer eines Vorschaltgeräts zu beachten. Sie gibt an wie lange ein Vorschaltgerät genutzt werden kann bis es ausfällt.

10 Normen, Standards und Richtlinien

10.1.1 DIN EN 12464-1

Die Norm DIN EN 12464-1:2003 Beleuchtung von Arbeitsstätten beinhaltet Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen. Dabei werden besonders die menschliche Sehleistung und der Sehschutz berücksichtigt. Alle üblichen Sehaufgaben werden behandelt, darunter auch die Sehaufgaben am Bildschirm. Diese Norm ersetzt wesentliche Teile der Normen DIN 5035 Teil 2,3,4,7, DIN 67505 und DIN 67528.

Hauptmerkmale des Lichtklimas wie Leuchtdichteverteilung, Beleuchtungsstärke, Blendung, Lichtrichtung, Lichtfarbe und Farbwiedergabe, Flimmern und Tageslicht werden von der Norm abgedeckt. Ein zentraler Punkt der Norm ist die Beschreibung unterschiedlicher Blendungen sowie entsprechender Maßnahmen zur Vermeidung von Blendung. Die Blendungsbewertung orientiert sich an dem UGR-Verfahren (Unified Glare Rating), das in der Norm detailliert beschrieben wird. So dürfen Büroarbeitsplätze mit Bildschirmen nur mit Leuchten, die sich im Bildschirm spiegeln können, bis 1.000 cd/m^2 aufweisen. Die Norm DIN EN 12464-1:2003 weist die Anforderungen an die Beleuchtung für verschiedene Räume und Tätigkeiten in Tabellenform aus. Es werden der Bereich, die Art des Raumes, Aufgabe oder Tätigkeit, der Wert der Beleuchtungsstärke, die UGR-Grenzwerte (UGR_L) und der Farbwiedergabe – Index (R_a) angegeben (nach www.licht.de).

Weitere Informationen zur Norm DIN EN 12464-1 sind im Leitfaden der Brancheninitiative licht.de des ZVEI-Fachverbands Licht und der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft e.V. zu finden (vgl. licht.de 2011).

In einem Konferenz und Besprechungsraum eines Bürogebäudes muss die Beleuchtung nach der DIN EN 12464-1:2003 ein UGR_L von 19 sowie einen Farbwiedergabeindex (R_a) von 80 aufweisen.

10.1.2 Technische Regel für Arbeitsstätten ASR 3.4

Die Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) berücksichtigen den Stand der Technik, die Arbeitsmedizin, die Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse für das Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten. Der Ausschuss für Arbeits-

stätten der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (www.baua.de) ermittelt diese. Bekannt gegeben werden sie vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (www.bmas.de). Die ASR 3.4 gibt insbesondere Beleuchtungsanforderungen für Arbeitsräume, Arbeitsplätze und Tätigkeiten an. Es werden feste Mindestwerte für die Beleuchtungsstärke (lx) sowie den Farbwiedergabeindex (Ra) angegeben.

Hält ein Arbeitgeber die Technischen Regeln ein, kann er davon ausgehen, dass die Anforderungen der entsprechenden Verordnung erfüllt sind. Wenn er eine andere Lösung wählt, muss er damit mindestens die gleiche Sicherheit sowie den gleichen Gesundheitsschutz erreichen (ASR 3.4, Ausgabe April 2011).

10.1.3 DIN EN 12665:2002

Die Norm DIN EN 12665:2002 - Licht und Beleuchtung, grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung definiert die gebräuchlichen Begriffe für viele Beleuchtungsanwendungen. Eine Zusammenfassung ist bei www.licht.de zu finden.

10.1.4 DIN EN 13032-1:2004

Der volle Name der Norm lautet: „Licht und Beleuchtung – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten Teil 1: Messung und Datenformat: deutsche Fassung EN 13032-1:2004.“ Sie beschreibt, wie lichttechnische Eigenschaften von Lampen und Leuchten in lichttechnischen Messlabors gemessen werden. Die Nachweisführung bei der Zertifizierung des Schweizer Minergie-Labels fordert die Einhaltung dieser Messstandards.

10.1.5 DIN EN ISO/IEC 17025

Diese Norm definiert Anforderungen an Prüf- und Kalibrierlaboratorien zur lichttechnischen Messung von Lampen und Leuchten.

10.1.6 IEC 62554:2011 und IEC 62321

Die Norm IEC 62554:2011 legt Verfahren zur Probenvorbereitung für die Bestimmung der Quecksilbergehalte in neuen röhrenförmigen Leuchtstofflampen (einschließlich einseitig gesockelter und zweiseitig gesockelter Lampen, Lampen mit eingebautem Vorschaltgerät sowie Kaltkathoden-Leuchtstofflampen (CCFL) zur Hintergrundbeleuchtung) fest, die 0,1 mg Quecksilber oder mehr enthalten. Das Prüfverfahren zur Messung des Quecksilbergehalts ist in IEC 62321 festgelegt (www.beuth.de).

10.1.7 IEC/PAS 62722-2-1:2011

Die Norm IEC/PAS 62722-2-1:2011(E) Arbeitsweise von Leuchten stellt Anforderungen an die Arbeitsweise von LED-Leuchten inklusive Test-Methoden und Bedingungen, die not-

wendig sind die Einhaltung der Norm zu garantieren. Sie findet Anwendung für LED-Leuchten für die Allgemeinbeleuchtung, an die Anforderungen an deren Arbeitsweise gestellt werden.

10.1.8 IEC 1036

Die Norm IEC 1036 definiert Genauigkeitsklassen für Energieverbrauchszähler.

11 Konsumtrends

Wie bereits in Kapitel 4.3, Markttrends gezeigt, ist bei der Beleuchtung von Bürogebäuden und vergleichbaren Einsatzbereichen wie beispielsweise Schulen auch ein Konsumtrend der Anwender von Leuchtstofflampen hin zu LED-Anwendungen zu beobachten. Zwar ist in vielen Fällen die energie- und kosteneffiziente Kombination aus Leuchten für lineare Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten noch die Standardanwendung. Die schnell wachsende Marktdurchdringung von LED-Anwendungen wird jedoch dazu führen, dass sich diese mittel- bis langfristig auf dem Markt für Bürobeleuchtungssysteme durchsetzen werden. Dafür sprechen neben der sehr hohen Energieeffizienz, die lange Nutzlebensdauer von LED-Leuchten sowie deren hohe Schaltfestigkeit (die Präsenz und Tageslichtsteuerung ist im Rahmen der Novellierung der Energieeinsparverordnung – EnEV 2014 – vorgesehen) auch die vielfältigen Möglichkeiten zur Dimmung und Regelung der Farbtemperatur. Es kann angenommen werden, dass sich in den nächsten Jahren, sobald die LED-Preise weiter fallen und sich damit die Amortisationszeiten für Investitionen in LED-basierte Beleuchtungssysteme verkürzen werden, diese Anwendungen auf dem Markt durchsetzen und deren Absatz weiter steigen werden.

Ein nicht unwesentlicher Anteil von Bürobeleuchtungssystemen (etwa in Schulen) wird von Seiten der öffentlichen Hand betrieben. Zunehmendes Bewusstsein bezüglich der Schadstofffreiheit (LEDs beinhalten im Unterschied zu Leuchtstofflampen kein Quecksilber) von LED-Anwendungen könnte dazu führen, dass hier LED-Anwendungen einen zusätzlichen Konsumimpuls erfahren. Es ist aber zu erwarten, dass erst die ökonomische Vorteilhaftigkeit (geringere Lebenszykluskosten, vgl. Teil II) dazu führen wird, dass Leuchtstofflampen gänzlich vom Markt verdrängt werden.

Im Trend setzen sich LED-Lampen derzeit vor allem im Bereich der unterstützenden Akzentbeleuchtung (z.B. Tafellicht in der Schule) durch. Darüber hinaus kommen immer mehr LED-Leuchten auf den Markt und werden auch angenommen. Sowohl Tisch- als auch Stehleuchten sind immer häufiger LED-basiert. In der Allgemeinbeleuchtung hat die LED noch den größten Nachholbedarf. So sind beispielsweise LED-Austauschlampen für T5- bzw. T8-Leuchtstofflampensystemen auf dem Markt erhältlich. Der vollständige Durchbruch der LED im tertiären Bereich steht jedoch noch (unmittelbar) bevor.

Ein weiterer, bereits angesprochener Trend geht hin zu Präsenzsteuerung von Leuchten in Bürogebäuden. Diese geht mit weiteren, sehr hohen Energieeffizienzpotenzialen einher (vgl.

Stadt Zürich 2012). Weitere Einsparmöglichkeiten sind mit einer flexiblen Tageslichtsteuerung zu realisieren. Darüber hinaus führt auch der gesundheitliche und leistungssteigernde Effekt einer ausreichenden Beleuchtung mit Tageslicht zu diesem Konsumtrend.

12 Nutzenanalyse

Die künstliche Beleuchtung von Büros und anderen Gebäuden des Dienstleistungssektors stiftet einen unverzichtbar hohen gesellschaftlichen und volkswirtschaftlichen Nutzen in der heutigen Dienstleistungsgesellschaft. Seit die Glühlampe ein wertvoller Katalysator bei der Entwicklung der westlichen Industriegesellschaften darstellte, blieb die Beleuchtung von Gebäuden im öffentlichen, industriellen oder tertiären Sektor von höchstem Nutzen. Dies gilt für die Bürobeleuchtung heute umso mehr, als heute eine Vielzahl der Arbeitsplätze im Dienstleistungssektor angesiedelt ist. Die künstliche Beleuchtung erlaubt die Arbeitszeiten von der Tageslichtbeleuchtung zu entkoppeln. Sie ermöglicht so eine von Tages- und Jahreszeiten sowie Wettereinflüssen unabhängige Arbeitsweise.

12.1 Gebrauchsnutzen

Die Beleuchtung von Gebäuden des Dienstleistungssektors (Büros, Schulen usw.) hat für die betroffenen Menschen fast ausschließlich einen Gebrauchsnutzen. Zur effizienten, zielführenden und gesunden Ausführung von Arbeiten in den genannten Gebäuden ist eine den gesetzlichen Vorschriften (siehe oben) entsprechende Beleuchtung notwendig.

12.2 Symbolischer Nutzen

Die Beleuchtung von Räumen im tertiären Wirtschaftssektor hat nur sehr eingeschränkt einen symbolischen Nutzen für die betroffenen Einrichtungen und Unternehmen. Im Vordergrund steht der Gebrauchsnutzen. Symbolischen Nutzen können für einzelne Unternehmen und Einrichtungen besonders umweltfreundliche (energieeffiziente) Beleuchtungssysteme stiften, wie beispielsweise Beleuchtungssysteme mit Tageslichtsteuerung und Präsenzsteuerung oder neue, kostenintensive LED-Anwendungen. Sie können in der Branche als gute Beispiele Vorbildcharakter einnehmen und so das Prestige eines Unternehmens positiv beeinflussen.

12.3 Gesellschaftlicher Nutzen

Wie für den einzelnen Menschen ist die optimale Beleuchtung von Arbeitsplätzen in Bürogebäuden und ähnlichen Bereichen aus Sicht der Gesellschaft von sehr hohem Nutzen. Eine moderne, arbeitsteilig organisierte Volkswirtschaft, in der viele Arbeitsplätze in Büro-

gebäuden von öffentlichen Einrichtungen (Schulen, Universitäten, Verwaltung u.v.m.) und privaten Unternehmen bereitgestellt werden, kann auf eine zuverlässige und effiziente Kunstlichtbeleuchtung dieser Räume nicht verzichten. Insofern ist der gesellschaftliche Nutzen von Leuchten zur Anwendung in Büros und verwandten Einsatzbereichen nicht hoch genug einzuschätzen.

Teil II

13 Orientierende Ökobilanz und Lebenszykluskostenanalyse

Anhand einer orientierenden Ökobilanz sowie der Analyse der Lebenszykluskosten soll ein Eindruck über Umweltauswirkungen und Lebenszykluskosten von Leuchten für die Anwendung in Büros und verwandten Einsatzbereichen ermittelt werden. Die Ergebnisse bieten eine Orientierungshilfe für die Frage, wo die Verbesserungspotenziale in dieser Produktgruppe liegen.

13.1 Untersuchungsrahmenbedingungen

13.1.1 Funktionelle Einheit

Der Untersuchungsgegenstand der folgenden Lebenszyklusbetrachtung ist eine Büroleuchte mit zugehörigem Vorschaltgerät und Lampe („Leuchtstoffröhre“). Die Ergebnisse der orientierenden Ökobilanz und der Lebenszykluskostenanalyse werden differenziert nach den Lebensphasen dargestellt.

Für das den Berechnungen zugrunde gelegte Referenzprodukt wurde folgende funktionelle Einheit definiert:

- Nutzung einer Büroleuchte mit *einer* T5-Leuchtstofflampe über die Dauer von 1 Jahr.

Da die Lebensdauer der Lampe und Leuchte unterschiedlich sind, gehen sie mit unterschiedlichen Anteilen in die Ökobilanz ein. Folgende Annahmen zur Nutzlebensdauer von Lampe und Leuchte werden daher getroffen:

Tabelle 18 In der Bilanz angenommene Nutzlebensdauer

	Nutzlebensdauer	Quelle
Lampe (T5-Leuchtstofflampe)	18.000 Stunden	Osram Datenblatt
Leuchte (ohne Lampe) mit einem elektronischen Vorschaltgerät (EVG)	45.000 Stunden	Beschreibung aus Ökobau.dat ²⁵ für den Datensatz 8.4.04 Vorschaltgerät EVG: Die durchschnittliche Lebensdauer eines EVG beträgt ca. 30.000–50.000 Betriebsstunden.

²⁵ <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html>

Geht man pro Jahr von 260 Arbeitstagen sowie einer täglichen Beleuchtungsdauer 10 Stunden aus, ergibt sich eine jährliche Nutzungsdauer von 2.600 Stunden. Dies entspricht einem Anteil von 14,4% der Lebensdauer der Lampe und einem Anteil von 5,8% der Lebensdauer der Leuchte mit dem EVG. Das heißt, dass die Vor- und Nachketten der Lampe und Leuchte anteilig (jeweils mit 14,4% und 5,8%) in der Bilanz bezogen auf 1 Jahr Nutzung berücksichtigt werden. Es ist anzumerken, dass die Ergebnisse der Vor- und Nachketten der Lampe und der Leuchte separat, bezogen auf je eines der beiden Produkte dargestellt sind. Die gesamten Ergebnisse der Lebenszyklusbetrachtung der Leuchte inklusive Lampe werden dann auf die funktionelle Einheit bezogen.

13.1.2 Systemgrenzen

Folgende Teilprozesse werden bei der orientierenden Ökobilanz berücksichtigt:

- Herstellung und Distribution der Leuchte mit dem Vorschaltgerät und der T5-Lampe,
- Nutzung der Leuchte mit einer T5-Lampe in Deutschland über eine Nutzungsdauer von 1 Jahr,
- Entsorgung der Leuchte und der T5-Lampe.

Die Einkaufsfahrt des Anwenders wird nicht berücksichtigt, da davon auszugehen ist, dass diese hinsichtlich der Umweltauswirkungen nur einen minimalen Anteil²⁶ am Gesamtergebnis ausmacht. Die Ergebnisse werden differenziert nach Lebensphasen dargestellt.

13.2 Orientierende Ökobilanz

13.2.1 Modellierung der Leuchte mit elektronischem Vorschaltgerät (ohne Lampe)

Herstellung

Für die Modellierung der Leuchte wurde ein Referenzprodukt beschafft.

Abbildung 15 zeigt das Produkt mit seiner mitgelieferten Verpackung und das zerlegte Vorschaltgerät, das in der Leuchte integriert war.

Das Vorschaltgerät des Referenzprodukts ist ein elektronisches Vorschaltgerät (EVG). Es ist für eine T5-Leuchtstofflampe (Leistungsaufnahme: 28 W oder 54 W, Multi-Lamp-Vorschaltgerät) geeignet. Das elektronische Vorschaltgerät kann die Lampe mit einer 1-10 V Schnittstelle dimmen. Die Leuchte und das Vorschaltgerät wurden auseinander gebaut, die Einzelbauteile und Komponenten gewogen und deren Materialzusammensetzung bestimmt. Die Bilanzierung der Herstellung des Geräts erfolgt ausgehend von der Material- bzw.

²⁶ s. Fallstudie des PCF Pilot Projekts Deutschland: <http://www.pcf-projekt.de/main/press-and-documentation/case-studies/>

Komponentenzusammensetzung und einem abgeschätzten Energieaufwand bei der Produktion. Die Vorketten der jeweiligen Komponenten wurden überwiegend anhand der Datensätze der Datenbank EcoInvent 2.2 modelliert.

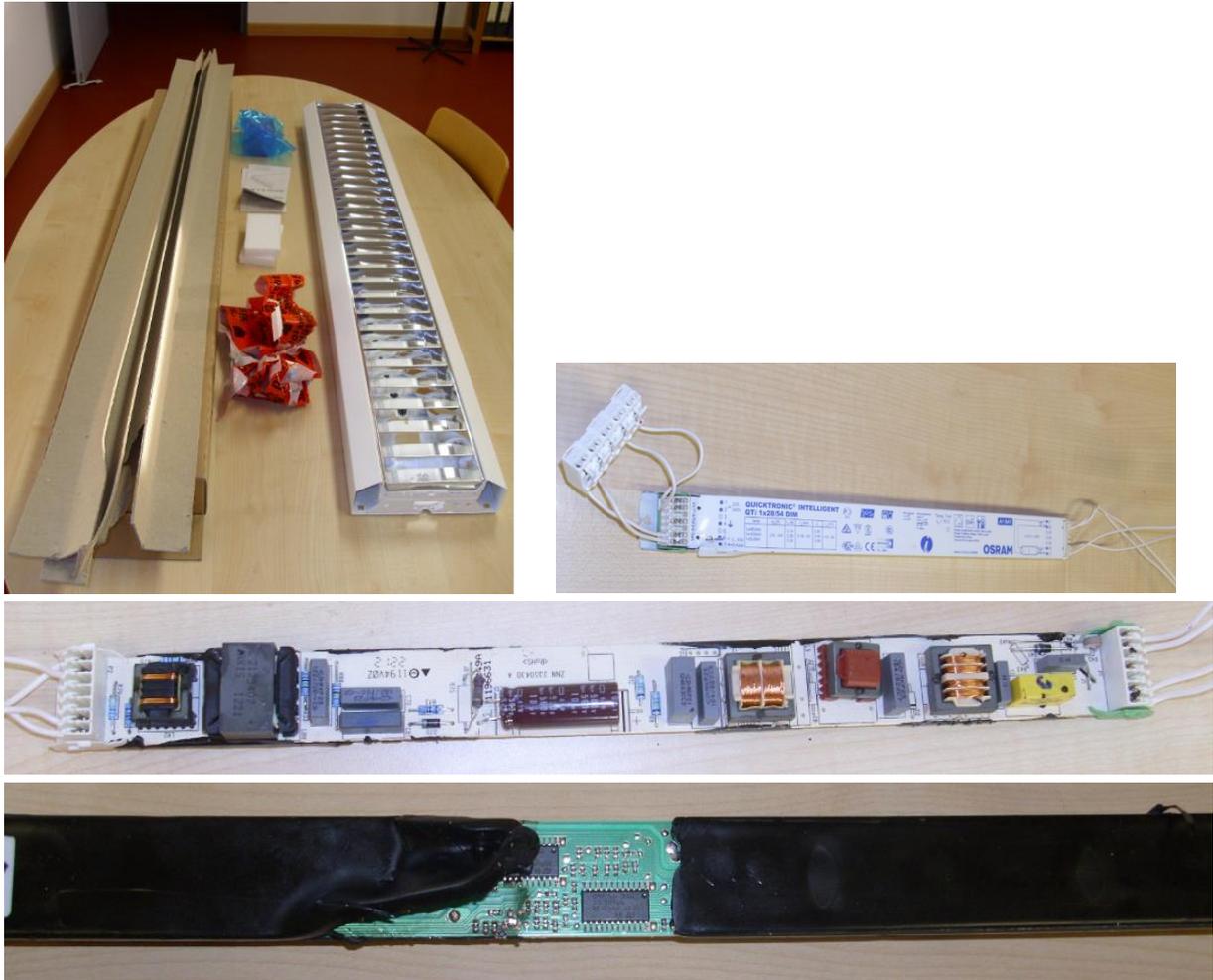


Abbildung 15 Referenzprodukt: Atirion D-L RPV 128/54 ED ohne Leuchtstofflampe

Folgenden Annahmen wurden getroffen:

- Der Produktionsstandort ist in China, d.h. damit liegt der Chinesische Strommix zu Grunde.
- Der Stromverbrauch in der Produktionsphase wird auf 0,5 kWh pro Leuchte abgeschätzt.
- Der Materialverlust und der Verbrauch der Hilfs-/Betriebsstoffe in der Produktionsphase konnten aufgrund mangelnder Daten nicht in der Modellierung bilanziert werden.

Tabelle 19 Komponentenzusammensetzung des bilanzierten Referenzprodukts

Komponentenzusammensetzung	in Gramm	
Vorschaltgerät (Summe)		336,5
Leiterplatte (one layer; 38cmx2,6cm)	27	
Mikrochips	1,5	
Triac/Transistor/Gleichrichter	0,9	
Kondensator	0,6	
Transformator	62	
Elektrolytkondensator	6	
MKP Kondensator	12	
Diode	3	
Widerstände	1,5	
Anschlüsse	30	
Kabel (328cm Länge)	26	
Stahl-Deckel	113	
Schutz-Folie	4	
Teer	49	
Steckklemmen (7Stück) (PC)		5
PC Folie (blau)		8
Stahlbleche		2671
Raster (Al)		395
Gummi		3
EPS (Polystyrolschaum)		5
Ersatzschraube		12
Tüte für Ersatzschraube		2
Montaganleitung		25
Verpackung: Karton		1802
Verpackung: PE Folie		23
Summe		5287,5

Die Ergebnisse der Umweltauswirkungen in der Herstellungsphase werden in Kapitel 13.2.3 dargestellt.

Distribution

Die Daten für die Bilanzierung der Distribution und Verteilung zu den Verkaufsstandorten beruhen auf folgenden Annahmen:

- Der Produktionsstandort befindet sich in China.
- Das Produkt wird per Schiff von Shanghai / China nach Hamburg in Deutschland transportiert.

Die gesamte Distributionskette teilt sich in vier Phasen auf:

1. Von den Produktionsstandorten zum Hafen von Shanghai (LKW 16-32 t)
=> 1.000 km und 80% Auslastung
2. Vom Hafen Shanghai zum Hamburger Hafen (Schiff)
=> 10.000 km
3. Vom Hamburger Hafen zum Hersteller / Assembler in Deutschland (LKW 16-32 t)
=> 500 km und 80% Auslastung
4. Feinverteilung von den jew. Herstellern / Assemblern zu den Händlern (LKW 7,5–16 t)
=> 500 km und 80% Auslastung.

Die Auslastung und der LWK-Typen wurde in der vorliegenden Studie geschätzt und beziehen sich auf die Hin- und Rückfahrt. Die Ökobilanz berücksichtigt sowohl die Hin- als auch die Rückfahrt eines LKW-Transports. Das heißt, wenn der LKW bei der Hinfahrt voll beladen ist (100% Auslastung) und bei der Rückfahrt andere Waren mit einer Auslastung von 60% transportiert, beträgt die gesamte Auslastung für die Hin- und Rückfahrt zusammen 80%. Der Transport der Güter wird nach dem jeweiligen Liefergewicht gewichtet. Das heißt, dass die untersuchte Leuchte mit Vorschaltgerät und T5-Lampe während der Distributionsphase durch ihren Gewichtsanteil an der gesamten Ladung der LKWs und Schiffe zu den Umweltbelastungen beiträgt. Die zur Modellierung verwendeten Datensätze sind aus Eco-Invent 2.2.

Die Ergebnisse der Umweltauswirkungen der Distribution werden in Kapitel 13.2.3 dargestellt.

Nutzung

Um die Umweltauswirkungen der Nutzungsphase zu berechnen, wurde der durchschnittliche Energieverbrauch einer Büroleuchte inklusive Vorschaltgerät und Lampe ermittelt. Die Nutzung der Leuchte findet in einem Büro in Deutschland statt.

Für die Nutzungsphase wurde angenommen, dass die Leuchte in zwei Betriebsmodi betrieben wird, im eingeschalteten Zustand und im Standby-Zustand. Im Base-Case-Szenario ist die Dimmbarkeit vernachlässigt. Dies entspricht der Vollbelastung der Lampe. In der Sensitivitätsanalyse wird dann die Dimmbarkeit mitberücksichtigt, um das Einsparpotential zu identifizieren. Die eingesetzte T5-Lampe hat eine Leistungsaufnahme von 28 Watt. Bei 100% Lichtleistung muss das dimmbare EVG dem Energieeffizienzindex A3 eines nicht dimmbaren EVGs entsprechen (vgl. CELMA/ELC 2010), daraus folgt nach Tabelle C5 des genannten CELMA-Guides für die zu betrachtete Lampe ein Wirkungsgrad für das EVG von 81,8%. Außerdem darf das Vorschaltgerät ab dem 13.04.2012 nach der EU-Verordnung 245/2009 eine Leistungsaufnahme im Standby von 0,5 Watt nicht überschreiten. Diese Zahl wurde für die Berechnung des jährlichen Energieverbrauchs zugrunde gelegt.

Zusammenfassung der Annahmen für die Nutzungsphase:

- Nutzungsdauer: 1 Jahr, 260 Arbeitstage pro Jahr;
- Tägliche Nutzung: 10 Stunden, Leistungsaufnahme Einschalt-Zustand: 34,2 W;
- Täglicher Standby-Zustand: 14 Stunden, Standby-Leistung: 0,5 W.

Das Ergebnis in Tabelle 20 zeigt, dass jährlich insgesamt 92 kWh elektrische Energie pro Leuchte benötigt werden.

Tabelle 20 Energieverbrauchswerte in der Nutzungsphase

	Einschalt-Zustand	Standby-Zustand	Summe	Quelle
Leistungsaufnahme [Watt]	34,2	0,5	-	Lampe: (28 W, T5) Wirkungsgrad für das EVG 81,8%. (CELMA Guide)
Nutzung [h/Tag]	10	14	24	Eigene Annahme
Energieverbrauch [kWh/Jahr]	88,9	3,08	91,98	Einschalt-Zustand: eigene Berechnung, auf Basis von 260 Arbeitstagen Standby: 365 Tage
Anteil des Energieverbrauchs [%]	97%	2%	100%	Eigene Berechnung

Für die Umweltauswirkungen in der Nutzungsphase wird weiterhin angenommen:

- Strombezug aus durchschnittlichem deutschen Strommix;
- Es gibt keinen Reparaturbedarf oder Komponenten-Austausch in der Nutzungsphase, d.h. keinen zusätzlichen Aufwand für die Herstellung der Ersatzteile.

Die Ergebnisse der Umweltauswirkungen in der Nutzungsphase werden in Kapitel 13.2.3 mit einer Lebensdauer von 1 Jahr berechnet und dargestellt.

Entsorgung

Für die Entsorgung wurde angenommen, dass das Aluminium und der Stahl der Leuchte einem sachgerechten Recycling zugeführt werden und die sonstigen Materialien einschließlich Leiterplatte in der Müllverbrennungsanlage entsorgt werden. Der dazu benötigte zusätzliche Behandlungsaufwand wurde mit einem allgemeinen Datensatz zur Sekundärmetallgewinnung aus EcoInvent 2.2 berücksichtigt. Eine Gutschrift erfolgt über die entsprechende Primärmetallherstellung für Aluminium und Stahl. Für die Müllverbrennungsanlage wird in der Bilanz keine weitere Gutschrift angerechnet, da der daraus entstehende Strom nur einen kleinen Einfluss auf die Gesamtergebnisse hat.

Bei der Entsorgung der T5-Lampe wurde der Datensatz aus Ökobau.dat²⁷ zugrunde gelegt.

²⁷ <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html>

Die Ergebnisse der Umweltauswirkungen in der Entsorgungsphase werden in Kapitel 13.2.3 dargestellt.

13.2.2 Betrachtete Wirkungskategorien

Folgende Wirkungskategorien werden in der orientierenden Ökobilanz betrachtet (Erläuterungen zu den Wirkungskategorien siehe Anhang I, Kap. 16.1):

- Kumulierter Primärenergiebedarf (KEA);
- Treibhauspotential (GWP);
- Versauerungspotential (AP);
- Eutrophierungspotential (EP);
- Photochemische Oxidantienbildung (POCP).

13.2.3 Ergebnisse der orientierenden Ökobilanz

Ergebnisse der Vor- und Nachketten der Leuchte (ohne Lampe)

In Tabelle 21 sind die Ergebnisse der betrachteten Wirkungskategorien der Leuchte in den Vor- und Nachketten dargestellt. Wie bereits erwähnt, basieren die Daten der Herstellungs-, Distributions- und Entsorgungsphase auf Literaturquellen, Ecolnvent-Datensätzen sowie eigenen Annahmen und Berechnungen. Die Daten beziehen sich jeweils auf eine einzelne Leuchte. Die negativen Zahlenwerte bei der Entsorgung stehen für Gutschriften beim Recycling.

Tabelle 21 Absolute Ergebnisse der Umweltauswirkungen der Leuchte mit einem EVG inkl. der Vor- und Nachketten

Umweltauswirkung	KEA [MJ/Stk.]	GWP [kg CO ₂ e/Stk.]	AP [kg SO ₂ e/Stk.]	EP [kg PO ₄ e/Stk.]	POCP [kg Eth.e/Stk.]
Herstellung	356,0	19,9	0,10	0,008	0,010
Distribution	43,1	3,0	0,03	0,004	0,002
Entsorgung	-123,4	-8,0	-0,03	-0,002	-0,005
Summe	275,7	14,9	0,09	0,010	0,006

In der folgenden Tabelle werden die prozentualen Ergebnisse der Herstellungsphase der Leuchte weiter nach einzelnen Komponenten aufgeteilt. Je nach Wirkungskategorie macht das Vorschaltgerät einen Anteil von 21% bis 33% der Ergebnisse der Herstellung aus. Daneben spielt das Gehäuse aus Stahl mit 34%–46% der Umweltwirkungen eine dominierende Rolle. Das Aluminium-Raster macht ca. 20% der Ergebnisse aus. Der angenommene Stromverbrauch von 0,5 kWh pro Stück hat etwa einen Anteil von 2% bis 7%.

Tabelle 22 Aufteilung der prozentualen Ergebnisse der Umweltwirkungen in der Herstellungsphase nach Komponenten

Komponente	KEA	GWP	AP	EP	POCP
Vorschaltgerät	23%	21%	33%	24%	27%
Gehäuse (Stahl)	42%	46%	34%	37%	43%
Raster (Aluminium)	21%	20%	20%	16%	20%
Stromverbrauch in der Montage	2%	4%	7%	4%	4%
Sonstiges (Verpackung, Montage-Anleitung, etc.)	12%	10%	6%	19%	6%
Summe	100%	100%	100%	100%	100%

Ergebnisse der Vor- und Nachketten der Lampe

Für die Berechnung der Vorketten (Herstellung und Distribution) und Nachketten (Entsorgung) einer T5-Lampe wurden die Daten aus Ökobau.dat (s.o.), einer deutschen Baustoffdatenbank, zugrunde gelegt. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der betrachteten Wirkungskategorien in den Vor- und Nachketten der Lampe dargestellt. Die Daten beziehen sich jeweils auf eine einzelne Lampe. Das Ergebnis der Nutzungsphase der Lampe wird im folgenden Abschnitt zusammen mit dem des Vorschaltgeräts, bezogen auf die funktionelle Einheit, dargestellt.

Tabelle 23 Absolute Ergebnisse der Umweltauswirkungen der T5-Lampe inkl. der Vor- und Nachketten (Quelle: Herstellung und Entsorgung: Ökobau.dat; Distribution: eigene Modellierung)

Umweltauswirkung	KEA [MJ/Stk.]	GWP [kg CO ₂ e/Stk.]	AP [kg SO ₂ e/Stk.]	EP [kg PO ₄ e/Stk.]	POCP [kg Eth.e/Stk.]
Herstellung	4,481	0,282	0,0016	0,00016	0,00010
Distribution	0,91	0,06	0,0006	0,0001	0,00004
Entsorgung	-0,4418	-0,0244	-0,000161	-1,06E-06	-8,00E-06
Summe	4,950	0,320	0,002	0,0002	0,0001

Ergebnisse der Lebenszyklusbetrachtung bezogen auf die funktionelle Einheit

Für die Darstellung der gesamten Ergebnisse entlang des Lebenszyklus werden der Herstellungsaufwand, die Distribution und die Entsorgung der Leuchte und der Lampe anteilig (5,8% für Leuchte und 14,4% für Leuchte, s. Kapitel 13.1.1, Funktionelle Einheit) mit Bezug auf das 1 Jahr der Nutzung berechnet. Wie aus Tabelle 24 und Tabelle 25 ersichtlich wird, trägt, über den gesamten ganzen Lebenszyklus betrachtet, primär (mehr als 95%) die Nutzungsphase zu den Umweltauswirkungen bei. Die Herstellungsphase der Büroleuchte inklusive Vorschaltgerät und Lampe macht ca. 2% bis 8% der Umweltauswirkungen aus, je nach Wirkungskategorie (s. Tabelle 25).

Tabelle 24 Absolute Ergebnisse der Umweltauswirkungen der betrachteten Büroleuchte mit einem EVG und einer T5 Lampe (28 Watt)

Umweltauswirkung bezogen auf 1 Jahr	KEA [MJ]	GWP [kg CO ₂ e]	AP [kg SO ₂ e]	EP [kg PO ₄ e]	POCP [kg Eth.e]
Herstellung	21,2	1,2	0,006	0,001	0,001
Distribution	2,6	0,2	0,002	0,000	0,000
Nutzung (1 Jahr Nutzungsdauer)	1147,5	67,4	0,089	0,016	0,007
Entsorgung	-7,2	-0,5	-0,002	-0,0001	-0,0003
Summe	1164,2	68,3	0,094	0,017	0,007

Tabelle 25 Prozentuale Ergebnisse der Umweltauswirkungen der betrachteten Büroleuchte mit einem EVG und einer T5-Lampe (28 Watt)

Umweltauswirkung	KEA [MJ]	GWP [kg CO ₂ e]	AP [kg SO ₂ e]	EP [kg PO ₄ e]	POCP [kg Eth.e]
Herstellung	1,8%	1,7%	6,1%	3,0%	7,8%
Distribution	0,2%	0,3%	1,8%	1,3%	1,4%
Nutzung (1 Jahr Nutzungsdauer)	98,6%	98,7%	94,2%	96,5%	94,8%
Entsorgung	-0,6%	-0,7%	-2,1%	-0,8%	-4,0%
Summe	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

13.2.4 Sensitivitätsanalyse: Dimmung der Lampe

Das oben betrachtete Szenario hat die volle Anschlussleistung der Lampe zugrunde gelegt. Als Sensitivitätsanalyse wird nun zusätzlich die Dimmbarkeit der Lampe in die Bilanz einbezogen. In dieser Sensitivitätsanalyse wird exemplarisch das Treibhausgaspotenzial (GWP) betrachtet. Der Belastungsgrad der Lampe in der Nutzungsphase wird jeweils mit 10%-Reduktionsschritten angenommen. Die Vollbelastung mit 100% – wie im Base-Case-Szenario dargestellt – bedeutet, dass eine T5- Lampe (28 Watt) in den betrachteten täglichen 10 Betriebsstunden ihren maximalen Lichtstrom emittiert. Der nächste Schritt (90% der Vollbelastung) bedeutet, dass die Lampe immer noch 10 Stunden in Betrieb ist, wobei überwiegend bei maximaler Leistung und zu einem kleinen Anteil in einem gedimmten Zustand mit einem geringeren Lichtstrom, so dass sich die Lampe im Mittel nur zu 90% im Vollbelastungszustand befindet (Anwendung zum Beispiel bei der Tageslichtsteuerung). Diese Berechnungen zeigen, wie weit die Dimmbarkeit der Lampe zur Minderung des Treibhauseffekts beitragen kann.

Tabelle 26 Treibhauspotential bei Variation der Belastung der Lampe in der Nutzungsphase

Leuchte + Lampe GWP bezogen auf 1 Jahr	Anteil (%) der Vollbelastung der T5 Lampe (28 W)					
	100%	90%	80%	70%	60%	50%
	kg CO ₂ e/a					
Herstellung	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Distribution	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Nutzung	67,4	61,0	54,6	48,2	41,7	35,3
Entsorgung	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
Summe	68,3	61,9	55,5	49,1	42,7	36,2
Vergleich zur 100% Vollbelastung	0%	-9%	-19%	-28%	-38%	-47%

Das Ergebnis zeigt, dass sich die Treibhausgaswerte (GWP) in etwa synchron zum abnehmenden Belastungsgrad entwickeln. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Nutzungsphase eine dominierende Rolle in der Bilanz spielt.

13.3 Analyse der Lebenszykluskosten

Im Folgenden werden die Lebenszykluskosten für Leuchten zur Anwendung in Büros und verwandten Einsatzbereichen (wie z.B. Schulen, öffentlichen Verwaltungsgebäude usw.) aus Sicht eines kleinen bzw. mittelständigen Unternehmens (KMU) oder der öffentlichen Hand berechnet. Es werden sowohl Anschaffungskosten als auch Verbrauchskosten im Durchschnitt betrachtet. Auf diese Weise werden die Gesamtkosten der verglichenen Leuchten ermittelt und ermöglichen so einen realistischen Kostenvergleich.

Folgende Kostenarten werden berücksichtigt:

- Investitionskosten (Preis für die Anschaffung einer Leuchte sowie ggf. Betriebsgeräte wie Vorschaltgerät oder Lampe);
- Betriebs- und Unterhaltskosten;
 - Stromkosten;
 - Reparaturkosten (im Jahresdurchschnitt);
- Entsorgungskosten.

13.3.1 Investitionskosten

Die Kosten für die Anschaffung einer Leuchte für die Anwendung in Bürogebäuden (o.ä. Anwendungen) hängen zum einen sehr von der Auswahl der Technologie ab. So sind LED-Leuchten deutlich teurer als vergleichbare Leuchten, die für den Betrieb mit Leuchtstofflampen in Kombination mit einem Vorschaltgerät vorgesehen sind. Zum anderen hängen die

Investitionskosten auch stark von der Wahl des Leuchtentyps ab, die ein Lichtplaner für die Beleuchtung eines entsprechenden Raumes auswählt. Selbst innerhalb eines Leuchtentyps ist eine Vielzahl unterschiedlicher Leuchtenmodelle auf dem Markt. Sie unterscheiden sich erheblich in der Größe, dem Lichtstrom, dem UGR-Wert (Blendungsindex), dem Material für das Gehäuse u.v.m. Letztendlich ist jede Leuchte ein Einzelstück und mit einer anderen nicht vergleichbar. Im Folgenden werden deshalb nicht Durchschnittswerte über nicht vergleichbare Leuchten betrachtet, sondern exemplarisch typische Leuchten, die für die Anwendung in Bürogebäuden und verwandten Bereichen eingesetzt werden können.

Tabelle 27 Investitionskosten verschiedener Leuchtentypen

Leuchtentyp	Konventionelle Leuchtmittel	Typische Investitionskosten	Innovatives Leuchtmittel	Typische Investitionskosten
Deckenanbauleuchte	Lineare Leuchtstofflampe	229 €	LED	800 €
Deckeneinbauleuchte		264 €		800 €
Pendelleuchte		268 €		1000 €
Wandleuchte		223 €		300 €
Stehleuchte		1.084 €		1500 €
Strahler	Halogen-Metall-dampflampe	267 €		500 €
Downlight	Kompaktleuchtstofflampe	187 €		250 €
Tischleuchte		64 €		Ab ca. 268 ²⁸ €

13.3.2 Stromkosten

Der Strompreis, den große Unternehmen in Deutschland bezahlen, unterscheidet sich von den Tarifen, den private Haushalte und kleine Gewerbebetriebe bezahlen. Dies liegt zum einen an den höheren Absatzmengen, die Unternehmen beziehen. Zum anderen geht es auf geringere Netzentgelte und die Möglichkeit des Vorsteuerabzugs (keine Mehrwertsteuer) zurück. In der folgenden Tabelle sind die Strompreise für private Haushalte inklusive aller Steuern sowie die Strompreise für Industriekunden in Deutschland (exkl. Mehrwertsteuern) dargestellt (Destatis 2013).

²⁸ Task-Flex LED Tischleuchte, Philips

Tabelle 28 Vergleich der Strompreise für private Haushalte und Industriekunden in Deutschland (Stand: 1. Halbjahr 2012)

Abnehmer	Durchschnittlicher Strompreis im 1. Halbjahr 2012 [in €/kWh], inkl. Verbrauchssteuer, exkl. Mehrwertsteuer
Abgabe an private Haushalte, Jahresverbrauch 2.500 kWh – unter 5.000 kWh	0,2595 € / kWh
Abgabe an die Industrie, Jahresverbrauch 2.000 MWh – bis unter 20.000 MWh	0,1145 € / kWh

Die Tabelle zeigt, dass die Strompreise für private Haushalte mehr als doppelt so hoch sind als jene für Industrieunternehmen und Großabnehmer. Darüber hinaus können Gewerbebetriebe von den Energiedienstleistungsunternehmen in angepasste Stromtarife eingestuft werden. Je nach Unternehmen und Kunde variieren Stromtarife erheblich. Manche Stromanbieter handeln für gewerbliche Kunden den Stromtarif individuell aus. Für die nachfolgende Lebenszyklusanalyse wird ein Unternehmen betrachtet, das weniger als 2.000 MWh bezieht und damit den höheren Strompreis bezahlen muss.

13.3.3 Reparaturkosten

Für Reparaturkosten liegen keine repräsentativen Daten vor und bleiben in der Studie deshalb unberücksichtigt.

13.3.4 Entsorgungskosten

Seit dem 24. März 2006 sind die Hersteller für die Rücknahme und Entsorgung der Altgeräte (finanz-)verantwortlich. In der vorliegenden Untersuchung werden daher keine zusätzlichen Entsorgungskosten angenommen.

13.3.5 Lebenszykluskostenanalyse

Der Lebenszyklus einer konventionellen Leuchte für eine T5-Leuchtstofflampe und einem elektronischem Vorschaltgerät orientiert sich hier in Anlehnung an den Annahmen der Ökobilanz. Bei einer mittleren Betriebsdauer der Leuchte von 2.600 Stunden pro Jahr (10 Stunden pro Tag und 260 Arbeitstage pro Jahr) ergibt sich bei einer Betrachtung über 17,31 Jahre eine gesamte Betriebsdauer von 45.000 Stunden.

Für eine lineare Leuchtstofflampe wurde eine Nutzlebensdauer von 18.000 Stunden festgelegt, für Kompaktleuchtstofflampen 10.000 Stunden. Für die Strahlerleuchte wurde eine Halogenmetaldampflampe angenommen, die eine Lebensdauer von 6.000 Stunden aufweist. Daraus ergibt sich, dass über den Lebenszyklus, je nach Leuchtentyp, unterschiedlich viele Lampen angeschafft werden müssen.

Des Weiteren werden folgende Annahmen getroffen:

- Energiepreissteigerung pro Jahr: 2%
- Diskontsatz aus Sicht des Unternehmens: 2%.

Daraus ergibt sich, dass sich die Energiepreissteigerungen und der Diskontsatz ausgleichen. Es wurde ein Strompreis von 25,95 ct / kWh angenommen.

Tabelle 29 Vergleich der jährlichen Lebenszykluskosten verschiedener Leuchtentypen

Leuchtentyp / Lichtstrom Anzahl der Lampen	Lebensdauer Leuchte (Stunden/ Jahre)	Investitionskosten	Lebensdauer Lampen	Anzahl Lampen über die Lebensdauer der Leuchte	Gesamte Lebenszykluskosten [€]	Lebenszykluskosten pro Jahr [€/a]
Deckenanbauleuchte 2600 lm 1 x T5-LL 28 W	45.000 h / 17,3 a	228,84 €	18.000 h	2,5	644,63	37,25
Deckeneinbauleuchte 3600 lm 3 x T5 LL 14 W	45.000 h / 17,3 a	263,86 €	18.000 h	2,5	770,74	44,53
Pendelleuchte 2600 lm 1 x T5-LL 28 W	45.000 h / 17,3 a	268,46 €	18.000 h	2,5	684,26	39,53
Wandleuchte 2600 lm 1 x T5-LL 28 W	45.000 h / 17,3 a	223,13 €	18.000 h	2,5	638,92	36,92
Downlight 1200 lm 1 x KLL 18 W	45.000 h / 17,3 a	187,43 €	18.000 h	4,5	447,12	25,83
Strahlerleuchte 3000 lm 1 x Halogenmetall- dampflampe 35 W	45.000 h / 17,3 a	266,56 €	6000 h (HIT-TC- CE)	7,5	945,27	54,62
Stehleuchte 14400 lm 3 x TC -L à 55W	45.000h / 17,3 a	1084,47 €	10.000 h	4,5	3.159,76	182,56
Tischleuchte 1 x 850 lm	45.000h / 17,3 a	100 €	10.000 h	4,5	306,16	17,69

Da sich die typischen Leuchten teilweise im Hinblick auf Bauart (z.B. Downlight vs. Stehleuchte) sowie auf den bereitgestellten Lichtstrom unterscheiden, variieren sowohl die mittleren Investitionskosten pro Leuchte als auch die Investitionskosten je nach Leuchtentyp. So sind Stehleuchten typischerweise die teuersten (je nach Design, Leuchtmittel, Material etc.). Die hier betrachteten Stehleuchten emittieren einen vergleichsweise hohen Lichtstrom

und weisen eine hohe Leistungsaufnahme auf. Folglich sind die Lebenszykluskosten sehr hoch.

Die hohen Lebenszykluskosten der Strahlerleuchte (Akzentbeleuchtung z.B. für eine Tafel in der Schule) sind ebenfalls sehr hoch. Dies geht vor allem auf die hohe Leistungsaufnahme sowie die kurze Lebensdauer (6.000 Stunden) der verwendeten Halogenmetallampflampe zurück. Die niedrigeren Lebenszykluskosten eines typischen Downlights gehen weitestgehend auf vergleichsweise niedrigere Investitionskosten und einen geringen Energieverbrauch (durch den geringeren Lichtstrom) zurück. Da bei den Deckeneinbauleuchten typische quadratische Leuchten betrachtet wurden, die mit 3 Leuchtstofflampen zu jeweils 14 Watt betrieben werden, übersteigen deren Lebenszykluskosten die der Anbau-, Pendel und Wandleuchten. Dies ist weitestgehend auf die hohe Leistungsaufnahme und den hohen Lichtstrom von 3.600 lm zurückzuführen.

Teil III

14 Ableitung der Anforderungen an ein Klimaschutzbezogenes Umweltzeichen

Als Ergebnis der vorangestellten Untersuchungen wurden im Rahmen des Forschungsprojekts „Top100 – Umweltzeichen für klimarelevante Produkte“ Anforderungen für das Umweltzeichen Blauer Engel für „Leuchten für die Anwendung in Büros und verwandten Einsatzbereichen“ erarbeitet. In dessen Geltungsbereich fallen Leuchten, welche den Anforderungen der Norm DIN EN 12464-1 Teil 1 (Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen) gerecht werden. Das Umweltzeichen gilt für Leuchten für Innenräume, bei denen ähnliche Anforderungen an die lichttechnischen Eigenschaften, die Schutzart sowie die Umgebungstemperaturen gelten. Damit gilt die Vergabegrundlage im Wesentlichen für Leuchten, die der Allgemeinbeleuchtung in Büros, Schulen oder Konferenzräumen dienen.

14.1 Einzelanforderungen

Wie in den vorangegangenen Kapiteln gezeigt, geht der Großteil der Umweltauswirkungen von Bürobeleuchtungssystemen auf deren Nutzungsphase, insbesondere auf den Stromverbrauch, zurück. Aus diesem Grund stehen im Zentrum der Anforderungen an das Umweltzeichen Anforderungen an die **Energieeffizienz** (Lichtausbeute) des Gesamtsystems „Leuchte“ (d.h. inkl. Vorschaltgerät und Leuchtmittel). Für die eingeführten Leuchtentypen gelten Höchstwerte an eine dimensionslose Aufwandskennzahl (PGN), die eine Funktion aus der gesamten Leistungsaufnahme (P) der Leuchte und dem emittierten Lichtstrom der Leuchte (Φ) darstellt.

Neben der Energieeffizienz im Betrieb verbrauchen Leuchten (hauptsächlich deren Vorschaltgeräte) Strom im **Bereitschaftszustand (Standby)**. Um diese zu minimieren wurden strenge Anforderungen festgelegt.

Wie die vorliegende Studie zeigt, gelten für **Vorschaltgeräte** vergleichsweise strenge Anforderungen (z.B. Wirkungsgrad nach Verordnung (EU) Nr. 245/2009). Diese werden durch eine Anforderung an die Entnehmbarkeit bzw. Austauschbarkeit des Vorschaltgeräts aus dem Leuchtengehäuse ergänzt.²⁹ Die **Entnehmbarkeit** gilt darüber hinaus auch für Leuchtmittel von Downlights (Tiefstrahlern). Konventionelle Lampen (z.B. Halogenlampen)

²⁹ Anmerkung: Die Entnehmbarkeit bezieht sich auf die Leuchte, nicht auf die Lampe. Kompaktleuchtstofflampen haben z.B. ein eingebautes Vorschaltgerät, gleichwohl kann es (zusammen mit der Lampe) aus der Leuchte entnommen werden.

sind ohnehin standardmäßig entnehmbar. Diese Anforderung gilt jedoch auch für Downlights, die LED-Leuchtmittel enthalten.

Die Vergabekriterien eines Umweltzeichens enthalten darüber hinaus strenge Anforderungen an den **Quecksilbergehalt** in Leuchtstofflampen, sowie zusätzliche **Qualitätsanforderungen** an die Nutzlebensdauer, den Lampenüberlebensfaktor und die Schaltfestigkeit von **LED-Leuchtmitteln** (sofern die jeweiligen Leuchtmittel in den Leuchten zum Einsatz kommen).

In Anlehnung an die Anforderungen an Haushaltslampen (vgl. Zangl et al. 2010, PROSA Lampen in Privathaushalten) bezüglich **UV-Strahlung und Elektromagnetische Felder**, werden diese auch für die Leuchten für die Anwendungen in Büros und verwandten Einsatzbereichen übernommen.³⁰ Diese Anforderung geht auf die zusätzliche Bedeutung des Umweltzeichens in Bezug auf die menschliche Gesundheit zurück.

Parallel zur Austauschbarkeit von Leuchtmitteln (bei LED-Leuchtmitteln gilt dies nur für Downlights) werden Anforderungen an die **Bereitstellung von Ersatzteilen** gestellt. Diese müssen mindestens 10 Jahre lang bereitgestellt werden. Diese Anforderung trägt der besonderen Ausrichtung des Umweltzeichens Blauer Engel hinsichtlich Ressourcenschonung Rechnung.

Abschließend werden Anforderungen an **Anwenderinformationen und Beschaffungshinweise** gestellt. Insbesondere über die zu verwendenden Leuchtmittel, deren Qualitätseigenschaften, sofern LED-Leuchtmittel verwendet werden, den Quecksilbergehalt von Leuchtstofflampen (sofern einsetzbar) sowie Informationen zum Einbrennen von Lampen (sofern Leuchtstofflampen einsetzbar sind) und zur **sachgemäßen Entsorgung** der Leuchte und des zugehörigen Leuchtmittels.

14.2 Vergabegrundlage

Die Bedingungen zur Nutzung eines Umweltzeichens für Leuchten für die Anwendung in Büros und verwandten Einsatzbereichen 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. Die Vergabegrundlage befindet sich im Anhang dieser Studie.

³⁰ Da Leuchten i.d.R. mit einem Gehäuse um das Leuchtmittel konstruiert sind, sind diese Gesundheitsanforderungen für diese Produkte vergleichsweise leichter einzuhalten.

15 Literatur

- ASR A3.4 Arbeitsstättenrichtlinie (ASR) A3.4; Ausschuss für Arbeitsstätten; Technische Regeln für Arbeitsstätten – Beleuchtung; Ausgabe April 2011.
- BMBF 2007 Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.); Optische Technologien – Wirtschaftliche Bedeutung in Deutschland; Berlin 2007.
- CELMA/ELC 2010 Europäischen Beleuchtungsindustrie (CELMA & ELC) (Hrsg.); Leitfaden der zur Anwendung der Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission, geändert durch die Verordnung Nr. 347/2010 zur Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Beleuchtungsprodukten im tertiären Bereich Federation of National Manufacturers Associations for Luminaires and Electrotechnical Components for Luminaires in the European Union, 2. Auflage; Brüssel 2010.
- CML 2009 Van der Voet, E.; Van Oers, L.; De Bruyn, S.; De Jong, F.; Tukker, A.; Environmental impact of the use of natural resources and products; Institute of Environmental Sciences (CML); Leiden 2009.
- Destatis 2013 Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hrsg.); Daten zur Energiepreisentwicklung, Lange Reihen von Januar 2000 bis Januar 2013, Wiesbaden 2013.
- DIN EN 12665:2002 Deutsches Institut für Normung (DIN) e.V. (Hrsg.); Licht und Beleuchtung, Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung; 2002.
- EC-Richtlinie 98/11 Europäische Kommission (EC) (Hrsg.); Richtlinie (EC) Nr. 98/11 der Kommission von 27. Januar 1998 zur Durchführung der Richtlinie 92/75/EEC des Europäischen Rates in Hinblick auf die Energiekennzeichnung von Haushaltslampen; Brüssel 1998.
- ElektroG Elektroggesetz (ElektroG): Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umwelt-verträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten vom 16. März 2005 (BGBl. I S. 762), zuletzt geändert durch Art. 11 G v. 31.7.2009 I 2585.
- Energieagentur NRW 2011 Energieagentur NRW (Hrsg.); Erhebung: Wo bleibt der Strom, Wuppertal 2011.
- EU-Beschluss Nr. 2011/331 Europäische Kommission (Hrsg.); Beschluss der Kommission zur Festlegung der Umweltkriterien für die Vergabe des EU-Umweltzeichens für Lichtquellen, Nr. 2011/331/EU.
- EU-Richtlinie 2009/125 Europäische Kommission (Hrsg.); Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates von 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Neufassung).

- EU-Verordnung 1275/2008 Europäische Kommission (Hrsg.); Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 der Kommission vom 17. Dezember 2008 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an den Stromverbrauch elektrischer und elektronischer Haushalts- und Bürogeräte im Bereitschafts- und im Aus-Zustand; Brüssel 2008.
- EU-Verordnung Nr. 1194/2012 Europäische Kommission (Hrsg.); EU-Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2009/125/EC des Europäischen Parlaments und des Rates in Hinblick auf Lampen für die gerichtete Beleuchtung sowie LED-Lampen und Betriebsgeräte, Nr. 1194/2012 vom 12.12.2012.
- EU-Verordnung Nr. 874/2012 Europäische Kommission (Hrsg.); EU-Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates in Hinblick auf Energieeffizienzkenzeichnung von Lampen und Leuchten, Nr. 874/2012.
- Fraunhofer ISI 2009 Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI); Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleitungen (GHD); 2009.
- Gasser 2012b Datensatz mit 706 Minergie-Zertifizierten Leuchten zwischen 2007-2012; zur Verfügung gestellt von Gasser, S.
- Gasser et al. 2012a Gasser, S.; Tschudy, D.; Licht im Haus – Energieeffiziente Beleuchtung; Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau (Hrsg.); Faktor Verlag, Zürich 2012.
- Grießhammer et al. 2007 Grießhammer, R.; Buchert, M.; Gensch, C.-O.; Hochfeld, C.; Manhart, A.; Rüdener, I.; in Zusammenarbeit mit Ebinger, F.; Produkt-Nachhaltigkeits-Analyse (PROSA) – Methodenentwicklung und Diffusion; Öko-Institut 2007.
- Heijungs et al. 1992 Heijungs, R. (final ed.); Environmental Life Cycle Assessment of Products. Guide (Part 1) and Backgrounds (Part 2); prepared by CML, TNO and B&G; Leiden 1992.
- IFH 2012a Lerch, C.; Marktdaten Europa 27 – Leuchten, Lampen und Zubehör; Produktbeschreibung; Institut für Handelsforschung (IFH); Köln 2012.
- IFH 2012b Krüger, U.; Branchenfokus Leuchten und Lampen, Produktbeschreibung; Institut für Handelsforschung (IFH); Köln 2012.
- IPCC 2007 Forster, P.; Ramaswamy, V.; Artaxo, P.; Berntsen, T.; Betts, R.; Fahey, D.W.; Haywood, J.; Lean, J.; Lowe, D.C.; Myhre, G.; Nganga, J.; Prinn, R.; Raga, G.; Schulz, M.; Van Dorland, R.; Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); Cambridge University Press 2007; <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>
- JRC 2011 European Commission, Joint Research Centre (JRC) (Hrsg.); European LED Quality Charter; 2011;

	http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/LED_Quality_Charter/PDF/EU_LED_Quality_Charter.pdf
licht.de 2011	licht.de, ZVEI-Licht, Lichttechnische Gesellschaft (LiTG); Leitfaden zur DIN EN 12464-1 Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen, 2012. http://www.licht.de/fileadmin/shop-downloads/Leitfaden_DIN_2.pdf
licht.de 2012	licht.de, ZVEI-Licht, Lichttechnische Gesellschaft (LiTG); Licht im Büro, motivierend und effizient, licht.wissen 04; Frankfurt a.M. 2012.
McKinsey 2012	Baumgartner, T.; Wunderlich, F.; Jaunich A.; Sato R.; Bundy G.; Gießmann N.; Kowalski J.; Burghardt S.; Hanebrink J.; Lighting the way, Perspectives on the global lighting market; McKinsey & Company (Hrsg.), 2. Auflage, 2012.
Reichenbach 2009	Reichenbach, F.; Fachbeitrag: Energieeffizienz mit intelligenter Lichtsteuerung, Züblin AG, 2009.
Stratmann & Gröger 2012	Stratmann, B.; Gröger, J.; PROSA Lichtmanagementsysteme für die Nutzung in Gebäuden, Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen, internes Arbeitspapier. Studie im Rahmen des Projekts „Top 100 – Umweltzeichen für klimarelevante Produkte“; Öko-Institut e.V. 2012
VITO 2007	Van Tichelen, P.; Jansen, B.; Geerken, T.; Vanden Bosch, M.; VanHoof, V.; Vanhooydonck, L.; Vercalsteren, A.; Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs, Final Report, Lot 8: Office lighting; Vision on technology (VITO) 2007.
www.eco-lighting-project.eu	Europaweites Projekt zur Weiterentwicklung des europäischen Umweltzeichens für Lichtquellen sowie von Leitlinien zur nachhaltigen öffentlichen Beschaffung; initiiert und unterstützt vom Europäischen Verband der Lichtindustrie (www.lightingeurope.com).
www.lightineurope.org	Internetauftritt des europäischen Leuchten- und Lampenverbandes LightingEurope (Zugriff am 13.12.2012).
Zangl et al. 2010	Zangl, S.; Quack, D.; Brommer E.; PROSA Lampen in Privathaushalten – Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen, Studie im Rahmen des Projekts „Top 100 – Umweltzeichen für klimarelevante Produkte“, Öko-Institut e.V. 2010.

16 Anhang

16.1 Anhang I: die berücksichtigten Wirkungskategorien der orientierenden Ökobilanz

- Kumulierter Primärenergiebedarf (KEA)
- Treibhauspotential (GWP)
- Versauerungspotential (AP)
- Eutrophierungspotential (EP)
- Photochemische Oxidantienbildung (POCP)

16.1.1 Kumulierter Primärenergiebedarf

Die energetischen Rohstoffe werden anhand des Primärenergieverbrauchs bewertet. Als Wirkungsindikatorwert wird der nicht-regenerative (d.h. fossile und nukleare) Primärenergieverbrauch als kumulierter Energieaufwand (KEA) angegeben.

16.1.2 Treibhauspotential

Schadstoffe, die zur zusätzlichen Erwärmung der Erdatmosphäre beitragen, werden unter Berücksichtigung ihres Treibhauspotenzials bilanziert, welches das Treibhauspotential des Einzelstoffs relativ zu Kohlenstoffdioxid kennzeichnet. Als Indikator wird das Gesamttreibhauspotential in CO₂-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach IPCC 2007 berücksichtigt.

16.1.3 Versauerungspotential

Schadstoffe, die als Säuren oder aufgrund ihrer Fähigkeit zur Säurefreisetzung zur Versauerung von Ökosystemen beitragen können, werden unter Berücksichtigung ihres Versauerungspotenzials bilanziert und aggregiert. Das Versauerungspotenzial kennzeichnet die Schädigung eines Stoffes als Säurebildner relativ zu Schwefeldioxid. Als Indikatoren für die Gesamtbelastung wird das Gesamtversauerungspotenzial in SO₂-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach CML 2009 berücksichtigt.

16.1.4 Eutrophierungspotential

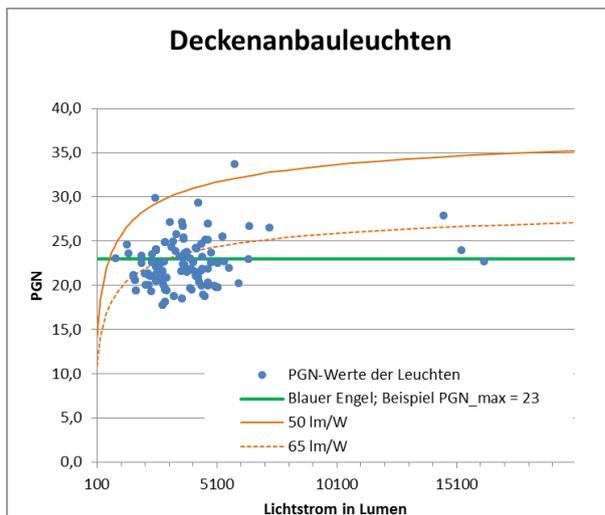
Nährstoffe, die zur Überdüngung (Eutrophierung) aquatischer und terrestrischer Ökosysteme beitragen können, werden unter Berücksichtigung ihres Eutrophierungspotenzials bilanziert und aggregiert. Das Eutrophierungspotenzial kennzeichnet die Nährstoffwirkung eines Stoffes relativ zu Phosphat. Als Indikator für die Gesamtbelastung werden das aquatische und das terrestrische Eutrophierungspotenzial in Phosphat-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach CML 2009 berücksichtigt.

16.1.5 Photochemische Oxidantienbildung

Zu den Photooxidantien gehören Luftschadstoffe, die zum einen zu gesundheitlichen Schädigungen beim Menschen, zum anderen zu Schädigungen von Pflanzen und Ökosystemen führen können. Den leichtflüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds, VOC) kommt eine zentrale Rolle zu, da sie Vorläufersubstanzen sind, aus denen Photooxidantien entstehen können. Als Indikator für die Gesamtbelastung wird das Photooxidantienbildungspotenzial in Ethylen-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach CML 2009 berücksichtigt.

16.2 Anhang II: Ableitung der PGN-Höchstwerte

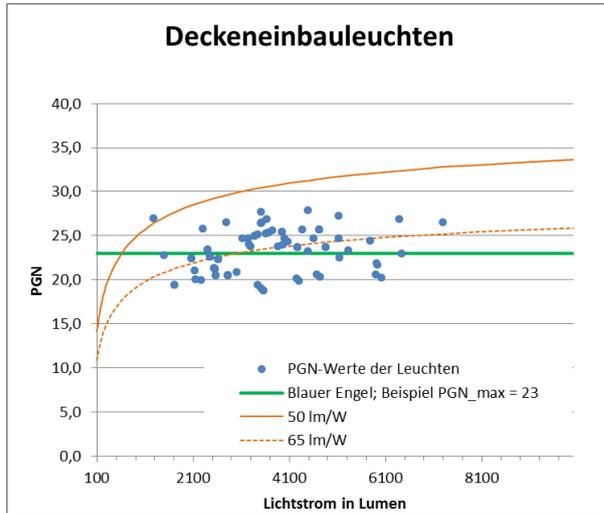
Deckenanbauleuchten



Ein **PGN-Wert von 23** schließt **37,93%** der 145 Deckenanbauleuchten mit Minergie-zertifizierung zwischen 2007-2012 aus (Punktewolke oberhalb der grünen Gerade).

Abbildung 16 Höchstwert für die Aufwandskennzahl (PGN-Wert) von Deckenanbauleuchten; Quelle: Öko-Institut / Gasser 2012b

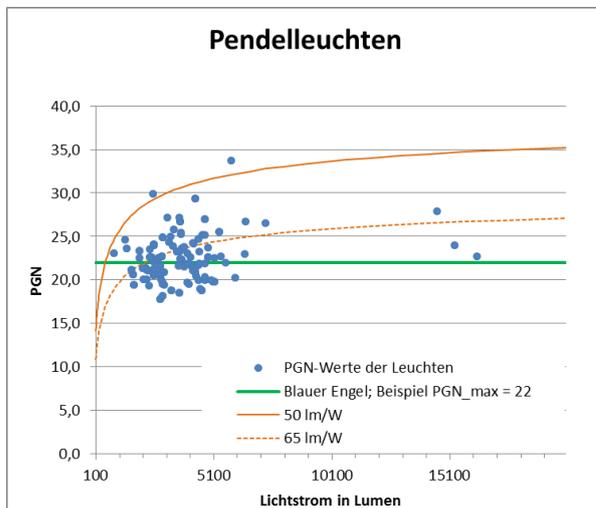
Deckeneinbauleuchten



Ein **PGN-Wert von 23** schließt **51,19%** der 84 Deckenanbauleuchten mit Minergie-zertifizierung zwischen 2007–2012 aus (Punktwolke oberhalb der grünen Gerade).

Abbildung 17 Höchstwert für die Aufwandskennzahl (PGN-Wert) von Deckeneinbauleuchten; Quelle: Öko-Institut / Gasser 2012b

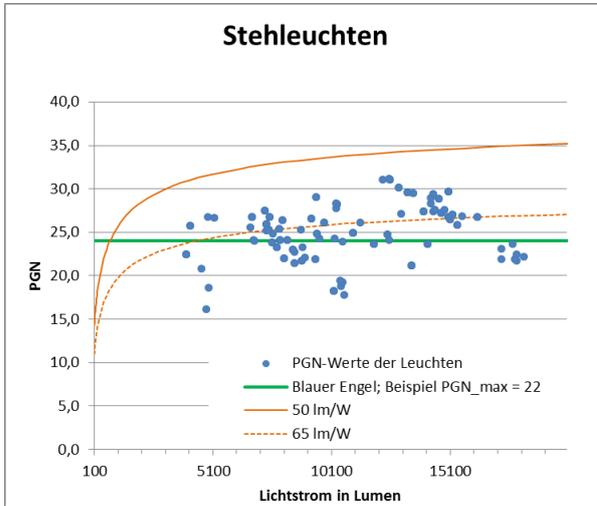
Pendelleuchten



Ein **PGN-Wert von 22** schließt **51,41%** der 191 Pendelleuchten mit Minergie-Zertifizierung zwischen 2007–2012 aus (Punktwolke oberhalb der grünen Gerade).

Abbildung 18 Höchstwert für die Aufwandskennzahl (PGN-Wert) von Pendelleuchten; Quelle: Öko-Institut / Gasser 2012b

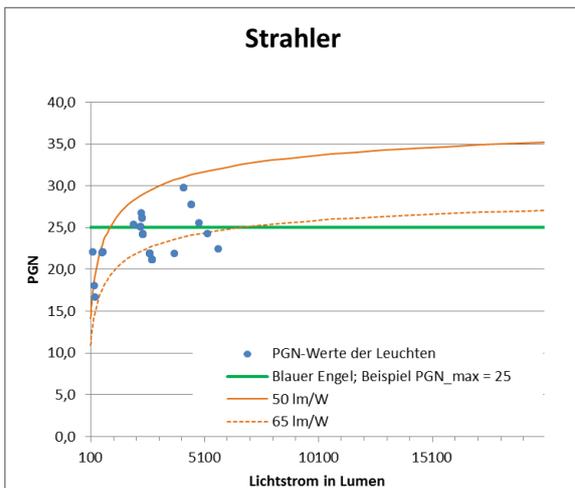
Stehleuchten



Ein **PGN-Wert von 24** schließt **66,43%** der 140 Stehleuchten mit Minergie-Zertifizierung zwischen 2007–2012 aus (Punktwolke oberhalb der grünen Gerade).

Abbildung 19 Höchstwert für die Aufwandskennzahl (PGN-Wert) von Stehleuchten; Quelle: Öko-Institut / Gasser 2012b

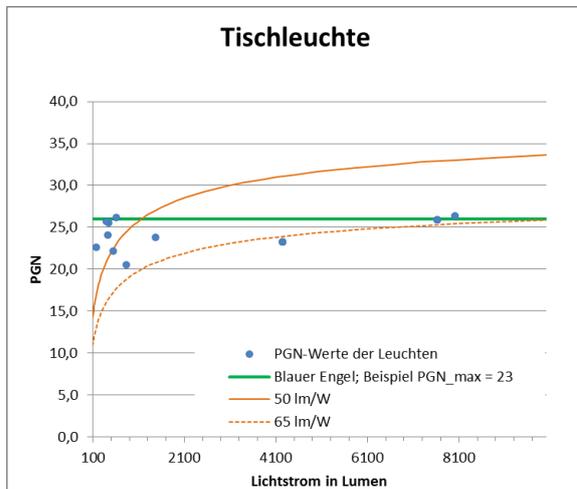
Strahler



Ein **PGN-Wert von 25** schließt **32,5%** der 40 Strahlerleuchten mit Minergie-Zertifizierung zwischen 2007–2012 aus (Punktwolke oberhalb der grünen Gerade). Aufgrund der kleinen Stichprobe wird eine weniger ambitionierte Anforderung gewählt.

Abbildung 20 Höchstwert für die Aufwandskennzahl (PGN-Wert) von Strahlern; Quelle: Öko-Institut / Gasser 2012b

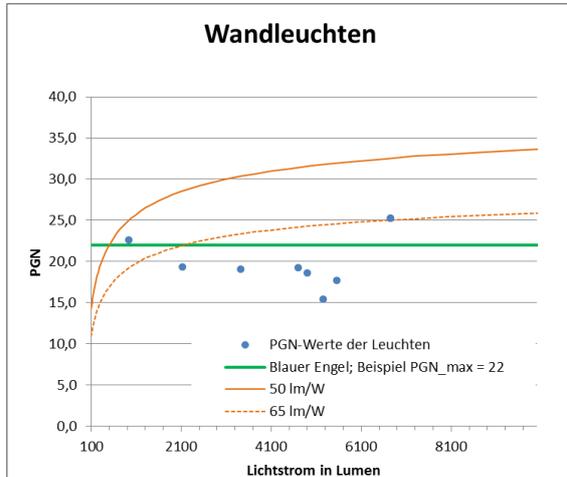
Tischleuchten



Ein **PGN-Wert von 25** schließt **32,5%** der 19 Tischleuchten mit Minergie-Zertifizierung zwischen 2007–2012 aus (Punktewolke oberhalb der grünen Gerade). Aufgrund der kleinen Stichprobe wird eine weniger ambitionierte Anforderung gewählt.

Abbildung 21 Höchstwert für die Aufwandskennzahl (PGN-Wert) von Tischleuchten; Quelle: Öko-Institut / Gasser 2012b

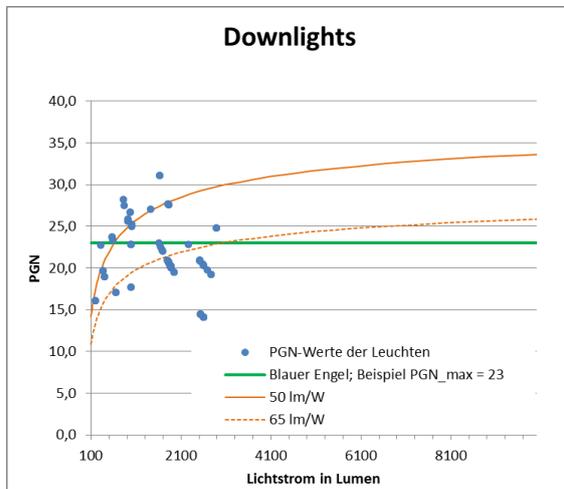
Wandleuchten



Ein **PGN-Wert von 22** schließt **33,33%** der 9 Wandleuchten mit Minergie-Zertifizierung zwischen 2007–2012 aus (Punktewolke oberhalb der grünen Gerade).

Abbildung 22 Höchstwert für die Aufwandskennzahl (PGN-Wert) von Wandleuchten; Quelle: Öko-Institut / Gasser 2012b

Downlights (dt. Tiefstrahler)



Ein **PGN-Wert von 23** schließt **28,21%** der 78 Wandleuchten mit Minergie-Zertifizierung zwischen 2007–2012 aus (Punktwolke oberhalb der grünen Gerade).

Abbildung 23 Höchstwert für die Aufwandskennzahl (PGN-Wert) von Downlights (dt. Tiefstrahler); Quelle: Öko-Institut / Gasser 2012b

16.3 Anhang III: Vergabegrundlage für das Umweltzeichen Blauer Engel, Entwurf

Entwurf der Vergabegrundlage für das Umweltzeichen Blauer Engel

1 Einleitung

1.1 Vorbemerkung

...

1.2 Ziel des Umweltzeichens

Das Umweltzeichen Blauer Engel ist in besonderem Maße dem Klimaschutz, der Verminderung des Energieverbrauchs sowie der Vermeidung von Schadstoffen und Abfall verpflichtet. Große Energieeffizienzpotenziale richten den Fokus hierbei auf neue technische Lösungen zur Beleuchtung von Bürogebäuden.

Der Anteil der Beleuchtung am gesamten Stromverbrauch in Deutschland beträgt 10 % (zum Vergleich: EU 16 % und weltweit 19 %). Der Blick auf Bürogebäude im Speziellen zeigt, dass dort der Anteil der Beleuchtung am gesamten Stromverbrauch bei bis zu 40 % liegt.

Aufgrund dieser Relevanz der Beleuchtung in Bezug auf die oben formulierten Umweltschutzziele, soll ein Umweltzeichen für **Leuchten für die Anwendung in Büros und verwandten Einsatzbereichen** eine bessere Marktdurchdringung von Produkten unterstützen, die folgende Eigenschaften erfüllen:

- gute lichttechnische Eigenschaften
- hohe Energieeffizienz
- geringe UV-Strahlung und elektromagnetische Felder
- eine lange Lebensdauer

Außerdem richtet sich das Umweltzeichen Blauer Engel nach dem Grundziel des Umweltbundesamtes aus, auf Quecksilber in Produkten langfristig zu verzichten. Die vorliegende Vergabegrundlage stellt noch strenge Anforderungen an den Quecksilbergehalt von eingesockelten sowie zweigesockelten Leuchtstofflampen. Der Anteil der Leuchtstofflampen, die nach Gebrauch von Gewerbebetrieben und Einrichtungen der öffentlichen Hand ordnungsgemäß entsorgt werden, ist deutlich höher als bei Lampen aus den Privathaushalten.

Im Rahmen der nächsten Revision der Vergabegrundlage wird geprüft, ob quecksilberhaltige Lampen vom Blauen Engel vollständig ausgeschlossen werden.

Darüber hinaus ist der Blaue Engel dem Grundziel der Ressourcenschonung verpflichtet. Deshalb wird auf die Austauschbarkeit der Leuchtmittel (Modularität) Wert gelegt. Während dies bei Leuchtstofflampen der Standardfall ist, ist die entsprechende Standardisierung bei LED-Leuchten noch in der Entwicklungsphase.

Die vorliegende Vergabegrundlage orientiert sich an dem Schweizer Energieeffizienzlabel „Minergie“ für Leuchten. Es handelt sich dabei um ein etabliertes Umweltzeichen mit zahlreichen Zeichennehmern. Die Anforderungen wurden an die Bedürfnisse des Umweltzeichens Blauer Engel angepasst.

Der Blaue Engel für Leuchten für die die Anwendung in Büros und verwandten Einsatzbereichen ist ein produktbezogenes Umweltzeichen. Es garantiert die Einhaltung der im Folgenden genannten Anforderungen. Er ersetzt nicht eine für die angemessene Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen und verwandten Bereichen (Schulen, Besprechungsräume etc.) notwendige Lichtplanung.

1.3 Einhaltung gesetzlicher Vorgaben und Richtlinien

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

- Die durch das Elektro- und Elektronikgesetz (ElektroG)¹ in deutsches Recht umgesetzten EU-Richtlinien 2002/96/EG² und 2002/95/EG³, die die Entsorgung regeln, sind beachtet. Unter Vorsorgeaspekten darüber hinaus gehende Anforderungen an Materialien werden eingehalten.
- Die durch die Chemikalienverordnung REACH (1907/2006/EG)⁴ und die EG-Verordnung 1272/2008⁵ (oder die Richtlinie 67/548/EWG) definierten stofflichen Anforderungen werden berücksichtigt.

¹ Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten, BGBl, 2005, Teil I, Nr. 17 (23.05.2005)

² Directive on Waste from Electrical and Electronic Equipment, RL 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Elektro- und Elektronik-Altgeräte vom 27.01.2003

³ Directive on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, Richtlinie 2002/95/EG zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten, ABI Nr. L 37, 13.02.2003

⁴ Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlamentes 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

⁵ Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlamentes 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

- EG-Verordnung 245/2009/EG⁶, die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb festlegt sowie EG-Verordnung 347/2010/EG zur Änderungen der Verordnung 245/2009/EG.
- Arbeitsstättenregel für die Beleuchtung von Büroarbeitsplätzen ASR A3.4 (Version 2011) sowie DIN EN 12464-Teil 1: Licht und Beleuchtung: Teil 1 Beleuchtung von Arbeitsstätten – Arbeitsstätten in Innenräumen.

1.4 Begriffsbestimmung

Im Folgenden werden einige zentrale Begriffe definiert.

Leuchte bezeichnet ein Gerät zur Verteilung, Filterung oder Umwandlung des von einer oder mehreren Lichtquellen übertragenen Lichtes. Eine Leuchte umfasst alle zur Aufnahme, zur Fixierung und zum Schutz der Lichtquellen notwendigen Teile und erforderlichenfalls Hilfselemente sowie die Vorrichtungen zu ihrem Anschluss an die Stromquelle. Die Lichtquelle selbst gehört nicht zur Leuchte.

Leuchtmittel sind alle elektrischen Betriebsmittel und elektrische Verbraucher, die dazu dienen, Licht zu erzeugen sowie alle Gegenstände, die durch chemische oder physikalische Vorgänge Licht erzeugen. Sie bilden eine Lichtquelle.

Eine **Entladungslampe** ist eine Lampe, in der Licht direkt oder indirekt mittels einer elektrischen Entladung durch ein Gas, einen Metalldampf oder ein Gemisch verschiedener Gase und Dämpfe erzeugt wird.

Eine **Lichtemittierende Diode (LED)** bezeichnet ein Halbleiterbauelement, das an seinem p-n-Übergang Licht emittiert, wenn es durch einen elektrischen Strom angeregt wird.

Ein **LED-Leuchtmittel** ist ein Leuchtmittel, dessen Lichtquelle aus einer oder mehreren Lichtemittierenden Dioden (LED) besteht.

Ein **Vorschaltgerät** bezeichnet eine Vorrichtung, die in erster Linie zur Begrenzung des Stromes 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,

⁶ Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb und zur Aufhebung der Richtlinie 2000/55/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates.

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.

Die **Nutzlebensdauer** von Leuchtmitteln berücksichtigt den Rückgang des Lichtstroms nach einer bestimmten Betriebsdauer.

Unter dem **Lampenüberlebensfaktor** (Lamp Survival Factor, LSF) versteht man den Anteil der zu einem gegebenen Zeitpunkt unter bestimmten Bedingungen und bei bestimmter Schaltfrequenz noch funktionierenden Lampen an der Gesamtzahl der Lampen.

Der **Lampenlichtstromwartungsfaktor** (Lamp Lumen Maintenance Factor, LLMF) beschreibt den Lichtstrom einer Lampe im Betrieb über die Lebensdauer im Vergleich zu einer neuen Lampe.

Lichtstrom (Φ) bezeichnet eine von der Strahlungsleistung (auch Strahlungsfluss) durch Bewertung der Strahlung entsprechend der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges abgeleitete Menge.

Lichtstrom der Leuchte bezeichnet den Lichtstrom der Leuchte wie er dem Nutzer auch zur Verfügung steht. Es ist damit der Lichtstrom, der durch eine Abdeckung (oder Raster o.ä.) hindurch, von der gesamten Leuchte abgestrahlt wird.

Leistungsaufnahme der Leuchte (P_L) bezeichnet allen elektrischen Aufwand, der erforderlich ist, damit die Leuchte die benötigte Lichtdienstleistung (Lichtstrom der Leuchte) erbringen kann.

Unter **Leuchtenlichtstromerhalt** (Luminaire Maintenance Factor, LMF) versteht man das Verhältnis zwischen dem Betriebswirkungsgrad einer Leuchte zu einem gegebenen Zeitpunkt und ihrem ursprünglichen Betriebswirkungsgrad.

Der **Bereitschaftszustand** bezeichnet einen Zustand, in dem die Leuchte mit dem Stromnetz verbunden ist, auf die Energiezufuhr aus dem Stromnetz angewiesen ist, um zeitlich unbegrenzt die Reaktivierungsfunktion bereitzustellen.

Die **Reaktivierungsfunktion** bezeichnet eine Funktion zur Aktivierung des Betriebsmodus der Leuchte mittels eines Fernschalters, eines Sensors oder eines sonstigen Lichtsteuerungssystems.

Unter **Quecksilbergehalt einer Lampe** versteht man die Menge des in einer Lampe enthaltenen Quecksilbers. Dieser wird gemäß IEC-Norm 62554 gemessen.

Bei **Deckeneinbauleuchten** handelt es sich um Leuchten, die in die Decke bzw. in deren Abhängung eingebaut werden.

Bei **Deckenanbauleuchten** handelt es sich um Leuchten, die an der Decke angebracht werden. Im Gegensatz zu Deckeneinbauleuchten werden diese nicht in die Abhängung von Decken eingebaut.

Bei **Pendelleuchten** handelt es sich um Leuchten mit Pendelaufhängung. Die Aufhängung wird so an der Decke angebracht, dass die Leuchte in einigem Abstand zur Decke frei im Raum hängt.

Wandleuchten sind Leuchten, die an der Wand angebracht werden.

Stehleuchten sind frei stehende Leuchten. Sie werden teilweise als einzige Beleuchtung, teilweise zur Beleuchtungsunterstützung weiterer Leuchten eingesetzt.

Tischleuchten sind kleine Stehleuchten, die meist auf Möbeln und anderen Einrichtungsgegenständen stehen. Die häufigste Tischleuchte ist die Schreibtischleuchte.

Strahlerleuchten sind Leuchten, die Licht in gebündelter Form abstrahlen. Das heißt, dass das Licht nicht gleichmäßig an den Raum, sondern in einem Lichtkegel mit einem bestimmten Winkel zur Richtungsachse abgestrahlt wird. Sie werden entweder an die Decke oder die Wand angebracht, jedoch nicht eingebaut. Typischerweise ist die Richtung des Lichtkegels eines Strahler verstellbar.

Als **Tiefstrahler** (engl. „Downlights“) bezeichnet man meist runde, mit Reflektoren und anderen optischen Elementen ausgestattete Deckenleuchten. Tiefstrahler können schwenkbar sein und für den Deckeneinbau (Einbau-Tiefstrahler) oder für den Deckenanbau (Anbau-Tiefstrahler) vorgesehen sein.

2 Geltungsbereich

Diese Vergabegrundlage gilt für **Leuchten**, die für den Einsatz in Büros (d.h. Arbeitsplätze mit Bildschirmgeräten) und verwandten Einsatzbereichen im Sinne der Norm DIN EN12464-1:2003 Teil 1 geeignet sind. Die Leuchten können ein Vorschaltgerät und das für die jeweilige Leuchte vorgesehene Leuchtmittel enthalten. Die genannten Einsatzbereiche umfassen Innenräume, bei denen ähnliche Anforderungen a) an die lichttechnischen Eigenschaften und b) an die Schutzart gelten sowie c) die Umgebungstemperaturen ähnliche sind. Damit gilt die Vergabegrundlage im Wesentlichen für Leuchten, die der Allgemeinbeleuchtung in Büros, Schulen oder Konferenzräumen dienen.

3 Anforderungen

3.1 Energieeffizienz

Eine mit dem Blauen Engel ausgezeichnete Leuchte darf den in Tabelle 1 genannten Höchstwert für PGN nicht überschreiten. Die Aufwandskennzahl PGN errechnet sich wie folgt:

$$PGN(P_L, \Phi_L) = P_L / (0,01029 * (0,88 * \sqrt{\Phi_L} + 0,049 * \Phi_L)),$$

mit Φ_L : Lichtstrom der Leuchte

P_L : Leistungsaufnahme der Leuchte

Tabelle 1: Höchstwerte für die dimensionslose Aufwandskennzahl PGN_{max}

Art der Leuchte	Aufwandskennzahl PGN_{max}
Stehleuchten	24
Pendelleuchten	22
Decken-Anbau-Leuchten	23
Decken-Einbau-Leuchten	23
Tiefstrahler (Downlights)	23
Strahlerleuchten	25
Tischleuchten	26
Wandleuchten	22

Nachweis

Die lichttechnische Messung der Leuchte ist mit dem vom Hersteller für den vorgesehenen Einsatzbereich empfohlenen bzw. vermarkteten Leuchtmittel (z.B. Leuchtstofflampe, LED-Lampe) durchzuführen.

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag und legt ein Prüfprotokoll eines nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Lichtmesslabors in Anlage 2 vor und legt die entsprechenden Seiten der Produktunterlagen in Anlage 9 vor. Prüfprotokolle des Antragstellers werden als gleichwertig anerkannt, wenn dieser ein Lichtmesslabor nutzt, das für diese Messungen von einer unabhängigen Stelle als SMT-Labor (supervised manufacturer testing laboratory) anerkannt ist.

Die lichttechnischen Eigenschaften der Leuchte müssen gemäß der Norm EN 13032 gemessen werden. Das für die Messung verwendete Vorschaltgerät und die verwendete Lampe müssen deklariert werden. Für die Lichtstärkemessungen müssen in der Polarachse mindestens 15-Grad-Schritte (24 Schritte für 360°), in der horizontalen Achse min. 5-Grad-Schritte (19 Schritte für direkt strahlende, 37 Schritte direkt-indirekt strahlende Leuchten) verwendet werden. Die Messung der elektrischen Leistung muss mit einem Watt-Meter der Güteklasse 2 (gemäß IEC 1036) oder besser durchgeführt werden.

3.2 Modularität von Leuchte und Lampe bei LED-Tiefstrahlern (LED-Downlights)

Tiefstrahler, die mit dem Blauen Engel ausgezeichnet werden, müssen austauschbare Leuchtmittel enthalten. Dies gilt insbesondere auch für Tiefstrahler, die LED-Lampen als Leuchtmittel verwenden.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag und legt die entsprechenden Seiten der Produktunterlagen in Anlage 9 vor.

3.3 Leistungsaufnahme im Bereitschaftszustand

Die Leistungsaufnahme einer Leuchte im Bereitschaftszustand darf 0,1 Watt nicht überschreiten. Nur Leuchten mit dimmbarem Vorschaltgerät oder externem Steckernetzteil dürfen im Bereitschaftszustand eine Leistungsaufnahme von 0,5 Watt nicht überschreiten.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag und legt ein Prüfprotokoll eines nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Prüflabors in Anlage 3 vor und legt die entsprechenden Seiten der Produktunterlagen in Anlage 9 vor. Prüfprotokolle des Antragstellers werden als gleichwertig anerkannt, wenn dieser ein Prüflaboratorium nutzt, das für diese Messungen von einer unabhängigen Stelle als SMT-Labor (supervised manufacturer testing laboratory) anerkannt ist.

Die Messung der elektrischen Leistung im Bereitschaftszustand muss mit einem Watt-Meter der Güteklasse 2 (gemäß IEC 1036) oder besser durchgeführt werden.

3.4 Vorschaltgeräte

Es müssen die Anforderungen über der EU-Verordnungen 245/2009/EG sowie 347/2010/EU eingehalten werden. Vorschaltgeräte müssen aus den Leuchten entnehmbar und austauschbar sein.

Nachweis:

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderung in Anlage 1 zum Vertrag, und legt die entsprechenden Seiten der Produktunterlagen als Anlage 9 vor.

3.5 Zusätzliche Anforderung an Leuchten, die Leuchtstofflampen als Leuchtmittel verwenden

Schadstoffe: Quecksilbergehalt

Sofern die Leuchten Leuchtstofflampen als Leuchtmittel verwenden, sind folgende Anforderungen an den Quecksilbergehalt pro Leuchtmittel einzuhalten:

Tabelle 2: Höchstwerte für den Quecksilbergehalt der in den Leuchten verwendeten Leuchtmittel

Lampentyp	Höchstwerte Quecksilbergehalt [mg]
Lineare Leuchtstofflampen T16	1,4 mg
Lineare Leuchtstofflampen T26	2,0 mg
Einseitig gesockelte Leuchtstofflampen	1,4 mg

Nachweis

- 1. Für Leuchten, deren Leuchtmittel kein Quecksilber enthalten, legt der Antragsteller zum Nachweis der Einhaltung dieser Anforderungen eine Herstellererklärung über das Nichtvorhandensein von Quecksilber vor (Anlage 4).*
- 2. Für Leuchten, die für den Betrieb mit Leuchtmittel vorgesehen sind, die Quecksilber enthalten, legt der Antragsteller zum Nachweis der Einhaltung dieser Anforderungen folgende Unterlagen vor:*

Der Antragsteller legt einen Prüfbericht des VDE-Prüf- und Zertifizierungsinstituts GmbH in 63069 Offenbach vor, der den gemessenen Quecksilbergehalt der Lampe beinhaltet (Anlage 5). Die Messung muss gemäß IEC-Norm 62554 durchgeführt werden.

3.6 Zusätzliche Anforderungen an Nutzlebensdauer, Lampenüberlebensfaktor (LSF) und Schaltfestigkeit

Es werden folgende Anforderungen an LED-Leuchtmittel gestellt:

1. Die Nutzlebensdauer der LED-Leuchtmittel muss in der Produktinformation angegeben werden, zu deren Ende der Lichtstrom 80 % des Nennwertes erreicht. Die Nutzlebensdauer muss mindestens 20.000 Stunden betragen.
2. Der Lampenüberlebensfaktor (LSF) bei Ablauf der Nutzlebensdauer muss größer oder gleich 90 % sein.

3. Die Schaltfestigkeit darf 100.000 Schaltzyklen nicht unterschreiten. In der Produktinformation muss die Schaltfestigkeit und der verwendete Schaltzyklus angegeben werden.

Für alle übrigen Leuchtmittel gelten die Anforderungen der EG-Verordnung 245/2009.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag. Die entsprechenden Produktunterlagen sind in Anlage 9 beizulegen.

Zusätzlich muss der Antragsteller für die Punkte 1. und 2. Prüfprotokolle gemäß IEC/PAS 62722-2-1 Performance Requirements LED-Luminaire als Anlage 6 vorlegen. Das Prüflabor muss nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert sein. Prüfprotokolle des Antragstellers werden als gleichwertig anerkannt, wenn dieser ein Lichtmesslabor nutzt, das für diese Messungen von einer unabhängigen Stelle als SMT-Labor (supervised manufacturer testing laboratory) anerkannt ist.

3.7 UV-Strahlung

Die auszuzeichnende Leuchte mit dem vom Hersteller für den vorgesehenen Einsatzbereich empfohlenen bzw. vermarkteten Leuchtmittel darf im Abstand von 20 cm vom Lichtschwerpunkt (wie in DIN EN 62471 festgelegt) folgende Werte nicht überschreiten:

- Aktinisches UV (250 nm bis 400 nm) – $E_S = 0,01 \text{ mW/m}^2$
- UVA (315 nm bis 400 nm) – $E_{UVA} = 100 \text{ mW/m}^2$, bezogen auf 1000 Lux.

Für eine Reduzierung durch Blaulichtgefährdung muss die Leuchte zusätzlich der Risikoklasse („exempt group“) 0, wie in DIN EN 62471, zugeordnet sein.

Nachweis

Der Antragsteller weist die Einhaltung dieser Anforderungen für eine zufällig ausgewählte Lampe durch Messungen nach DIN EN 62471 (Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen) nach und legt ein entsprechendes Prüfprotokoll vor, das die Einhaltung der oben genannten Werte nachweist (Anlage 7).

3.8 Elektromagnetische Felder

Auszuzeichnende Leuchten dürfen im Abstand von 30 cm elektrische Felder nur in einem solchen Maße emittieren, dass die Bedingung $F \leq 0,3 \%$ eingehalten wird.

F ist der in der Norm DIN EN 62493:2010 in der in Gleichung E.4 des zum Nachweis anzuwendenden Beurteilungsverfahrens definierte Faktor.

Nachweis

Der Antragsteller weist die Einhaltung dieser Anforderung durch Messung nach DIN EN 62493 (Beurteilung von Beleuchtungseinrichtungen bezüglich der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern – Produktfamiliennorm (IEC 34/116/CD) für eine zufällig ausgewählte Leuchte unter Verwendung des dafür vorgesehenen Leuchtmittels nach und legt ein Prüfprotokoll vor (Anlage 8). Der gemessene Wert muss den geforderten Wert um 4 dB unterschreiten. Sofern die erste Messung diese Forderung nicht erfüllt, ist eine zweite Messung durchzuführen, die die Einhaltung dieser Bedingung nachweist.

3.9 Bereitstellung von Ersatzteilen

Der Antragsteller verpflichtet sich, dafür zu sorgen, dass die Ersatzteilversorgung für die Reparatur der Leuchte für mindestens 10 Jahre ab Produktionseinstellung sichergestellt ist und dass der Kunde über diese Sicherstellung der Verfügbarkeit von Ersatzteilen informiert wird, z.B. über entsprechende Hinweise in den Produktunterlagen.

Unter Ersatzteilen sind solche Teile zu verstehen, die typischerweise im Rahmen der üblichen Nutzung eines Produktes ausfallen können. Andere, regelmäßig die durchschnittliche Lebensdauer des Produktes überdauernde Teile, sind nicht als Ersatzteile anzusehen.

Die Produktunterlagen müssen Informationen über die genannten Anforderungen enthalten.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage X und legt die entsprechenden Seiten der Produktunterlagen in Anlage Y vor.

3.10 Anwenderinformationen und Beschaffungshinweise

Beim Kauf einer Leuchte müssen für die Anwender verständliche Produktunterlagen dem Produkt beigelegt sein, die mindestens folgende Angaben enthalten:

- Informationen zum Leuchtmittel, das für die entsprechende Leuchte vorgesehen ist, (z.B. lineare Leuchtstofflampe) sind beizufügen. Im Falle des Ausfalls des Leuchtmittels muss das verantwortliche technische Personal so das Leuchtmittel wechseln können, ohne dass sich die lichttechnischen Eigenschaften der gesamten Leuchte verändern.
- Informationen über Nutzlebensdauer, Lampenüberlebensfaktor und Schaltfestigkeit, sofern LED-Leuchtmittel eingesetzt werden
- Information über Quecksilbergehalt, sofern Leuchtstofflampen eingesetzt werden

- Informationen zum Einbrennen der in der Leuchte verwendeten Leuchtmittel, falls erforderlich. Dies trifft zum Beispiel auf Leuchten zu, die Leuchtstofflampen als Leuchtmittel nutzen.
- Hinweise zur sachgemäßen Entsorgung der Leuchte und des zugehörigen Leuchtmittels.

Die genannten Produktinformationen sind vom Hersteller auf dessen Internetseite an der Stelle verfügbar zu machen, an der das Produktdatenblatt veröffentlicht ist.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderung in Anlage 1 zum Vertrag, nennt den Internet-Link, unter dem diese Informationen abrufbar sind und legt die entsprechenden Seiten der Produktunterlagen als Anlage X vor.