

PROSA

Lampen in Privathaushalten

Entwicklung der Vergabekriterien für ein
klimaschutzbezogenes Umweltzeichen

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

August 2010

Autorinnen:

Stéphanie Zangl

Dr. Dietlinde Quack

Eva Brommer

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 95-88

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95

64295 Darmstadt. Deutschland

Tel. +49 (0) 6151 – 81 91-0

Fax +49 (0) 6151 – 81 91-33

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

1	Einleitung	1
2	Definition	2
2.1	Glühlampen	3
2.2	Kompaktleuchtstofflampen	3
2.3	LED-Lampen	5
3	Markt- und Umfeldanalyse	6
3.1	Markttrends	9
3.1.1	Kompaktleuchtstofflampen	9
3.1.2	LED-Lampen	9
3.2	Technologietrends	10
3.3	Preise	11
4	Energieeffizienz	11
4.1	Technologievergleich	11
4.1.1	Ökobilanzielle Ergebnisse	13
4.2	Quecksilber	15
4.3	Energieeffizienzkennzeichnung	16
5	Gesetzliche Mindestanforderungen	18
5.1	Ungerichtete Haushaltsbeleuchtung	18
5.2	Gerichtete Haushaltsbeleuchtung	21
5.3	Quecksilber in Lampen (RoHS)	23
6	Umweltzeichen	24
6.1	Europäisches Ecolabel („Euroblume“)	24
6.2	Energy Star (USA)	26
6.3	Energy Saving Trust (UK)	28
7	Qualitätsaspekte	29
7.1	Lichttechnische Eigenschaften	29
7.2	Strahlung und Spektrum	32
7.3	Qualitätsaspekte Kompaktleuchtstofflampen	34
7.4	Qualitätsaspekte LED-Lampen	36

7.5	Normen und Standards	37
7.5.1	EN 60969	38
7.5.2	EN 50285	39
7.5.3	LED-Lampenprüfung	40
7.6	Qualitätstests	45
7.6.1	Stiftung Warentest	45
7.6.2	EcoTopTen	49
7.6.3	topten.ch (Stand Ende 2009)	50
8	Konsumtrends	51
9	Nutzenanalyse	52
9.1	Gebrauchsnutzen	52
9.2	Symbolischer Nutzen	53
9.3	Gesellschaftlicher Nutzen	53
10	Lebenszyklusbetrachtungen	54
10.1	Orientierende Ökobilanz	54
10.1.1	Funktionelle Einheit	54
10.1.2	Systemgrenzen	55
10.1.3	Betrachtete Wirkungskategorien	56
10.2	Analyse der Lebenszykluskosten	59
10.2.1	Investitionskosten	59
10.2.2	Stromkosten	60
10.2.3	Reparaturkosten	61
10.2.4	Entsorgungskosten	61
10.2.5	Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse	61
11	Ableitung von Anforderungen für ein Umweltzeichen	62
11.1	Energieverbrauch	62
11.1.1	Energieeffizienz	62
11.1.2	Scheinleistung	63
11.2	Qualität und Gebrauchstauglichkeit	65
11.2.1	Farbwiedergabe	65
11.2.2	Abweichung der ähnlichsten Farbtemperatur T _n	65
11.2.3	Beständigkeit der Lampe	66
11.3	Schadstoffe: Quecksilbergehalt der Lampe	70
11.4	UV-Strahlung	71
11.5	Elektromagnetische Felder	72

11.6	Verbraucherinformationen	72
11.7	Akkreditierte Labore	72
11.8	UBA-Ansatz	73
12	Literatur	73
13	Anhang	77
13.1	Anhang I: Wirkungskategorien der Life Cycle Analysis	77
13.1.1	Kumulierter Primärenergiebedarf	77
13.1.2	Treibhauspotenzial	77
13.1.3	Versauerungspotenzial	78
13.1.4	Aquatisches und terrestrisches Eutrophierungspotenzial	78
13.1.5	Photochemische Oxidantienbildung	79
13.2	Anhang II: Vergabegrundlage für das Umweltzeichen Blauer Engel	79

1 Einleitung

Die Firma Osram gibt an, dass der Anteil der Beleuchtung in Deutschland 10% des gesamten Stromverbrauchs ausmacht (zum Vergleich: EU 16% und weltweit 19%) (Osram 07/2007). In deutschen Haushalten wird laut statistischem Bundesamt ca. 8% des Strombedarfs für die Beleuchtung verwendet. Für einen statistischen Durchschnittshaushalt in Deutschland summiert sich somit der Strombedarf für die Beleuchtung im Laufe eines Jahres auf knapp 300 kWh (siehe Tabelle 1). Seit 1995 hat sich sowohl der Anteil am gesamten Stromverbrauch als auch der tatsächliche Verbrauch nur geringfügig geändert.¹

Tabelle 1 Stromverbrauch Beleuchtung Privathaushalte in Deutschland (Destatis 2009)

Top-down-Ansatz	1995	2000	2007
Stromverbrauch gesamt [PJ]	41	41	41
Stromverbrauch gesamt [TWh]	11	11	11
Anteil Gesamtenergieverbrauch	2%	1%	2%
Stromverbrauch je Haushalt [kWh]	306	298	286
Anteil Stromverbrauch Haushalt	9%	9%	8%

In der Schweiz wurde 2006 eine Untersuchung durchgeführt, die ebenfalls Angaben zum durch Lampen generierten Stromverbrauch in Privathaushalten beinhaltet. Sie kommt zu dem Ergebnis, dass die Beleuchtung für 14% des jährlichen Stromverbrauchs eines Haushaltes verantwortlich ist. Damit rangiert nach den Geräten der weißen Ware (43%) und vor der Informations- und Kommunikationstechnologie (10%) an zweiter Stelle. Der gesamte jährliche Verbrauch eines Haushaltes für Beleuchtung betrug demnach 2005 durchschnittlich 600 kWh. Eine vergleichbare Studie wurde bereits 1992 durchgeführt. Bei einem Vergleich der Ergebnisse konnte zwischen 1992 und 2006 eine Verbrauchszunahme der Beleuchtung in Privathaushalten von rund 80% beobachtet werden (Grieder und Huser 2006a; 2006b). Dies widerspricht den oben aufgeführten Ergebnissen für Deutschland (möglicherweise liegt es daran, dass die Zahlen aus der Schweiz aus einer Bottom-up-Untersuchung kommen, während die Zahlen des Statistischen Bundesamtes aus einer Top-down-Analyse stammen). Weiterhin gibt die Schweizer Studie an, dass der Anteil der Glühlampen an allen Lampen eines Privathaushaltes 53% beträgt und im Durchschnitt 26 Lampen pro Haushalt vorhanden sind (siehe auch Abbildung 1) (Grieder und Huser 2006a; 2006b).

¹ Der Stromverbrauch je Haushalt ist leicht rückläufig, allerdings nimmt die Haushaltsgröße zwar ab, jedoch die Anzahl der Haushalte insgesamt zu, so dass in der Summe eher von einem Anstieg des Stromverbrauchs durch Beleuchtung auszugehen ist.

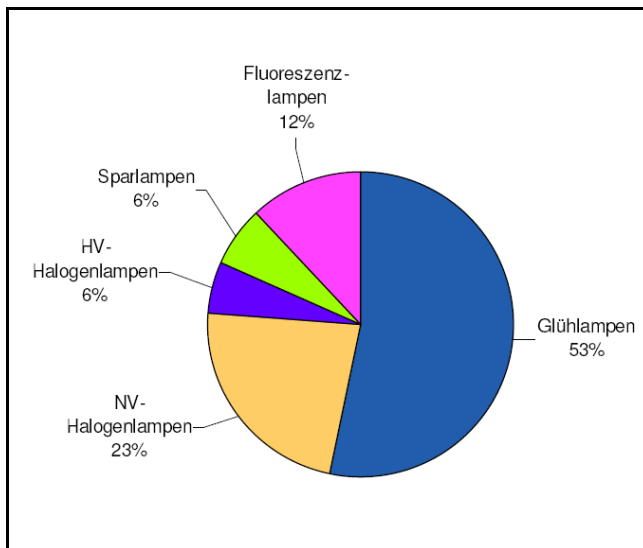


Abbildung 1 Prozentualer Anteil der verschiedenen Lampenarten (Grieder und Huser 2006a)

Der vorliegende Bericht untersucht das Produkt Lampe bezüglich seines Einsatzes in Privathaushalten im Hinblick auf entstehende Umweltbelastungen, technologische Entwicklungen, Qualitätsaspekte, Nutzen und Kosten. Der Einsatz in Privathaushalten stellt die Ausgangsbasis für Maßnahmen zur Energieeffizienz dar. Die in diesem Bericht vorgestellten Aspekte gelten jedoch ebenso für andere Einsatzbereiche.

2 Definition

Der Begriff „Lampe“ beinhaltet – im Gegensatz zu „Leuchten“ – eine ganze Reihe an Produkten. Man kann unterscheiden zwischen Lampen, die eher für den Hausgebrauch geeignet sind, wie z.B. Glühlampen, Kompaktleuchtstofflampen oder auch Halogenlampen, und Lampen für den gewerblichen oder industriellen Gebrauch, wie z.B. lineare Leuchtstofflampen, Metall-Hydrid-Lampen oder auch Natriumhochdrucklampen.

Auf europäischer Ebene wurde für den Gesetzgebungsprozess bezüglich Mindestanforderungen an energiebetriebene Produkte² zusätzlich noch zwischen gebündeltem (so genannte „Spots“, zu denen auch die auf den Markt drängenden LED-Lampen gehören) und ungebündeltem Licht (alles außer „Spots“) unterschieden (siehe Kapitel 5).

Die vorliegende Studie hat jedoch als Ziel, das Produkt Lampe im Sinne einer Verwendung in Privathaushalten unter dem Aspekt der Energieeffizienz zu untersuchen und demnach Kompaktleuchtstofflampen (im Folgenden mit dem technischen Fachbegriff Kompaktleucht-

² Der so genannte EuP-Prozess auf Grundlage der Richtlinie 2005/32/EG zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (auch „Ökodesign-Richtlinie“ genannt).

stofflampe bezeichnet) und LED-Lampen in den Fokus zu nehmen. Halogenlampen werden zwar in Haushalten häufig verwendet (siehe Abbildung 1), sind jedoch sehr viel weniger effizient, als Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen. Lineare Leuchtstofflampen sind effizient und werden ebenfalls in Privathaushalten eingesetzt, sind jedoch Gegenstand einer separaten Untersuchung.

Glühlampen sind nach wie vor sehr verbreitet in Privathaushalten, sie werden aber aufgrund ihrer sehr geringen Effizienz seit dem 1. September 2009 schrittweise vom europäischen Markt genommen (siehe Kapitel 5). Aus diesem Grund sind sie nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung, werden jedoch als Vergleichstechnologie herangezogen und im Folgenden kurz beschrieben.

2.1 Glühlampen

Glühlampen sind eine künstliche Lichtquelle und werden auch umgangssprachlich als Glühbirnen bezeichnet. Ihr Funktionsprinzip beruht auf einem elektrischen Leiter, dem so genannten Glühfaden. Dieser besteht aus den Metallen Wolfram und Osmium und ist in einen gasgefüllten Glaskolben eingeschlossen. Durch den Durchfluss von Strom wird der Glühfaden erhitzt und dadurch zum Leuchten angeregt (EcoTopTen 2008a).

Glühlampen haben im Vergleich zu anderen künstlichen Lichtquellen eine sehr niedrige Energieeffizienz. Das heißt, sie wandeln den verbrauchten Strom im Vergleich zu anderen Technologien in weniger Lichtleistung um: Es werden nur 5% in Licht, aber 95% in Wärme umgewandelt.

2.2 Kompaktleuchtstofflampen

Kompaktleuchtstofflampen werden aufgrund ihrer energieeffizienten Technologie umgangssprachlich auch gerne als Energiesparlampen bezeichnet. Sie sind auf der Innenseite mit einem fluoreszierenden Leuchtstoff beschichtet und mit Gas gefüllt, dessen Moleküle zur Lichterzeugung elektrisch angeregt werden. Sie gehören daher zu den so genannten Gasentladungslampen. Je nach Leuchtstoff lassen sich Helligkeit und Lichtfarbe variieren. Zum Betrieb einer Kompaktleuchtstofflampe wird ein elektronisches Vorschaltgerät benötigt, das meistens im Sockel der Lampe integriert ist.

Neben Kompaktleuchtstofflampen gibt es auch andere energiesparende Leuchtstofflampen, die im Gegensatz zu Kompaktleuchtstofflampen nicht platzsparend gebogen sind, sondern z.B. eine lange Röhrenform haben.

Im Gegensatz zum Tageslicht wird bei der Lichterzeugung nicht das ganze Spektrum des sichtbaren Lichts gleichmäßig verteilt wiedergegeben, sondern es entstehen Spitzen bei bestimmten Wellenlängenbereichen. Das führt dazu, dass die abgegebene Lichtfarbe oft als „kalt“ empfunden wird, wenn diese Spitzen eher im Blaubereich liegen.

Vollspektrumlampen sind Leuchtstofflampen, die ein tageslichtähnliches Licht ausstrahlen. Dies bedeutet zum einen, dass man die Farben von Objekten in diesem Licht sehr gut erkennen kann – ähnlich wie unter Tageslicht. Zum anderen beinhaltet das Licht von Vollspektrumlampen auch einen geringen Anteil UV-Licht, was laut einzelner Untersuchungen möglicherweise positive Effekte auf die Gesundheit hat (siehe Kapitel 7.4). Im Handel werden Vollspektrumlampen oft mit den Begriffen Biolight, Daylight, Nature Colour oder Ähnlichem bezeichnet. Vollspektrumlampen erkennt man immer an der Ziffer 950 oder 960³ auf der Lampenverpackung.

Kompaktleuchtstofflampen gibt es für fast jeden Einsatzbereich, sowohl für innen als auch für außen: Es gibt große und kleine Fassungen (E14 und E27), große und kleine Abmessungen (z.B. mit Stecksockel), unterschiedliche Weißtöne sowie bunte Farben und sogar dimmbare oder mit Sensortechnik ausgestattete. Qualitätslampen erzielen mittlerweile eine Lichtfarbe und eine Lichtqualität, die der Glühlampe immer ähnlicher wird.

Auch bei den Formen bietet der Markt neben der bekannten langen Röhrenform inzwischen viele weitere Modelle: gewendelte kurze Röhren, Glühlampen, Kerzen, Großkolben, Lampen mit Reflektoren oder Sonderformen wie beispielsweise die Ringform. Mittlerweile gibt es sogar Kompaktleuchtstofflampen mit Stecksockel, die für Halogenlampenfassungen geeignet sind (EcoTopTen 2008a).

Diese Eigenschaften führen dazu, dass Kompaktleuchtstofflampen gut als effizienter Ersatz für Glühlampen geeignet sind (siehe Kapitel 4).

Leuchtstofflampen enthalten als Leuchtmittel geringe Mengen Quecksilber und damit im Vergleich zur Glühlampe einen umweltschädlichen Stoff, welcher jedoch die effiziente Umwandlung von Strom in Licht ermöglicht. Eigentlich ist die Verwendung von Quecksilber in Lampen seit dem 1. Juli 2006 in der EU verboten. Da Kompaktleuchtstofflampen aber als Ersatz für Glühlampen eine Entlastung der Umwelt durch geringeren Stromverbrauch herbeiführen und daher letztlich zu einer Verringerung der gesamten Quecksilberemissionen führen (siehe Kapitel 4.1.1), gilt für sie eine Ausnahme. Zurzeit sind deshalb 5 mg Quecksilber je Kompaktleuchtstofflampe gesetzlich erlaubt. Die EU-Kommission erarbeitet jedoch gerade einen neuen Entwurf dieser Ausnahme, so dass wahrscheinlich ab 2012 ein neuer Grenzwert von 3,5 mg gelten wird.

Kompaktleuchtstofflampen verbrauchen bei gleicher Helligkeit nur 20% des Stroms, den herkömmliche Glühlampen benötigen, und haben eine bis zu 15-mal längere Lebensdauer (bis ca. 15.000 h). Lebensdauerbestimmend sind die Adsorption des Quecksilbers an den Lampenkomponenten und die Lebensdauer der Kathoden (EcoTopTen 2004).

³ Lampen werden mit solchen dreistelligen Zahlen gekennzeichnet. Die beiden letzten Ziffern sind die ersten beiden Werte der Farbtemperatur, die erste Ziffer gibt Auskunft über den Ra-Farbwiedergabeindex. Z.B. gibt die Zahl 960 Auskunft darüber, dass die Lampe einen Farbwiedergabeindex von ≥ 90 und eine Farbtemperatur zwischen 6.000 und 6.500 K hat.

2.3 LED-Lampen

Leuchtdioden (auch Lumineszenzdiode, kurz LED für Light Emitting Diode bzw. licht-emittierende Diode) sind elektronische Halbleiter-Bauelemente. Fließt durch die Diode Strom, so strahlt sie Licht ab. Mittlerweile ist es gelungen, auf Basis solcher Dioden künstliche Lichtquellen für unterschiedliche Verwendungszwecke zu bauen. LED-Lampen, die aus mehreren Dioden bestehen und ebenfalls ein Vorschaltgerät benötigen, haben ähnlich wie Kompaktleuchtstofflampen eine viel höhere Lichtausbeute als Glühlampen (siehe Kapitel 4.1). Bereits jetzt sind sie dabei, die Glühlampe in etlichen Anwendungen zu verdrängen, zum Beispiel bei Taschen-, Lese- und Fahrradlampen. Bis sie jedoch beginnen, Glühlampen als allgemeines Beleuchtungsmittel zu ersetzen, müssen ihre Lichtausbeute und Energieeffizienz weiter gesteigert sowie die derzeit noch hohen Anschaffungskosten gesenkt werden (EcoTopTen 2008a).

Vorteile der LED-Lampen gegenüber Kompaktleuchtstofflampen sind die lange Lebensdauer (Hersteller geben bis zu 50.000 h an), die in naher Zukunft erwartete höhere Effizienz⁴ und die Abwesenheit von Quecksilber. Leider sind momentan jedoch noch qualitativ sehr unterschiedliche Produkte auf dem Markt, die zum Teil Schwächen bei der Farbwiedergabe und Produktqualität allgemein haben. Leider werden oft auch bei der Angabe der Lichtausbeute hohe Laborwerte anstatt realer Werte angegeben. Qualitativ gute Lampen haben eine mit Kompaktleuchtstofflampen vergleichbare gute Farbwiedergabe mit einem kontinuierlichen Lichtspektrum. Eine Lebensdauer von bis zu 50.000 h kann nur erreicht werden, wenn die beim Betrieb der Lampe entstehende Wärme gut abgeleitet wird und das Vorschaltgerät ebenso lange hält, was die Produkte, die sich derzeit auf dem Markt befinden, oft nicht leisten (Gasser 2009b).

Aufgrund der dynamischen Entwicklung dieser neuen Technologie gibt es noch keine vereinheitlichte Deklaration der Lampeneigenschaften und es fehlen Standards. Vorteile der LED-Lampen sind vor allem der Einsatz als gerichtete Lichtquelle, eine sehr hohe Lebensdauer, keine Wärme im Lichtstrahl, UV-freies Licht sowie die Möglichkeit von Farbmodulation und relativ verlustarmem Dimmen (Gasser 2009b).

⁴ Experten erwarten in den nächsten 5 Jahren eine Verdopplung der Effizienz von momentan 50-70 lm (Gasser 2009).

3 Markt- und Umfeldanalyse

Über den Lampenmarkt gibt es wenig öffentlich zugängliche Informationen. Der Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI), in dem die Lampenhersteller in Deutschland organisiert sind, hält nur grobe Zahlen vor, die u.a. belegen, dass von den zurzeit jährlich verkauften 40 Mio. Kompaktleuchtstofflampen etwas über die Hälfte Schraubgewinde hat und deshalb als Ersatz für Glühlampen geeignet ist (siehe Tabelle 2). Diese Lampen werden auch als Retrofit-Lampen bezeichnet.

Tabelle 2 Lampenmarkt im Überblick (ZVEI 02/2007 bis 01/2009 und Osram 07/2007)

Region (Zeitraum)	Markt	Einsparpotenzial
EU (2007)	2 Mrd. Glühlampen; 250 Mio. Halogenlampen; 150 Mio. Kompaktleuchtstofflampen	20 Mio. t CO ₂
D (2009)	200 Mio. Glühlampen; 40 Mio. Kompaktleuchtstofflampen (25 Mio. mit Schraubgewinde)	4,5 Mio. t CO ₂

Aufgrund des im September 2009 in Kraft getretenen Beginns der stufenweise Verschärfung von Anforderungen an Lampen (siehe Kapitel 5) und der damit verbundenen „Hamsterkäufe“ ist laut der Zeitung „Die Welt“ im ersten Quartal 2009 die Nachfrage um 15–20% gestiegen. Der Lampenhersteller Osram erwartet europaweit im Jahr 2009 aber einen Rückgang von 10%, was jedoch keine starken Auswirkungen auf das Lampengeschäft insgesamt hat, da Glühlampen nur 5% des jährlichen Umsatzes von 4,6 Mrd. EUR (2008) ausmachen. Weiterhin merkt Osram an, dass ein Großteil der in Deutschland verkauften Kompaktleuchtstofflampen von Herstellern aus Asien importiert wird und der Anteil billiger Lampen mit einer Lebensdauer unter 6.000 h bei ca. zwei Dritteln liegt (Welt Online 09/2009).

Zusätzlich zu diesen Angaben enthält die Vorstudie zur EU-Ökodesign-Richtlinie bezüglich Beleuchtung in Haushalten (EuP 2009b) Angaben zu Marktzahlen, die im Folgenden auszugswise dargestellt sind.

Tabelle 3 Verkaufszahlen Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem Vorschaltgerät und prozentuale Verteilung der ELC⁵ Verkäufe in der EU 27, 2004–2006 (EuP 2009b)

Wattage	EU Region	2004	2005	2006	2006 [%]
≤ 7 W	Central & Eastern	345.283	402.129	482.736	0,5
	Middle	1.351.001	1.823.951	2.152.422	2,2
	Northern	114.777	131.455	195.650	0,2
	Southern	341.878	371.730	547.833	0,6
	EU Total	2.152.938	2.729.264	3.378.641	3,5

⁵ ELC (European Lamp Companies Federation) ist der europäische Lampenherstellerverband.

Wattage	EU Region	2004	2005	2006	2006 [%]
8–10 W	Central & Eastern	1.197.376	1.221.123	1.379.275	1,4
	Middle	6.128.107	8.790.830	10.370.058	10,6
	Northern	505.317	508.097	615.116	0,6
	Southern	2.363.315	2.750.290	3.314.585	3,4
	EU Total	10.194.114	13.270.340	15.679.034	16,1
11–14 W	Central & Eastern	2.428.500	2.426.132	2.638.215	2,7
	Middle	12.176.283	21.576.425	22.270.544	22,9
	Northern	944.198	1.017.624	1.588.646	1,6
	Southern	4.592.422	5.759.366	6.378.072	6,5
	EU Total	20.141.404	30.779.546	32.875.477	33,7
15 W	Central & Eastern	797.590	892.987	1.071.267	1,1
	Middle	6.818.021	6.875.306	5.446.916	5,6
	Northern	459.673	532.971	640.151	0,7
	Southern	3.612.455	4.563.609	6.922.551	7,1
	EU Total	11.687.740	12.864.872	14.080.885	14,5
> 15 W	Central & Eastern	3.282.179	3.440.097	3.899.581	4,0
	Middle	16.705.927	19.263.858	12.432.857	12,8
	Northern	365.726	363.359	396.482	0,4
	Southern	8.543.207	9.881.989	14.669.156	15,1
	EU Total	28.897.039	32.949.303	31.398.077	32,2
CFLi Total		73.073.235	92.593.327	97.412.114	–

Tabelle 3 zeigt, dass ein Drittel der verkauften Kompaktleuchtstofflampen 11–14 W hat und deren Verkaufszahlen 2005 insbesondere in Mitteleuropa angestiegen sind. Ein weiteres Drittel der verkauften Kompaktleuchtstofflampen hat > 15 W; bei diesen konnte 2006 insbesondere Südeuropa ein Wachstum verzeichnet werden.

Insgesamt werden für die EU27 im Jahr 2006 Verkaufszahlen von fast 100 Mio. Lampen vom europäischen Lampenherstellerverband (ELC) angegeben, was etwas unterhalb der in Tabelle 2 angegebenen 150 Mio. in 2007 liegt. Zu beachten ist, dass der ELC nicht alle Lampenhersteller abbildet.

Die oben genannten Zahlen stehen im Widerspruch zu den Zahlen in Tabelle 4: Dort wird für die EU27 für das Jahr 2007 von 493 Mio. verkauften Kompaktleuchtstofflampen ausgegangen. Allerdings handelt es sich hier um statistische Angaben zu um Export und Import bereinigte Produktionszahlen. Zu sehen ist jedoch auch hier, dass zwischen 2005 und 2006 die Verkaufszahlen relativ stark angestiegen sind.

Tabelle 4 Verkaufszahlen Kompaktleuchtstofflampen EU27 (Mio./Jahr) für alle Sektoren 2003–2007

	2003	2004	2005	2006	2007
Eurostat	145	177	241	426	493 (628 ⁶)
Kompaktleuchtstofflampen ohne integriertes Vorschaltgerät ⁷	51	56	88	110	140
Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem Vorschaltgerät ⁸	94	121	153	316	353

Aus Tabelle 5 und Tabelle 6 ist ersichtlich, dass 2007 Glühlampen in Haushalten im Vergleich zu Kompaktleuchtstofflampen noch sehr viel häufiger im Einsatz waren, wobei sich letztere je nach Quelle zwischen etwa 3 und 6 Lampen je Haushalt bewegen. Immerhin sind in Deutschland bereits 70% aller Haushalte überhaupt mit Kompaktleuchtstofflampen ausgestattet.

Tabelle 5 Ausstattung privater Haushalte (HH) mit Lampen in Deutschland in 2007 (Auszug) (EuP 2009b)

Anzahl Haushalte [Mio.]	Glühlampen [Anzahl/HH]	Kompaktleuchtstofflampen [Anzahl/HH]	Lampen gesamt [Anzahl/HH]
39,1	12,5	3,1	25,3

Tabelle 6 Ausstattung privater Haushalte (HH) mit Lampen in Deutschland in 2007 (Auszug) (EuP 2009b)

Lichtpunkte [Anzahl/HH]	Anzahl Haushalte mit Kompaktleuchtstofflampen [%]	Kompaktleuchtstofflampen je Haushalt inkl. Haushalte ohne Kompaktleuchtstofflampen
32	70	6,5

⁶ Nach aktuelleren Angaben von Eurostat zur Produktion von Kompaktleuchtstofflampen für 2007 sah es zum Zeitpunkt der Redaktion der Tabelle so aus, als läge der sichtbare Verbrauch bei 628 Mio.

⁷ Die Zahlen für 2003–2004 kommen aus (EuP 2007). 2007 betragen die ELC-Verkaufszahlen 99 Mio. plus geschätzte 41 Mio. Verkäufe von anderen Herstellern. Die Zahlen zu 2005 und 2006 ergeben sich aus einer Interpolation.

⁸ Ergibt sich als Differenz aus Verkaufszahlen von Eurostat und Verkaufszahlen von Kompaktleuchtstofflampen ohne integriertes Vorschaltgerät.

3.1 Markttrends

3.1.1 Kompaktleuchtstofflampen

Es ist zu erwarten, dass der Markt für Kompaktleuchtstofflampen in den nächsten Jahren weiter wachsen wird, da Kompaktleuchtstofflampen als energieeffizienter Ersatz für Glühlampen eingesetzt werden sollen. Dies wird durch die mittlerweile vielfältigen Einsatzmöglichkeiten gewährleistet: Eine große Bandbreite an Helligkeiten, Formen, Gewinden, Sockeln, Farben und weiteren Möglichkeiten wie Dimmung sowie die gestiegene Schaltfestigkeit und insgesamt verkürzte Aufwärmzeit (siehe Kapitel 7.4) erlaubt den Einsatz von Kompaktleuchtstofflampen in fast allen Bereichen, wo bisher klassischerweise eine Glühlampe genutzt wurde.

Dass Kompaktleuchtstofflampen ein kaltes Licht abgeben, ist ebenfalls längst überholt. Mittlerweile erhält man Kompaktleuchtstofflampen in warmweiß, extra-warmweiß, neutralweiß und tageslichtweiß. Die Vereinigung der Europäischen Lampenindustrie (ELC) hat erklärt, dass spätestens 2015 die traditionelle Glühlampe vom Markt verschwindet (FVEIT 2009).

Neben einer stufenlosen Dimmung über einen Dimmschalter gibt es auch Technologien, die es ermöglichen, das Licht stufenweise zu regeln. Mit jedem herkömmlichen Lichtschalter kann hier das Licht in 4 Stufen angepasst werden (Megaman 2010).

In Zukunft werden wohl auch quecksilberfreie Kompaktleuchtstofflampen eine Rolle spielen, da die Verwendung von Quecksilber langfristig in diesen Produkten ganz verboten werden soll. Für den Automobilbereich gibt es bereits quecksilberfreie Entladungslampen zum Einsatz bei Frontscheinwerfern (Pictures of the Future 1/2009).

3.1.2 LED-Lampen

LED-Lampen verfügen über ein enormes Innovations- und Wachstumspotenzial und erobern immer mehr Anwendungsbereiche (ZVEI 2007–2009). Es ist also auch hier zu erwarten, dass der Markt in den nächsten Jahren stark wachsen wird – insbesondere, wenn LED-Lampen für den Hausgebrauch preiswerter werden und ihre Qualität nachweisbar wird. Momentan fehlt es an standardisierten Messverfahren und einheitlicher Kennzeichnung. Mit der Verabschiedung gesetzlicher Mindestanforderungen in den nächsten zwei Jahren (siehe Kapitel 5) sollte dieses Problem jedoch gelöst sein. LED-Lampen sind mittlerweile in denselben Formen erhältlich wie gewöhnliche Glühlampen, was den Austausch stark vereinfacht und ebenfalls zu einem höheren Absatz führen sollte. Verbesserungspotenzial sehen Experten bei der Energieeffizienz sowie bei den Produktionskosten (Innovationsreport 07/2009).

Ein entscheidender Vorteil der LED-Lampen im Vergleich zu Kompaktleuchtstofflampen ist ihre sehr kleine Bauform und ihre große Kompaktheit. In puncto Stromverbrauch sind sie ähnlich effizient wie Kompaktleuchtstofflampen, haben aber andere Vorteile: Ihr Licht hat

eine höhere Farbsättigung, d.h. dass farbiges Licht z.B. wesentlich brillanter wirkt. Daneben sind sie bruchstark und funktionieren auch bei Temperaturen unter 0°C, zum Beispiel als Terrassenbeleuchtung. Sie eignen sich außerdem besonders für den Einsatz in Bewegungsmeldern, da sie von der ersten Sekunde an die volle Lichtstärke liefern (FVEIT 2009).

LED-Lampen bieten darüber hinaus im Unterschied zu anderen Technologien vielfältige Designmöglichkeiten für Lichteffekte, da sie in weiß, warmweiß, rot, grün, blau, gelb sowie mit wechselnden Farben erhältlich sind. Hinzukommt, dass die Strahlung UV- und IR-frei ist und daher Bilder nicht ausgebleichen und Pflanzen durch Strahlung nicht zerstört werden (Osram 09/2009).

Darüber hinaus gibt es Bestrebungen, die bisherige Begrenzung des gebündelten Lichts aufzuheben und LED-Lampen zu entwickeln, die eine 360°-Ausleuchtung erreichen. So gab ein Hersteller bekannt, dass es gelungen sei, eine birnenförmige LED-Lampe mit Flüssigkühlung zu entwickeln, die ohne Ventilatoren oder Kühlkörper auskommt. Nach Meinung von Experten sind solche so genannten Retrofit-Lösungen (d.h. Technologien, die eins zu eins Glühlampen ersetzen können) jedoch nur für die nächsten 5–10 Jahre marktrelevant, da neue Beleuchtungslösungen in Zukunft eher direkt auf LED-Lampen ausgerichtet sein werden, die mit weniger aufwändigen klassischen Kühlkörpern ausgestattet sind (Innovations-Report 07/2009).

3.2 Technologietrends

Der stark dynamische Lampenmarkt ist derzeit noch deutlich geprägt von der Weiterentwicklung der Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen. Darüber hinaus wird aber auch die Forschung und Entwicklung von so genannten organischen Leuchtdioden (OLED) gefördert, da diese in Ergänzung zu LED-Lampen langfristig als Ersatz für Kompaktleuchtstofflampen fungieren sollen.

Kern der OLEDs ist eine hauchdünne Schicht farbiger Polymere (deshalb „organisch“), die zum Leuchten angeregt werden können (ChannelPartner 07/2006).

Bisher kamen OLEDs ausschließlich als Mini-Bildschirme in Mobiltelefonen, MP3-Spielern oder Autos zum Einsatz. Der Firma Novaled – eine Ausgründung der Technischen Universität Dresden – ist es 2009 erstmals gelungen, eine OLED-Lichtquelle zu entwickeln, die eine höhere Effizienz erreicht, als Leuchtstoffröhren: bei einer Helligkeit von 1.000 cd/m² eine Lichtausbeute von bis zu 124 lm/W. Bei der Lebensdauer allerdings können die OLEDs noch nicht mit den Kompaktleuchtstofflampen und deshalb bei weitem nicht mit LED-Lampen mithalten. Normale LED-Lampen sind derzeit noch effizienter und für gerichtete Lichtanwendungen besser (Wirtschaftswoche 12/2008; ChannelPartner 06/2009).

Vorteile der OLEDs sind ihr Einsatz als blendfreie Flächenlichtquellen, die Möglichkeit, transparent gefertigt werden zu können, sowie der Verzicht auf Lampenschirme, die die Lichtausbeute senken (ChannelPartner 06/2009). Experten erwarten, dass ab dem Jahr

2014 zunehmend auch private Wohnzimmer und Büros mit OLED-Lampen eingerichtet werden (Wirtschaftswoche 12/2008).

3.3 Preise

Die Preisspanne zwischen herkömmlichen Glühlampen und neueren Lampentechnologien wie Kompaktleuchtstoff- und LED-Lampen ist sehr groß. Während herkömmliche Glühlampen meist weniger als 1 EUR kosten, sind es bei Kompaktleuchtstofflampen häufig mehr als 10 EUR und bei LED-Lampen sogar rund 30 EUR (siehe Tabelle 32). Damit sind LED-Lampen zurzeit in der Anschaffung die teuerste Variante und haben dadurch auch eine längere Amortisationszeit.

Wie in Kapitel 10.2 beschrieben, ist die Amortisationszeit einer Kompaktleuchtstofflampe deutlich geringer, da die jährlichen Gesamtkosten erheblich niedriger liegen, als bei einer vergleichbaren Glühlampe.

4 Energieeffizienz

Wesentlicher ökologischer Aspekt bei Lampen ist ihr Stromverbrauch während der Nutzung. Daher fokussieren umweltpolitische Maßnahmen oft auf die Energieeffizienz der Lampen. Diese spiegelt sich in der Lichtausbeute wider, die in Lumen pro Watt angegeben wird, d.h. je mehr Licht pro verbrauchte Menge Strom erzeugt wird, desto höher ist die Effizienz.

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Lampentechnologien bezüglich ihrer Effizienz verglichen sowie gesetzliche und freiwillige Umweltmaßnahmen vorgestellt.

4.1 Technologievergleich

Die unterschiedlichen Lampentypen haben auch unterschiedliche Effizienzen (siehe Abbildung 2). Während die herkömmliche Glühlampe eine Effizienz von etwas über 10 lm/W hat, sind es bei Kompaktleuchtstofflampen bereits 60 lm/W (bei einer Bandbreite von ca. 40-70 lm/W). Aus diesem Grund können Kompaktleuchtstofflampen bei deutlich geringerer Leistungsaufnahme eine vergleichbare Helligkeit wie Glühlampen erzeugen (siehe auch Tabelle 8).

LED-Lampen haben zurzeit noch eine geringere Effizienz als Kompaktleuchtstofflampen (ca. 40 lm/W); reine LED-Komponenten erreichen jedoch schon 100 lm/W und im Labor sogar 160 lm/W (Osram 09/2009). Die technologische Entwicklung deutet also darauf hin, dass LED-Lampen zukünftig noch effizienter sein werden als Kompaktleuchtstofflampen.

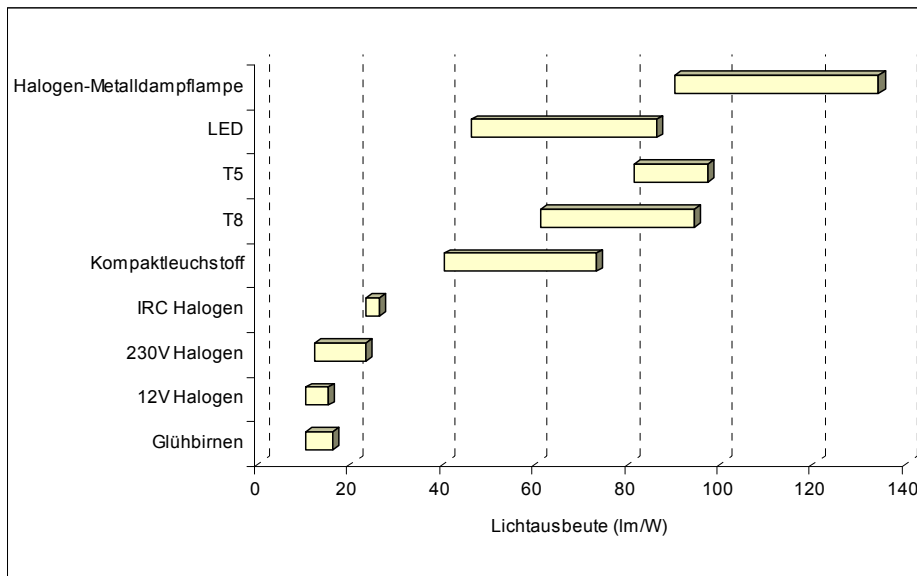


Abbildung 2 Vergleich der Effizienz unterschiedlicher Lampentechnologien (LfU 2010)

In der EU werden Lampen bezüglich ihrer Effizienz mit einer Kennzeichnung versehen, die es Verbrauchern erlaubt, unterschiedliche Lampen miteinander zu vergleichen (siehe auch Kapitel 4.3). Kompaktleuchtstofflampen erhalten meist die beste Energieeffizienzklasse A, da sie im Vergleich zu weniger effizienten Glühlampen 80% Energie sparen.

Manche Kompaktleuchtstofflampen werden aus ästhetischen Gründen mit einem zweiten Glaskolben umhüllt, um eine andere Lampenform zu erzielen, zum Beispiel eine Großkolben- oder Kerzenform. Da der zweite Glaskolben etwas Licht absorbiert, ist der Stromverbrauch bei diesen Lampen geringfügig höher, was in der Regel der Energieeffizienzklasse B entspricht. Im Vergleich zu herkömmlichen Glühlampen mit den Energieeffizienzklassen D bis G ist ihr Stromverbrauch jedoch immer noch deutlich niedriger.

Auch bezüglich der Lebensdauer schneiden Kompaktleuchtstofflampen sehr viel besser ab als Glühlampen. Während Kompaktleuchtstofflampen in Tests bis zu 15.000 h brennen (siehe Kapitel 7.6) hat eine herkömmliche Glühlampe eine durchschnittliche Lebensdauer von gerade einmal 1.000 h (siehe Tabelle 7).

LED-Lampen sind zurzeit nicht durch die EU-Energieeffizienzkennzeichnung abgedeckt. Hersteller geben jedoch sehr hohe Lebensdauern von bis zu 30.000 h an.

Tabelle 7 Vergleich Lampentypen

Lampentyp	Lebensdauer	Lichtausbeute	Anschaffungskosten/Lampe
Glühlampe	1.000 h	12 lm/W	0,50 EUR
Kompaktleuchtstofflampe	15.000 h	60 lm/W	10,-- EUR
LED-Lampen	30.000 h	40 lm/W	30,-- EUR

Wenn es um den Ersatz von konventionellen Glühlampen durch effizientere Kompaktleuchtstofflampen oder LED-Lampen geht, werden oft Äquivalenzen in Watt angegeben. Da die Leistungsaufnahme in Watt jedoch von vielen technischen Merkmalen der Lampen abhängt, sollte ein Vergleich stets auf der abgegebenen Menge des Lichtstroms beruhen. Nur Lampen, die auch den gleichen Lichtstrom abgeben, sind als gleichwertiger Ersatz anzusehen (siehe Tabelle 8). Um beurteilen zu können, welche Lampe effizienter ist, kann entweder das Energieeffizienzkennzeichen oder die (ggf. auszurechnende) Angabe lm/W herangezogen werden.

Tabelle 8 Vergleich Leistungsaufnahme Glühlampe – Kompaktleuchtstofflampen (EcoTopTen 2004)

Leistungsaufnahme Glühlampe [W]	Lichtstrom Glühlampe [lm]	Typische Leistungsaufnahme einer ähnlich hellen Kompaktleuchtstofflampe [W]
15	90	3–5
40	400	7–9
60	700	11–13
75	900	15–18
100	1.400	20

4.1.1 Ökobilanzielle Ergebnisse

Der Lampenhersteller Osram hat in einer internen Ökobilanz herausgefunden, dass LED-Lampen über den gesamten Lebensweg vergleichbare Umweltauswirkungen haben wie Kompaktleuchtstofflampen und damit den Glühlampen weit überlegen sind (siehe Abbildung 3). Demzufolge verbrauchen die neuesten LED-Lampen lediglich 2% der insgesamt aufgewendeten Energie bei der Produktion, die restlichen 98% werden für die Lichtgewinnung verbraucht. Ähnliche Ergebnisse gibt es für Kompaktleuchtstofflampen, es konnte also kein Beleg dafür gefunden werden, dass die Herstellung der LED-Lampen energieintensiver ist als die von Kompaktleuchtstofflampen (Innovations-Report 08/2009). Allerdings sollte bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden, dass LED-Lampen und Kompaktleuchtstofflampen nicht notwendigerweise für die gleichen Beleuchtungszwecke eingesetzt werden. Neben der reinen Beurteilung der Umweltauswirkungen der beiden Technologien sollten also auch die lichttechnischen Eigenschaften berücksichtigt werden.

Als übergeordnetes Ergebnis gab es schon 2007 die Erkenntnis, dass die Ökobilanz verschiedener Lampen fast ausschließlich von Effizienz und Lebensdauer abhängt. Aus diesem Grund sind Maßnahmen, die zu einer höheren Lichtausbeute führen, zu bevorzugen. Dies ist auch der Grund, weshalb zurzeit bei Kompaktleuchtstofflampen noch nicht vollständig auf Quecksilber verzichtet werden kann, denn ohne Quecksilber wäre die Lichtausbeute um zwei Drittel geringer (Pictures of the Future 1/2009).

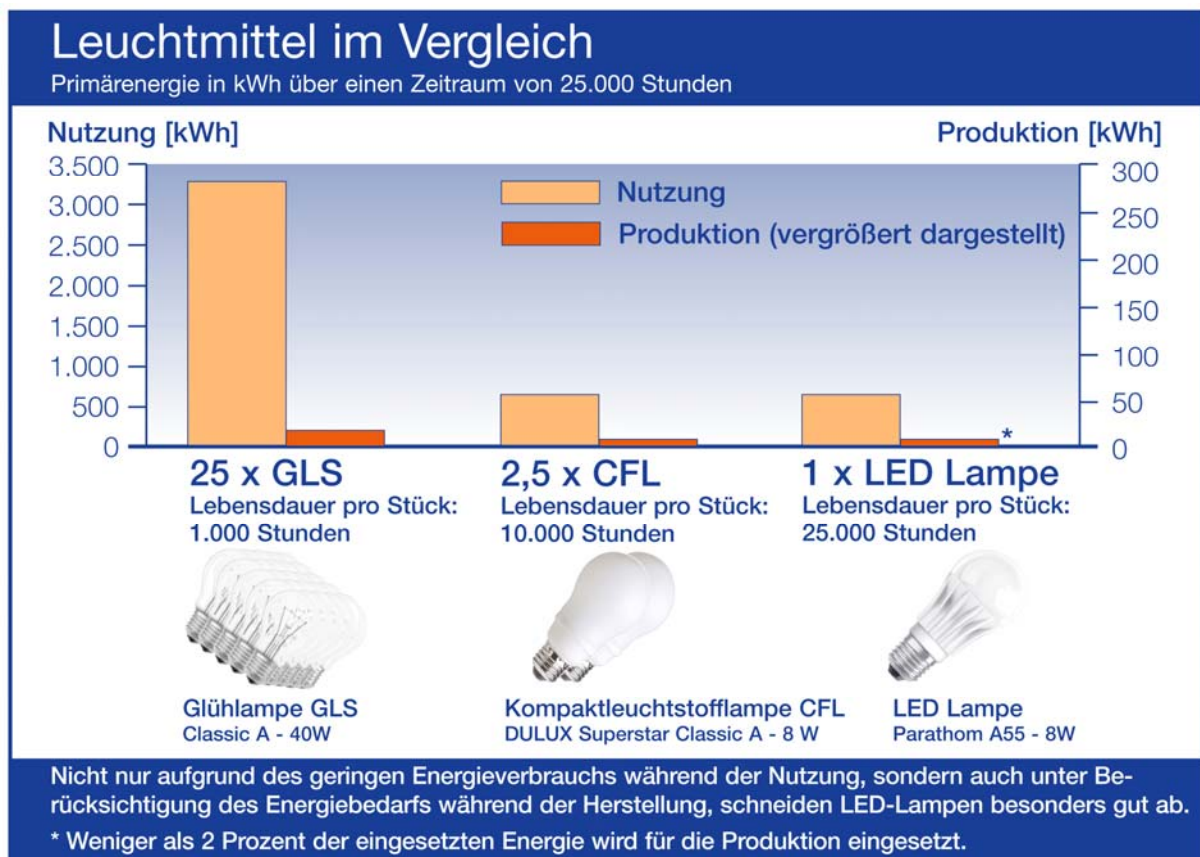


Abbildung 3 Vergleich des Energiebedarfs unterschiedlicher Leuchtmittel (Osram 08/2009)

Die von Osram vorgestellten Ergebnisse beruhen auf der Annahme, dass LED-Lampen eine Lebensdauer von 25.000 h haben. Bei einer angenommenen täglichen Nutzung von ca. 3 h, entspricht das einer Lebensdauer von fast 23 Jahren. Noch ist jedoch nicht überprüft, ob diese Nutzungsannahme realistisch ist und ob die Lampen tatsächlich in der Lage sind, technisch so lange zu halten. LED-Lampen gehen nicht im eigentlichen Sinn kaputt, der abgegebene Lichtstrom kann jedoch im Laufe der Zeit stark abnehmen. Es gilt deshalb zu definieren, ab welchem Zeitpunkt eine LED-Lampe das Ende ihrer Nutzungslebensdauer erreicht hat (siehe Kapitel 6.3).

4.2 Quecksilber

Kompaktleuchtstofflampen enthalten im Gegensatz zu herkömmlichen Glühlampen eine geringe Menge an Quecksilber. Bei haushaltsüblichen Lampen geht man von etwa 2 mg pro Lampe aus. Allerdings gibt es zum Quecksilbergehalt von Kompaktleuchtstofflampen keine genauen Angaben, da die Hersteller diese Informationen bislang zurückhalten. Nur Philips veröffentlicht in einem Teil seiner Produktdatenblätter Angaben zum Quecksilbergehalt (Philips 2009b).

Der Gehalt an Quecksilber in Kompaktleuchtstofflampen ist zudem über die RoHS-Richtlinie geregelt: Zurzeit sind gesetzlich noch 5 mg pro Kompaktleuchtstofflampe erlaubt. Die in Bearbeitung befindliche Anpassung dieser Regelung wird den Quecksilbergehalt jedoch voraussichtlich ab Mitte / Ende 2010 auf 2 mg begrenzen (siehe Kapitel 5.3).

Quecksilber kann in unterschiedlichen Formen in Kompaktleuchtstofflampen vorliegen: als Amalgam oder in Form von Kapseln und Pillen mit präziserer Dosierung im Gegensatz zur Dosierung in flüssiger Form. Der Lampenhersteller Megaman nutzt hauptsächlich die Amalgamdosierung und postuliert, dass dadurch das Recycling erleichtert wird und dass das Quecksilber beim Lampenbruch nicht austritt, da es bei Raumtemperatur in einer Metalllegierung gebunden ist.

In der folgenden Tabelle sind diese drei Dosierungsformen kurz hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile abgebildet.

Tabelle 9 Vor- und Nachteile unterschiedlicher Quecksilberdosierungstechniken (Megaman 2009b)

	Flüssiges Quecksilber	Amalgam	Quecksilber Kapsel / Pille
Vorteile	Schnelles Zünden; kurze Anlaufzeit bis zur vollen Helligkeit	Hohe Temperaturstabilität; genaue Dosierung; sehr geringe Emission bei Lampenbruch	Genaue Dosierung; sehr geringe Emission bei Lampenbruch
Nachteile	Geringe Temperaturstabilität; ungenaue Dosierung; Emission bei Lampenbruch	Langsames Zünden; lange Anlaufzeit bis zur vollen Helligkeit	Geringe Temperaturstabilität, langsames Zünden; lange Anlaufzeit bis zur vollen Helligkeit

Von den Herstellern gibt es unterschiedliche Aussagen darüber, welche Parameter den notwendigen Quecksilbergehalt bestimmen und welche Zusammenhänge es zu Leistungsaufnahme, Lebensdauer und Effizienz einer Kompaktleuchtstofflampe gibt. Eine technisch genaue Ableitung des maximal notwendigen Quecksilbergehaltes ist daher nicht möglich, zumal nicht genügend für den Markt repräsentative Daten zum Quecksilbergehalt von Kompaktleuchtstofflampen vorliegen.

Fakt ist jedoch, dass Quecksilber in Kompaktleuchtstofflampen zurzeit noch nicht substituiert werden kann. Bei der Stromerzeugung im Kraftwerk wird andererseits auch Quecksilber freigesetzt. Da Glühlampen 5-mal mehr Strom als vergleichbar helle Kompaktleuchtstofflampen verbrauchen, sind die Quecksilberemissionen bei Glühlampen höher.

Eine Beispielrechnung: Eine 60-Watt-Glühlampe ist vergleichbar mit einer 11-Watt-Kompaktleuchtstofflampe. Brennen beide Lampen während eines Jahres jeweils 3 h am Tag, dann verbraucht die Glühlampe 66 kWh Strom, die Kompaktleuchtstofflampe dagegen nur 12 kWh im Jahr. Dies entspricht einer jährlichen Quecksilberemission von 0,53 mg bei der Glühlampe und 0,10 mg bei der Kompaktleuchtstofflampe.⁹

Hinzu kommt der Quecksilbergehalt der Kompaktleuchtstofflampen selbst. Bei einem Quecksilbergehalt von beispielsweise 3 mg pro Lampe und einer Lebensdauer von 15.000 h sind dies 0,22 mg jährlich. Damit schneidet die Kompaktleuchtstofflampe mit insgesamt nur 0,4 mg gegenüber der Glühlampe mit 0,97 mg Quecksilber erheblich besser ab.

Da LED-Lampen jedoch auch effizienter sind als Glühlampen und dennoch kein Quecksilber enthalten, haben sie in Zukunft das Potenzial, die Kompaktleuchtstofflampen vom Markt zu verdrängen.

Geht eine Kompaktleuchtstofflampe zu Bruch, so kann das in ihr enthaltene Quecksilber freigesetzt werden. Im Gegensatz zu Quecksilber-Thermometern ist die Menge bei Kompaktleuchtstofflampen aber nur sehr gering und es bestehen keine großen gesundheitlichen Risiken. Dennoch sollte im Fall des Falles die Zimmertür geschlossen und über weit geöffnete Fenster ausgiebig gelüftet werden. Die Reste der Kompaktleuchtstofflampen sollten aufgelegt und in einem Schraubdeckelglas in die Schadstoffsammlung gegeben werden.

Da auch ausgediente Kompaktleuchtstofflampen nicht in den Hausmüll gehören, sondern laut ElektroG¹⁰ als Elektro-Altgeräte gelten und daher fachgerecht entsorgt werden müssen, haben Hersteller ein Rücknahmesystem gegründet („Lightcycle“), das Teil der Initiative „Sauberes Licht, sauber recycelt“ ist.¹¹ Bei einer von der Initiative „Sauberes Licht, sauber recycelt“ in Auftrag gegebenen und vom Institut für Zielgruppenkommunikation (IfZ) durchgeführten Umfrage stellte sich jedoch leider heraus, dass fast zwei Drittel der Befragten Verbraucher nicht weiß, dass Kompaktleuchtstofflampen über Wertstoff- und Recyclinghöfe entsorgt werden müssen (Lightcycle 2009). Deshalb ist auch anzunehmen, dass nur ein Teil der entsorgten Lampen tatsächlich fachgerecht recycelt wird. Tatsächlich werden laut Lightcycle nur ca. 10% der anfallenden Alt-Lampen aus Privathaushalten und Kleingewerbe fachgerecht entsorgt (Lightcycle 2007).

4.3 Energieeffizienzkennzeichnung

Lampen werden in so genannte Energieeffizienzklassen eingeteilt, die von A bis G reichen. Dieses Vorgehen und das entsprechende Etikett gibt es auch bei Haushaltsgeräten, zum

⁹ Berechnungsgrundlage ist der Schätzwert aus Gemis 4.6, nach der in 2010 die Quecksilberemissionen in Deutschland bei $8,0 \cdot 10^{-6}$ g / kWh_{el} liegen.

¹⁰ Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung Von Elektro- und Elektronikaltgeräten.

¹¹ www.lichtzeichen.de

Beispiel bei Kühlschränken und Waschmaschinen. Lampen mit der höchsten Energieeffizienz, also dem niedrigsten Stromverbrauch, erhalten die Kennzeichnung A, diejenigen mit der geringsten Energieeffizienz die Kennzeichnung G. Daraus ergibt sich folgende Aufteilung:

- Kompaktleuchtstofflampen und lineare Leuchtstofflampen: Klasse A und B
- Halogenglühlampen: Klasse B, C und D
- Herkömmliche Glühlampen: Klasse D, E, F und G

Grundlage für diese Kennzeichnung ist eine EG-Richtlinie¹², die Energieeffizienzklassen in Abhängigkeit des Lichtstroms festlegt. Das heißt, dass für einen bestimmten Lichtstrom pro Klasse eine Höchstgrenze an Leistungsaufnahme festgelegt wird. Die Kennzeichnung der Lampen mit dem Etikett ist gesetzlich vorgeschrieben.

Die Richtlinie gilt allerdings nur für Haushaltslampen mit einer Leistung von mehr als 4 W Watt und einem Lichtstrom von höchstens 6.500 lm. Außerdem sind Reflektorlampen ausgenommen. Daher gilt diese Richtlinie nicht für LED-Lampen.

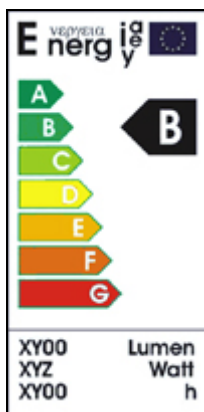


Abbildung 4 Schematische Darstellung Energieeffizienzkennzeichen Lampen
(Quelle: www.energiesparende-beleuchtung.de)

Abbildung 4 zeigt schematisch das europäische Energieeffizienzkennzeichen für Lampen. Dort ersichtlich sind neben der Angabe der Klasse auch Angaben zur Helligkeit in Lumen, zur Leistungsaufnahme in Watt und zur Lebensdauer in Stunden.

¹² Richtlinie 98/11/EG der Kommission vom 27. Januar 1998 zur Durchführung der Richtlinie 92/75/EWG des Rates betreffend die Energieetikettierung für Haushaltslampen.

5 Gesetzliche Mindestanforderungen

In der EU gibt es ein umweltpolitisches Maßnahmenpaket, das gesetzliche Mindestanforderungen an energiebetriebene Produkte stellt (EuP – „energy using products“). Die Grundlage bildet die EG-Richtlinie 2005/32¹³, die für unterschiedliche Produktgruppen durch so genannte Durchführungsmaßnahmen ergänzt wird.

Im Bereich der Beleuchtung sind die Vorarbeiten in weitere Untergruppen aufgeteilt worden. So wurden bereits die Arbeiten zu ungerichteter Haushaltsbeleuchtung abgeschlossen, während die Arbeiten zu gerichteter Haushaltsbeleuchtung noch laufen.

5.1 Ungerichtete Haushaltsbeleuchtung

Für ungerichtete Haushaltsbeleuchtung gibt es bereits eine Durchführungsmaßnahme (EG-Verordnung 244/2009¹⁴), die im wesentlichen Anforderungen an Energieeffizienz, Betriebseigenschaften und Verbraucherinformationen stellt. Diese Anforderungen richten sich an Kompaktleuchtstofflampen sowie an alle anderen in Haushalten verwendeten Lampen mit ungebündeltem Licht. Theoretisch können dies auch LED-Lampen sein, obwohl nicht gebündelte LED-Lampen in diesem Bereich sehr selten sind.

Abbildung 5 stellt grafisch die Anforderungen an die Energieeffizienz von Lampen nach der oben genannten Durchführungsmaßnahme dar. Demnach dürfen seit dem 1. September 2009 keine matten Lampen auf den EU-Markt gebracht werden, die nicht die Energieeffizienzklasse A haben. Für alle klaren Lampen ist ein stufenweiser Ausstieg vorgesehen.

Ab dem 1. September 2016 dürfen dann gar keine klaren Glühlampen mehr auf den Markt gebracht werden, da sie nicht die Effizienzklasse B erreichen.

¹³ Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie der Richtlinien 96/57/EG und 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates.

¹⁴ Verordnung (EG) Nr. 244/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht.

jeweils ab September		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Standardlampe klar	25W	E	E	E	C	C	C	C	B
	40W	E	E	E	C	C	C	C	B
	60W	E	E	C	C	C	C	C	B
	75W	E	C	C	C	C	C	C	B
	100W	C	C	C	C	C	C	C	B
Standardlampe	matt	A	A	A	A	A	A	A	A
Niedervolt- Halogenlampen klar G4 GY6,35	5W	E	E	E	C	C	C	C	B
	10W	E	E	E	C	C	C	C	B
	20W	E	E	E	C	C	C	C	B
	35W	E	E	C	C	C	C	C	B
	50W	E	C	C	C	C	C	C	B
	100W	C	C	C	C	C	C	C	B
Hochvolt- Halogenlampen klar G9 R7S	25W	E	E	E	C	C	C	C	C
	40W	E	E	C	C	C	C	C	C
	60W	E	C	C	C	C	C	C	C
	75W	C	C	C	C	C	C	C	C
	100W	C	C	C	C	C	C	C	C
	150W	C	C	C	C	C	C	C	C
	200W	C	C	C	C	C	C	C	C
	300W	C	C	C	C	C	C	C	C
	500W	C	C	C	C	C	C	C	C
	+750W	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Matte Halogenlampen Hoch- und Niedervolt		A	A	A	A	A	A	A	A
Reflektorlampen Hoch- und Niedervolt 80% Licht im 120° Winkel		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Energiesparlampen matt		A	A	A	A	A	A	A	A

NA= Nicht anwendbar

Stand 17.03.2009

Abbildung 5 Mindestanforderungen an die Energieeffizienzklasse von Haushaltsbeleuchtung nach 244/2009/EC (Philips 2009a)

Über die reine Energieeffizienz hinaus müssen Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht auch Anforderungen an die Betriebseigenschaften erfüllen. Diese sind jeweils für Kompaktleuchtstofflampen und andere Lampen in den folgenden Tabellen aufgeführt.

Tabelle 10 Anforderungen an die Betriebseigenschaften von Kompaktleuchtstofflampen nach 244/2009/EG

Eigenschaft	Stufe 1	Stufe 5
Lampenlebensdauerfaktor bei 6.000 h	≥ 0,50	≥ 0,70
Lampenlichtstromerhalt	Bei 2.000 h: ≥ 85% (≥ 80% für Lampen mit zweiter Hülle)	Bei 2.000 h: ≥ 88% (≥ 83% für Lampen mit zweiter Hülle) Bei 6.000 h: ≥ 70%
Zahl der Schaltzyklen bis zum Ausfall	≥ halbe Lampenlebensdauer in Stunden ≥ 10.000, wenn Zündzeit > 0,3 s	≥ Lampenlebensdauer in Stunden ≥ 30.000, wenn 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% Φ	< 60 s oder < 120 s für Lampen, die Quecksilberamalgame enthalten	< 40 s oder < 100 s für Lampen, die Quecksilberamalgame enthalten
Ausfallrate (vorzeitig)	≤ 2,0% nach 200 h	≤ 2,0% nach 400 h
UVA- + UVB-Strahlung	≤ 2,0 mW/klm	≤ 2,0 mW/klm
UVC-Strahlung	≤ 0,01 mW/klm	≤ 0,01 mW/klm
Elektrischer Leistungsfaktor der Lampe	≥ 0,50 wenn P < 25 W ≥ 0,90 wenn P ≥ 25 W	≥ 0,55 wenn P < 25 W ≥ 0,90 wenn P ≥ 25 W
Farbwiedergabe (Ra)	≥ 80	≥ 80

Tabelle 11 Anforderungen an die Betriebseigenschaften von anderen Lampen als Kompaktleuchtstofflampen sowie an LED-Lampen nach 244/2009/EG

Eigenschaft	Stufe 1	Stufe 5
Bemessungslebensdauer	≥ 1.000 h	≥ 2.000 h
Lampenlichtstromerhalt	≥ 85% bei 75% der angegebenen mittleren Lebensdauer	≥ 85% bei 75% der angegebenen mittleren Lebensdauer
Zahl der Schaltzyklen	≥ 4 x Bemessungslebensdauer in Stunden	≥ 4 x Bemessungslebensdauer in Stunden
Zündzeit	< 0,2 s	< 0,2 s
Anlaufzeit bis zur Erreichung von 60% Φ	≤ 1,0 s	≤ 1,0 s
Ausfallrate (vorzeitig)	≤ 5,0% nach 100 h	≤ 5,0% nach 200 h
Elektrischer Leistungsfaktor der Lampe	≥ 0,95	≥ 0,95

Die gesetzlichen Mindestanforderungen sehen weiterhin vor, dass ab dem 1. September 2010 auch bestimmte Informationen für die Verbraucher sowohl auf der Verpackung als auch im Internet bereitgestellt werden. Die folgende Tabelle listet die Anforderungen im Überblick auf.

Tabelle 12 Anforderungen an die Produktinformationen zu Lampen nach 244/2009/EC

Anforderung	Verpackung	Internet
Leistungsaufnahme + Lichtstrom	X	X
Lebensdauer	X	X
Elektrischer Leistungsfaktor		X
Lampenlichtstromerhalt		X
Zündzeit		X
Farbwiedergabe		X
Schaltzyklen	X	X
Farbtemperatur	X	X
Anlaufzeit	X	X
Dimmbarkeit	X	X
Hinweis optimale Betriebstemperatur	X	X
Abmessungen	X	X
Leistungsaufnahme vergleichbare Glühlampe nach Tabelle 13	X	X
Quecksilbergehalt	X	X
Internetseite mit Entsorgungshinweisen	X	X

Tabelle 13 Äquivalenzen Glühlampen mit Kompaktleuchtstofflampen, Halogen- und LED-Lampen nach 244/2009/EC

Bemessungslichtstrom Φ [lm]			Angegebene Leistungsaufnahme einer äquivalenten herkömmlichen Glühlampe [W]
Kompaktleuchtstofflampen	Halogenglühlampen	LED- und sonstige Lampen	
125	119	136	15
229	217	249	25
432	410	470	40
741	702	806	60
970	920	1.055	75
1.398	1.326	1.521	100
2.253	2.137	2.452	150
3.172	3.009	3.452	200

5.2 Gerichtete Haushaltsbeleuchtung

Für den Bereich der gerichteten Haushaltsbeleuchtung finden die Vorarbeiten im Rahmen der so genannten vorbereitenden Studie noch statt (siehe auch www.eup4light.net/). Im August 2009 ist der vorläufige Bericht zu Teil 8, „Szenarien-, Politik-, Auswirkungs- und Sensitivitätsanalyse“, erschienen, der als Orientierung für den zukünftigen Inhalt der Durchführungsmaßnahme genutzt werden kann.

Die Studie identifiziert speziell 10 Anforderungen an LED-Lampen, die aus Verbrauchersicht besonders relevant sind:

1. Beste Lichtleistung für Leuchte oder LED-Lampe (und nicht LED-Komponente allein)
2. Anforderungen an eine Mindestlichtausbeute in Lumen/Watt
3. Lebensdauer in Stunden für Leuchte oder LED-Lampe (und nicht LED-Komponente allein)
4. Lampeneffizienz in Abhängigkeit von der Zeit (hierzu müssen noch Ansätze entwickelt werden um repräsentative Kurzzeitmessungen durchzuführen)
5. Anlaufzeit
6. Farbtemperatur und Farbwiedergabe
7. Blendung
8. Dimmbarkeit und Tageslicht- bzw. Bewegungssensor
9. Anforderungen an Stroboskopeffekt und Flackern
10. Mindestgarantie in Jahren

Da im Bereich der LED-Lampen noch sehr große Qualitätsunterschiede bestehen, weist die Vorstudie darauf hin, dass die von ihr identifizierten Qualitätsmerkmale von LED-Lampen teilweise als gesetzliche Mindestanforderungen umzusetzen sind und teilweise in Form eines europäischen Qualitätszeichens festgelegt werden sollten.

Ähnlich wie bei den ungerichteten Lichtquellen werden in der Vorstudie daher Anforderungen an die Energieeffizienz, Betriebseigenschaften und Verbraucherinformationen gestellt. Ein Unterschied besteht jedoch darin, dass bestimmte Anforderungen an festgelegte Werte bezüglich Lichtstromerhalt und Lampenlebensdauerfaktor gekoppelt sind. In folgender Tabelle ist z.B. die Angabe einer Mindestlebensdauer für einen Lichtstromerhalt von 70% und einen Lampenlebensdauerfaktor von 50% angegeben.

Tabelle 14 Gestaffelte Anforderungen an Betriebseigenschaften von Ersatz-LED-Lampen (gerichtet + ungerichtet) (EuP 2009a)

Eigenschaft	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Benchmark
Mindestlebensdauer für $L_{70}F_{50}$	≥ 10.000 h	≥ 10.000 h	≥ 10.000 h	≥ 30.000 h
Schaltzyklen (IEC 62612 Ed1)	> 5.000 (30 s an/aus)	> 10.000 (30 s an/aus)	> 20.000 (30 s an/aus)	> 100.000 (30 s an/aus)
Frühzeitige Ausfallrate für $L_{85}F_{05}$	≥ 100 h	≥ 100 h	≥ 200 h	≥ 200 h

Die in Tabelle 14 aufgeführten Anforderungen sollen sowohl für gerichtete als auch für ungerichtete LED-Lampen gelten. Bei Umsetzung dieses Vorschlags müsste daher die bestehende Richtlinie 244/2009/EC angepasst werden.

Über diese Mindestanforderungen hinaus schlägt die Vorstudie besondere Anforderungen an LED-Lampen vor, die als Eins-zu-eins-Ersatz für Halogen- oder Glühlampen deklariert werden.

Tabelle 15 Besondere Anforderungen für LED-Lampen, die als Eins-zu-eins-Ersatz für Halogen- oder Glühlampen deklariert werden (EuP 2009)

Eigenschaft	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Benchmark
Minimum CRI	80	80	80	90
Maximum CCT	3.200	3.200	3.200	2.700–2.900

Bezüglich der Anforderungen an die Energieeffizienz, schlägt die Vorstudie eine ähnliche Vorgehensweise wie bei ungerichteten Lichtquellen vor: Die bestehende Formel, die an die Energieeffizienzklassen der entsprechenden Kennzeichnung angelehnt ist, sollte für gerichtetes Licht um einen Faktor von 1,25 korrigiert werden. Dies wird damit begründet, dass eine Reflektorlampe immer einen Lichtleistungsverlust aufweist; typischerweise liegt dieser bei 0,8 im Vergleich zu einer nicht reflektierenden Lampe.

Da die maximale Leistungsaufnahme eines Reflektors in Abhängigkeit des Lichtstroms festgelegt wird, empfehlen die Autoren weiterhin, dass bei diesen Lampen der Lichtstrom eines 90°-Konus eingesetzt wird. Darüber hinaus wird die Einführung einer Energieeffizienzkennzeichnung empfohlen, da die bestehende Regelung nicht für Reflektorlampen gilt (siehe auch Kapitel 4.3).

Ein weiterer wichtiger Hinweis der Vorstudie sind fehlende Normen und Standards spezifisch für Reflektorlampen. Ebenso sei es dringend geboten, Standards für LED-Lichtquellen zu entwickeln – besonders für solche, die als Ersatz für Glüh- und Halogenlampen deklariert sind (siehe auch Kapitel 7.5).

5.3 Quecksilber in Lampen (RoHS)

Die EU-Richtlinie 2002/95/EG zur beschränkten Verwendung von gefährlichen Stoffen (RoHS) sieht unter anderem vor, dass Lampen kein Quecksilber enthalten. Allerdings gibt es bislang zu dieser Regelung eine Ausnahme, da umweltpolitisch anerkannt und gewünscht ist, dass quecksilberhaltigen effizienten Lampen gegenüber anderen herkömmlichen Lampen Vorrang gegeben werden soll. Die zurzeit gültige Fassung dieser Ausnahme erlaubt die Verwendung von maximal 5 mg Quecksilber pro Kompaktleuchtstofflampe. Die EU-Kommission erarbeitet jedoch gerade einen neuen Entwurf dieser Ausnahme, so dass wahrscheinlich ab 2012 ein neuer Grenzwert von 3,5 mg gelten wird.

6 Umweltzeichen

Im Bereich der freiwilligen Kennzeichnung von Lampen gibt es bereits zwei etablierte Umweltzeichen: das europäische Ecolabel und der in den USA geltende Energy Star. Beide werden in diesem Abschnitt kurz vorgestellt, da es sinnvoll sein könnte, sie als Grundlage für ein deutsches Umweltzeichen zu verwenden.

6.1 Europäisches Ecolabel („Euroblume“)

In ihrer Entscheidung vom 9. September 2002 hat die Europäische Kommission Kriterien zur Vergabe des EU-Umweltzeichens für Lampen festgelegt (2002/747/EG). In den Geltungsbereich fallen sowohl einseitig als auch zweiseitig gesockelte Lampen. Dazu gehören u.a. Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem Vorschaltgerät und lineare Leuchtstofflampen.

Die in der Entscheidung veröffentlichten Kriterien gelten bis zum 30. April 2010 (eine Verlängerung der Gültigkeit wurde in der Kommissionsentscheidung 2008/889/EG festgelegt). Zurzeit findet der Überarbeitungsprozess der Kriterien statt: Aufbauend auf dem ersten Diskussionspapier und der Diskussion in der so genannten Ad-hoc-Working-Group vom 27. Mai 2009 wurde im September 2009 ein zweites Diskussionspapier vorgestellt und zur schriftlichen Kommentierung freigegeben. Darauf folgend wurden die Ergebnisse auf dem so genannten EU Ecolabelling Board diskutiert. Dies hat im Dezember 2009 stattgefunden und die neuen Kriterien beraten. Vorgesehen ist eine Abstimmung im so genannten Regulatory Committee zu den neuen Kriterien im Frühjahr 2010, so dass die Kriterien im Herbst 2010 in Kraft treten können.

Die Produktgruppe „Lampen“ ist dabei Teil eines Harmonisierungsprojektes zwischen den gesetzlichen Mindestanforderungen unter EuP (siehe Kapitel 5) und dem europäischen Umweltzeichen.

Die im zweiten Diskussionspapier vorgeschlagenen Kriterien, die für Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen Anwendung finden, sowie die daraus resultierenden Vorschläge der Umweltverbände sind in Tabelle 16 neben den noch geltenden Kriterien abgebildet.

Tabelle 16 Übersicht Kriterien EU-Ecolabel anwendbar für Kompaktleuchtstoff- und LED-Lampen

Kriterium	2002	2009 (Entwurf)	Forderung Umweltverbände
Geltungsbereich	Einseitig und zweiseitig gesockelte Lampen für die Allgemeinbeleuchtung (d.h. vor allem Kompaktleuchtstofflampen und lineare Leuchtstofflampen)	Lichtquellen für die Allgemeinbeleuchtung (deckt auch LED-Lampen ab); Lichtstrom zwischen 60 und 12.000 lm	Einheitliche Anforderungen für alle Technologien; auch wenn dadurch einige Technologien keinen Zugang zum Ecolabel bekommen
Energieeffizienz	A	A	
Lebensdauer	> 10.000 h	> 15.000 h	> 15.000 h
Lichtstromverhältnis	> 70% bei 10.000 h	> 80% bei 9.000 h	> 90% bei 10.000 h

Kriterium	2002	2009 (Entwurf)	Forderung Umweltverbände
Quecksilbergehalt	≤ 4 mg	20% unterhalb RoHS-Grenzwert	≤ 1,5 mg
Schaltzyklen	> 20.000	> 600.000	> 30.000 bei Startzeit < 0,3 s
Farbwiedergabeindex	> 80	–	–
Verpackung	Verpackungen aus Pappe mind. 65 Gew.-% recyceltes Material	Verpackungen aus Pappe mind. 80% recyceltes Material; Kunststofftaschen mind. 75% recyceltes Material oder kompostierbar / biologisch abbaubar nach EN 13432	–
Benutzerhinweise	Kennzeichnung, wenn nicht dimmbar; Größe und Form im Vergleich zu Glühlampe	Größe und Form im Vergleich zu Glühlampe; Handlungsanweisung bei Glasbruch; sachgemäße Wartung (z.B. Reinigung) erhält Lichtausbeute; Ausschalten spart Energie und Geld	–
Soziale Kriterien	–	Antragsteller sollen Erklärung abgeben, dass Lampen in einem Umfeld hergestellt wurden, dass mind. den Standard SA 8000 einhält.	–
Umschrift	Hohe Effizienz, lange Lebensdauer	Hohe Effizienz, lange Lebensdauer, geprüfte Leistung	–

Da während der vorbereitenden Diskussionen festgestellt wurde, dass die noch geltenden Kriterien bereits sehr strikt sind (nur 10% der Produkte erfüllen die Anforderungen), sollen die neuen Kriterien lediglich etwas angepasst werden, anstatt eine vollständige Anpassung und Harmonisierung mit den gesetzlichen Mindestanforderungen anzustreben. Die Umweltverbände halten dagegen, dass eine Harmonisierung im Hinblick auf eine Reduzierung des Verwaltungsaufwandes sowie im Sinne der EU-Politik zu nachhaltigem Konsum und nachhaltiger Produktion dringend notwendig sei.

Dissens besteht außerdem bei der Frage der Festlegung der Mindestlebensdauer: Je höher diese gesetzt wird, desto höher ist auch der Aufwand für den entsprechenden Nachweis. Dieser wird jedoch als sehr wichtig eingestuft, da viele Lampen nicht die auf der Verpackung angegebene Anzahl an Stunden erwähnen. Das Gleiche gilt für die Anforderungen an den Lampenlichtstromerhalt, der bei einer höheren Mindestlebensdauer ebenfalls angepasst und nachgewiesen werden müsste.

Ein weiterer wichtiger Diskussionspunkt ist der maximale Quecksilbergehalt. Während der Entwurf den maximalen Gehalt auf 3,5 mg begrenzen will, argumentieren die Umweltverbände, dass die Anforderung für das europäische Umweltzeichen unbedingt schärfer als die gesetzlichen Mindestanforderungen sein müsste (siehe Kapitel 5.3) und schlagen einen Maximalwert von 1,5 mg vor.

6.2 Energy Star (USA)

Das Energy-Star-Programm des US Department of Energy (DoE) hat bereits seit längerer Zeit Kriterien für Kompaktleuchtstofflampen entwickelt. Die aktuellsten Kriterien liegen in der Version 4.0 vor. Da die Anforderungen vergleichsweise komplex und sehr ausführlich sind, werden sie hier nur kurz allgemein beschrieben – zumal der Energy Star für Lampen in der EU nicht vergeben werden darf.

Die Anforderungen sind nach Lampenkategorien unterteilt (Reflektoren, Hüllkolben, Innen- und Außenanwendung) und decken die Parameter Energieeffizienz in Lumen pro Watt, Farbwiedergabeindex, ähnlichste Farbtemperatur, Lichtstromerhalt nach 1.000 h sowie nach 40% der angegebenen Lebensdauer, Leistungsfaktor, Anlaufzeit (mit und ohne Amalgam), Zündzeit, Betriebsfrequenz, elektromagnetische Verträglichkeit, Sockel, Quecksilbergehalt und Verpackungsinformationen ab.

Die wichtigsten Kriterien für Kompaktleuchtstofflampen sind in der folgenden Tabelle kurz im Überblick dargestellt:

Tabelle 17 Energy-Star-Anforderungen für Kompaktleuchtstofflampen (ohne Reflektoren) im Überblick

Kriterium	Anforderung	Kommentar
Energieeffizienz	$\geq 35\text{--}65 \text{ lm/W}$	Je nach Lampenform und Leistungsaufnahme
Farbwiedergabeindex	≥ 80	
Ähnlichste Farbtemperatur	Lampen müssen mit den gängigen Farbtemperaturbezeichnungen markiert sein (2.700–6.000 K)	Nachweis gefordert entsprechend Kategorie 7 aus IEC 62612 (siehe Kapitel 7.5)
1.000 h Lichtstromerhalt	$\geq 90\%$	
40% Lebensdauer Lichtstromerhalt	$\geq 80\%$	
Leistungsfaktor	$\geq 0,5$	
Anlaufzeit Amalgam / Hüllkolben	$\leq 3 \text{ min}$	
Anlaufzeit andere	$\leq 1 \text{ min}$	
Zündzeit	$\leq 1 \text{ s}$	
Betriebsfrequenz	$\geq 40 \text{ kHz}$	
Elektromagnetische Verträglichkeit	Übereinstimmung mit entsprechendem Standard	
Sockel	E12 oder E26	
Quecksilber	$\leq 5 \text{ mg}$ bei $< 25 \text{ W}$ $\leq 6 \text{ mg}$ bei $\geq 25 \text{ W}$ und $\leq 40 \text{ W}$	

Die Anforderungen des Energy Star umfassen weiterhin Nachweise, die durch unabhängige Dritte vorzulegen sind. Die Stichprobengröße ist dafür meistens auf 10 Einheiten festgelegt.

Für LED-Lampen sind Energy-Star-Kriterien gerade in der Entwicklung und als Entwurf verfügbar (Energy Star 2009b). Die wichtigsten Kriterien sind in folgender Tabelle im Überblick dargestellt:

Tabelle 18 Energy-Star-Anforderungen für LED-Lampen (ohne Reflektoren) im Überblick

Kriterium	Anforderung	Kommentar
Energieeffizienz	$\geq 50 \text{ lm/W}$ bei $P < 10 \text{ W}$ $\geq 55 \text{ lm/W}$ für alle anderen	
Lichtstrom	$\geq 200 \text{ lm} - 2.600 \text{ lm}$	Je nach deklarierter Lampenleistung
Farbwiedergabeindex	≥ 75 ; zusätzlich muss $R9 \geq 0$ sein	
Ähnlichste Farbtemperatur	Lampen müssen mit den gängigen Farbtemperaturbezeichnungen markiert sein (2.700–4.000 K)	Nachweis gefordert entsprechend Kategorie 7 aus IEC 62612 (siehe Kapitel 7.5)
Farbabweichung	Die Änderung der Farbart über die Nutzlebensdauer muss innerhalb 0,007 des CIE 1976 (u' , v') Diagramms sein.	
Schaltfestigkeit	Dauer des Schaltzyklus muss 2 min „An“, 2 min „Aus“ sein. Lampe durchläuft diesen Zyklus einmal alle 2 h während der Nutzlebensdauer (bis 70% Lichtstromerhalt)	
Dimmbarkeit	–	Kriterium noch nicht verfügbar, da entsprechende Standards noch in der Entwicklung sind.
25.000 h Lichtstromerhalt	$\geq 70\%$	
Leistungsfaktor	$\geq 0,7$ bei $P > 5 \text{ W}$; sonst keine Anforderung	
Betriebsfrequenz	$\geq 120 \text{ kHz}$	Diese hohe Betriebsfrequenz soll Probleme hinsichtlich auftretenden Flackerns bei zu niedrigen Frequenzen beheben.
Elektromagnetische Verträglichkeit	Übereinstimmung mit entsprechendem Standard	
Betriebstemperatur	$\leq -20^\circ\text{C}$	
Hörbarer Lärmpegel	Übereinstimmung mit der entsprechend höchsten Schallschutzklasse	
Garantie	≥ 3 Jahre nach Kaufdatum (Reparatur oder Ersatz)	

Ähnlich den Anforderungen für Kompaktleuchtstofflampen umfassen die Anforderungen des Energy Star für LED-Lampen weiterhin die zu erbringenden Nachweise, die durch unabhängige Dritte vorzuweisen sind. Die Stichprobengröße ist dafür auch hier meistens auf 10 Einheiten festgelegt. Die endgültigen verabschiedeten Kriterien werden Mitte 2010 erwartet.

6.3 Energy Saving Trust (UK)

In Großbritannien gibt es ebenfalls ein freiwilliges Energieeffizienzkennzeichen, das Energy Saving Trust, welches sowohl für Kompaktleuchtstofflampen, als auch für LED-Lampen Kriterien vorhält. Beide Kriteriensätze befinden sich derzeit in der Überarbeitung und werden hier mit dem Stand Oktober 2009 kurz beschrieben.

Der Entwurf zur Version 7.0 für Kompaktleuchtstofflampen-Kriterien unterscheidet acht Lampenkategorien je nach Lampenform (mit oder ohne Hüllkolben), Lampenleistung und nach Reflektorlampen. Für diese Kategorien werden unterschiedliche Anforderungen an Effizienz in Lumen pro Watt, an die Einhaltung von Vorgaben aus relevanten Standards, an Farbwiedergabe, Leistungsfaktor, Lebensdauer, Anlaufzeit und Lichtstromerhalt gestellt. Sie sind auszugsweise in Tabelle 19 wiedergegeben.

Tabelle 19 Auszug Anforderungen Energy Saving Trust für Kompaktleuchtstofflampen (ohne Reflektoren)

Kriterium	Anforderung	Kommentar
Energieeffizienz	$\geq 39\text{--}65 \text{ lm/W}$	Je nach Lampenform und Leistungsaufnahme
Lebensdauer	$\geq 6.000\text{--}10.000 \text{ h}$	Je nach Lampenform und Leistungsaufnahme
Farbwiedergabeindex	≥ 80	
Ähnlichste Farbtemperatur	Lampen müssen mit den gängigen Farbtemperaturbezeichnungen markiert sein (2.700–6.000 K)	Nachweis gefordert entsprechend Kategorie 7 aus IEC 62612 (siehe Kapitel 7.5)
8.000 h Lichtstromerhalt	$\geq 68\text{--}78\%$	Je nach Lampenform und Leistungsaufnahme
Leistungsfaktor	$\geq 0,9$ bei $P \geq 25\text{W}$ $\geq 0,55$ bei anderen	
Anlaufzeit Hüllkolben	$\leq 1 \text{ min}$ bei Lichtstromerhalt 65–70%	Lichtstromerhalt in Abhängigkeit von Lampenleistung
Anlaufzeit andere	$\leq 1 \text{ min}$ bei Lichtstromerhalt 75–80%	Lichtstromerhalt in Abhängigkeit von Lampenleistung
Zündzeit Hüllkolben	$\leq 3 \text{ s}$ bei Lichtstrom 6–10%	Lichtstromerhalt in Abhängigkeit von Lampenleistung
Zündzeit andere	$\leq 3 \text{ s}$ bei Lichtstrom 30–35%	Lichtstromerhalt in Abhängigkeit von Lampenleistung
Elektromagnetische Verträglichkeit	Übereinstimmung mit entsprechendem Standard	

Die Stichprobengröße ist bei den Nachweisen meist 20 Lampen.

Ähnlich wie bei den Kompaktleuchtstofflampen unterscheiden die Kriterien im Entwurf für LED-Lampen vier unterschiedliche Kategorien, je nachdem ob die Lampen gerichtetes Licht aussenden oder nicht, welchen Sockel sie haben oder ob es sich um Reflektorlampen handelt. Die Kriterien für eine der Kategorien (nicht gerichtetes Licht; als Ersatz für Glühlampen konzipiert) sind beispielhaft in Tabelle 20 aufgeführt:

Tabelle 20 Auszug Anforderungen Energy Saving Trust für LED-Lampen (nur ungerichtet zum Ersatz von Glühlampen)

Kriterium	Anforderung	Kommentar
Lebensdauer bei LSF ₅₀ und LLMF ₇₀	≥ 15.000 h	
Frühausfallrate	≤ 1 Ausfall bis 3.000 h	
Farbwiedergabeindex	≥ 80	
Leistungsfaktor	≥ 0,65	

Die Stichprobengröße ist bei den Nachweisen meist 10 Lampen. Weitere Kriterien sind noch in Bearbeitung.

7 Qualitätsaspekte

Neben den reinen Energieeffizienzaspekten spielen Qualitätsaspekte bei der Untersuchung und Bewertung von Lampen eine große Rolle: Lampen sollen je nach Einsatzbereich bestimmte Parameter, die lichttechnischen Eigenschaften, erfüllen. Da sich die unterschiedlichen Lampentechnologien stark bezüglich dieser Aspekte unterscheiden, werden sie im Folgenden kurz beschrieben.

7.1 Lichttechnische Eigenschaften

Zur Beschreibung der lichttechnischen Eigenschaften einer Lampe werden Parameter genutzt, die eine Aussage über die Qualität des abgegebenen Lichtes sowie über die technischen Eigenschaften der Lampe machen. Man unterscheidet zwischen den deklarierten Werten der Hersteller und den ggf. gemessenen Werten, die davon abweichen können. Die folgende Liste enthält eine Auswahl solcher Parameter:

- Leistungsaufnahme: beschreibt die aufgenommene Leistung einer Lampe in Watt.
 - Je heller eine Lampe leuchtet, umso höher muss die Leistungsaufnahme der Lampe sein.
Besser noch ist es aber, sich am Lichtstrom zu orientieren. Je höher der Wert, desto heller die Lampe.
- Lichtstrom: beschreibt die abgegebene Lichtmenge einer Lampe in Lumen und bezeichnet eine vom Strahlungsfluss (Strahlungsleistung) durch Bewertung der Strahlung entsprechend der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges abgeleitete Menge (nach Anhang I, Punkt 1 f) der Verordnung 244/2009/EG).
- Einbrennzeit: bezeichnet die Zeit, bis eine Lampe eingebrannt ist, d.h. bis der Lichtstrom nicht mehr schwankt und ein stationärer Temperaturzustand erreicht ist. Bei Kompaktleuchtstofflampen sind das üblicherweise 100 h, während bei LED-Lampen und Glühlampen 1 h ausreichend ist.

- Schaltzyklus: bezeichnet eine Folge von Ein- und Ausschaltzeiten von bestimmter Länge (nach Anhang I, Punkt 2 f) der Verordnung 244/2009/EG).
 - Ein langer Schaltzyklus dauert 3 h, während dessen die Lampe mindestens 2:45 h ein- und 15 min ausgeschaltet ist.^[15]
 - Ein kurzer Schaltzyklus (nach Anhang II, Punkt 2 Absatz 3 der Verordnung 244/2009/EG) dauert 5 min, währenddessen die Lampe 4,5 min ein- und 0,5 min ausgeschaltet ist.
- Lampenlebensdauerfaktor: entspricht dem englischen Begriff LSF (Lamp Survival Factor) und bezeichnet den Anteil der noch funktionierenden Lampen an der Gesamtzahl der Lampen (z.B. LSF₅₀ bezeichnet einen Lampenlebensdauerfaktor von 50%).
- Lampenlichtstromerhalt: entspricht dem englischen Begriff LLMF (Lamp Lumen Maintenance Factor) und bezeichnet das Verhältnis zwischen dem von der Lampe zu einem gegebenen Zeitpunkt ihres Lebens ausgesendeten Lichtstrom und ihrem Anfangslichtstrom nach Ende der Einbrennzeit (nach Anhang I, Punkt 1 b) der Verordnung 244/2009/EG).
 - Die Leuchtkraft von Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen lässt mit der Zeit nach. In der Regel senden sie nach der auf der Packung angegebenen Lebensdauer nur noch 80% oder weniger des ursprünglichen Lichts aus (entspricht LLMF₈₀) und sollten dann ausgetauscht werden.
- Lebensdauer: bezeichnet die Betriebszeit, nach der der Anteil der noch funktionierenden Lampen an der Gesamtzahl der Lampen unter bestimmten Bedingungen und bei einem bestimmten Schaltzyklus dem Lampenlebensdauerfaktor entspricht (nach Anhang I, Punkt 1 d) der Verordnung 244/2009/EG).
 - Die oft von Herstellern angegebene „mittlere“ Lampenlebensdauer wird bei LSF₅₀ und langem Schaltzyklus bestimmt (d.h. Brenndauer in Stunden, bei der die Hälfte der getesteten Lampen ihren Dienst versagt hat). Die tatsächliche Brenndauer einer Lampe kann also länger, aber auch kürzer sein.
- Farbtemperatur: bezeichnet die Temperatur eines Planck'schen Strahlers (schwarzer Körper) in Kelvin, dessen wahrgenommene Farbe der eines gegebenen Farbzeiges bei derselben Helligkeit und unter festgelegten Betrachtungsbedingungen am nächsten kommt (nach Anhang I, Punkt 1 g) der Verordnung 244/2009/EG).
 - Glühlampen haben die Menschen über die Jahre geprägt und sie an ein warmes, gelbliches Licht gewöhnt, welches durch das ausgesendete Spektrum entsteht. Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen, die als Ersatz für Glühlampen auf den Markt kommen, haben nicht das gleiche Spektrum und daher auch andere Farbtemperaturen. Mittlerweile werden diese Lampen jedoch auch mit glüh-

¹⁵ Dies bildet einen durchschnittlichen Tagesnutzungszyklus von 3 h pro Tag ab.

lampenähnlichem Licht angeboten. Das Spektrum reicht dabei von tageslichtweiß (6500 K) bis zu extra-warmweiß (2500 K), wobei Letzteres ungefähr der Lichtfarbe von Glühlampen entspricht. Je höher der Wert dabei liegt, desto weißer empfindet man das Licht. Niedrigere Werte entsprechen einem wärmeren Licht mit einem höheren Rot- und Gelbanteil (z.B. Glühlampen).

- Farbwiedergabeindex: bezeichnet die Wirkung einer Lichtart auf das farbliche Aussehen von Gegenständen durch bewussten oder unterbewussten Vergleich mit ihrem farbliehen Aussehen bei einer Bezugslichtart (nach Anhang I, Punkt 1 h) der Verordnung 244/2009/EG).
 - Er wird als allgemeiner Farbwiedergabeindex R_a angegeben, der sich zwischen 20 und 100 bewegt, in sechs Stufen von 1A bis 4 eingeteilt. Je größer der Wert für den allgemeinen Farbwiedergabeindex ist, desto besser stimmen die Farben unter dem künstlichen Licht mit den Farben unter Sonnenlicht überein. Die Stufe 1A entspricht dabei einem Farbwiedergabeindex zwischen 90 und 100.
 - Die Lichtqualität kann anhand einer Kennung der Hersteller auf der Lampenverpackung identifiziert werden. Sie besteht aus drei Ziffern, z.B. 827. Die erste Ziffer – in diesem Fall 8 – gibt die Farbwiedergabe an und bezieht sich auf den Farbwiedergabeindex, der sich in diesem Fall zwischen 80 und 89 befindet und damit der Farbwiedergabestufe 1B entspricht. Der Wert 9 würde der Farbwiedergabestufe 1A entsprechen. Die zweite und dritte Ziffer geben die Farbtemperatur an:
 - 27 bedeutet 2700 K und entspricht glühlampenähnlichem Licht
 - 30 bedeutet 3000 K und entspricht warmweißem Licht
 - 40 bedeutet 4000 K und entspricht neutralweißem Licht
 - 50 bedeutet 5000 K und entspricht tageslichtweißem Licht
 - 65 bedeutet 6500 K und entspricht tageslichtweißem Licht
- Schaltfestigkeit: bezeichnet die Anzahl an kurzen Schaltzyklen, mit denen Lampen einen LSF_{50} erreichen.
- Vorzeitige Ausfallrate: bezeichnet den LSF nach Erreichen einer Brennzeit von 400 h (nach Anhang I, Punkt 2 g) der Verordnung 244/2009/EG).
- Anlaufzeit: bezeichnet die Zeit, die nach dem Zünden vergeht, bis die Lampe einen bestimmten Teil ihres stabilen Lichtstroms abgibt (nach Anhang I, Absatz 1 k) der Verordnung 244/2009/EG). Meistens wird die Anlaufzeit bis Erreichen von 80% des Lichtstroms angegeben.
 - Bei den meisten Kompaktleuchtstofflampen dauert es höchstens 2 min, bis die Lampe ihre volle Helligkeit erreicht hat. Grund für diese geringe Verzögerung ist eine Vorheizphase. Sie ermöglicht einen Warmstart der Lampe, der die in der Lampe enthaltenen Elektroden schont und die Schaltfestigkeit erhöht. So ge-

nannte Kaltstartlampen, also Lampen ohne Vorheizphase, starten zwar schneller, gehen aber dafür auch erheblich schneller kaputt.

- Zündzeit: bezeichnet die Zeit, die die Lampe nach Anlegen der Versorgungsspannung benötigt, um stabil zu leuchten (nach Anhang I, Absatz 1 j) der Verordnung 244/2009/EG).

7.2 Strahlung und Spektrum

Das menschliche Auge nimmt Licht in einem Wellenlängenbereich von 380–780 nm wahr. Für davon abweichende Wellenlängen besitzt der Mensch zwar kein eigenes Wahrnehmungsorgan, dieses Licht kann jedoch dennoch biologisch wirksam sein. Bestrahlung mit infrarotem Licht führt zur Erwärmung der oberen Gewebeschichten, ultraviolette Strahlung kann besonders in den kürzerwelligen Anteilen schädigend wirken. UVA-A (320–380 nm) ist allerdings für die Synthese von Vitamin D notwendig.

Eine Untersuchung an 73 Kompaktleuchtstofflampen in Großbritannien (davon 20 mit zweiter Hülle) kam zu dem Schluss, dass die ausgesandte UV-Strahlung nicht als Gefahr für die Augen betrachtet werden kann. Allerdings kann die UV-Strahlung eines großen Anteils der Kompaktleuchtstofflampen mit einfacher Hülle zu Überexposition der Haut führen, wenn die Lampen als Arbeits- oder Tischleuchte eingesetzt werden (20 cm Abstand). Außerdem kann durch Lampenschirme und Reflektoren eine Erhöhung stattfinden. Das emittierte Licht der Lampen ist mit einer Frequenz zwischen 15 und 40 kHz moduliert und entspricht damit der des Vorschaltgerätes. Darüber hinaus hatte bei allen Lampen die emittierte optische Strahlung eine 100-Hz-Umhüllung mit einer 15% zu hohen Modulation (flackern). Dies kann wahrgenommen werden und zu Beeinträchtigungen führen.

Die Emissionen im sichtbaren Spektrum bestanden aus ein paar diskreten, schmalen Spitzen und keinen oder vernachlässigbaren Emissionen bei den restlichen Wellenlängen. Dies kann zur Beeinträchtigung der Farbwiedergabe und einer notwendigen höheren Helligkeit zur Ausführung bestimmter Tätigkeiten führen.

UV-Strahlung entsteht durch Entladung im Quecksilberdampf: Die Energie der UV-Photonen wird idealerweise in der innenliegenden Phosphorbeschichtung zu 100% in sichtbares Licht umgewandelt. Manchmal wird aber durch Defekte in der Phosphorschicht doch UV-Strahlung emittiert. Aus Lampenhelligkeit kann jedoch nicht auf UV-Strahlung geschlossen werden.

Emissionen im sichtbaren Spektrum sind für die Farbwiedergabe relevant. Diese wird über den Farbwiedergabeindex wiedergegeben, der jedoch keine direkte Korrelation mit der subjektiven Farbwiedergabe hat, insbesondere für Lampen mit Emissionsspitzen wie z.B. Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen (im Gegensatz zu Glühlampen).

Kompaktleuchtstofflampen mit glühlampenähnlichem, „warmweißem“ Licht haben üblicherweise eine Farbtemperatur von 2.700 K. Vollspektrumlampen besitzen demgegenüber eine erheblich höhere Farbtemperatur von z.B. 6000 K, weisen eine dem Tageslicht angenäherte

Spektralverteilung (entsprechend dem Spektrum des Sonnenlichts am Mittag) auf und werden daher auch als Tageslichtlampen bezeichnet. Die Farbwiedergabe dieser Kompaktleuchtstofflampen ist deutlich verbessert, da sie die Farben natürlicher wiedergeben. In geringen, unschädlichen, aber möglicherweise physiologisch wichtigen Mengen ist auch UV-Licht enthalten. Es gibt einzelne Untersuchungen, zum positiven gesundheitlichen Effekt von Vollspektrum- im Vergleich zu normalen Kompaktleuchtstofflampen. So empfiehlt z.B. Stiftung Warentest, diese Lampen für Arbeitsbereiche einzusetzen, die wenig oder kein Tageslicht bekommen bzw. an denen auch abends gearbeitet wird, da das Tageslichtspektrum die Stimmung hebt und Schläfrigkeit bremst (EcoTopTen 2004) (Stiftung Warentest 3/2008).

Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen besitzen elektronische Vorschaltgeräte, die bei den handelsüblichen Modellen bereits integriert sind. Diese verursachen elektromagnetische Strahlungen. Für elektromagnetische Felder von Lampen gibt es jedoch bislang keine allgemein anerkannten eigenen Grenzwerte oder Normen.¹⁶ „Kompaktleuchtstofflampen strahlen im Bereich der Netzfrequenz nicht mehr als übliche Haushaltsgeräte oder Glühlampen. Zusätzliche elektromagnetische Felder (Wechselfelder) erzeugt das Vorschaltgerät im Lampensockel durch seine hohe Betriebsfrequenz von rund 30 kHz“ (Stiftung Warentest 3/2008). Stiftung Warentest hat in ihrem Test von Kompaktleuchtstofflampen (3/2008) unter anderem auch die elektromagnetische Strahlung der getesteten Lampen gemessen. Insgesamt kommt Stiftung Warentest zum Ergebnis, dass es trotz langjähriger Verwendung von Leuchtstofflampen bisher keine wissenschaftlichen Belege für gesundheitliche Probleme im Zusammenhang mit elektromagnetischer Strahlung gibt.

In seiner aktuellsten Veröffentlichung (08/2009) zu elektromagnetischen Emissionen von Kompaktleuchtstofflampen hat das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) festgestellt, dass „der Einsatz von Kompaktleuchtstofflampen für allgemeine Beleuchtungszwecke im Haushalt unter Strahlenschutzaspekten nicht bedenklich ist“. Die Untersuchungen des BfS zeigen, dass „die von den Lampen emittierte optische Strahlung sowie die elektrischen und magnetischen Felder die internationalen Grenzwertempfehlungen einhalten“. Darüber hinaus weist das BfS darauf hin, dass Kompaktleuchtstofflampen nicht als schädlicher eingestuft werden können als Glühlampen und dass im Allgemeinen Lampen für den Hausgebrauch insgesamt nur geringe elektromagnetische Strahlung außerhalb des sichtbaren Wellenlängenbereichs emittieren sollten. Da die am Markt befindlichen Lampen in dieser Hinsicht sehr große Unterschiede aufweisen, fordert das BfS von den Herstellern „eine für die Verbraucher einfach zu erkennende Kennzeichnung von Lampen, die auch dem vorsorglichen Strahlenschutz im Rahmen des technisch Machbaren gerecht werden“.

¹⁶ Es gibt zurzeit nur einen Standard im öffentlich verfügbaren Entwurfsstadium (final draft international standard): DIN IEC 62493 (Beurteilung von Beleuchtungseinrichtungen bezüglich der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern – Produktfamilienorm (IEC 34/116/CD:2008)).

Eine Untersuchung an 37 Kompaktleuchtstofflampen zur elektromagnetischen Verträglichkeit hat Messungen mit unterschiedlichen Verfahren (u.a. in Anlehnung an einen Normentwurf IEC 62493) sowie eine numerische Simulation durchgeführt. Als Ergebnis halten alle Kompaktleuchtstofflampen in Gebrauchsabständen von 30 cm und mehr den Referenzwert der ICNIRP (Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung) für die elektrische Feldstärke ein. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass im Vergleich zur Glühlampe die Ausschöpfung des Referenzwertes für das elektrische Feld erheblich höher sein kann: z.B. schöpft eine 30-Watt-Kompaktleuchtstofflampe den Referenzwert zu 70% aus, eine 15-Watt-Kompaktleuchtstofflampe zu 20% und eine 75-Watt-Glühlampe nur zu 2%.

Die gemessenen Magnetfelder waren insgesamt sehr gering (in keinem Fall mehr als 1% des jeweiligen Referenzwertes) und können deshalb vernachlässigt werden. In der Untersuchung wird deshalb folgende Schlussfolgerung gezogen: Es konnte die Einhaltung des Basiswertes (induzierte Stromdichte im Körper) nachgewiesen und deshalb eine nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand gesundheitliche Beeinträchtigung ausgeschlossen werden. Dies wurde durch eine numerische Simulation bestätigt, die ergab, dass die leistungsstärkste Kompaktleuchtstofflampe den Grenzwert nur zu 4-5% ausschöpft.

90% der untersuchten Kompaktleuchtstofflampen erzeugen elektrische Feldstärken von < 20 V/m. Leistungsstarke Lampen können aber bis zu 59 V/m erreichen. Wenn die Entfernung unter 25 cm liegt, dann wird bei der leistungsstärksten Kompaktleuchtstofflampe der Referenzwert überschritten. Eine strahlungsarme 11-Watt-Lampe hatte ein um ca. 90% reduziertes elektrisches Feld.

Die Untersuchung gibt daher als mögliche Vorsorgemaßnahmen eine Minimierung der Exposition elektrischer Felder über folgende Optionen an:

- geerdete Lampenschirme aus Metall;
- technische Maßnahmen direkt an der Lampe („strahlungsarme Kompaktleuchtstofflampen“ sind bereits auf dem Markt);
- Wahrung ausreichenden Abstands (> 30 cm vom Nutzer), da rasche Abnahme elektrischer Feldstärke mit wachsender Entfernung.

7.3 Qualitätsaspekte Kompaktleuchtstofflampen

Verschiedene Kompaktleuchtstofflampen besitzen, wie diverse Tests zeigen, eine unterschiedlich gute Qualität. Von Bedeutung sind hierbei insbesondere die Kriterien Lebensdauer, Schaltfestigkeit und erzeugte Helligkeit. Unabhängige Qualitätstests für Kompaktleuchtstofflampen werden in Deutschland in unregelmäßigen Abständen vor allem von der Stiftung Warentest durchgeführt. Bei Kompaktleuchtstofflampen unterscheiden sich die erzielten Werte zum Teil deutlich von den Angaben der Hersteller, und die Dauer der Anlaufzeit kann bei schlechten Lampen sehr lang ausfallen (Stiftung Warentest 12/2008).

Einige Kompaktleuchtstofflampen weisen jedoch eine sehr gute Qualität auf, wie der letzte Test der Stiftung Warentest belegt (01/2009), der die Ergebnisse einer Dauerprüfung über 15.500 h enthält (entspricht bei einem 3-Stunden-Tagesnutzungszyklus einer Lebensdauer von 14 Jahren). Entscheidend ist aber nicht die Anzahl der Brennstunden an sich, sondern der damit einhergehende Lampenlichtstromerhalt. In dieser Hinsicht haben insbesondere Markenprodukte gut abgeschnitten und konnten im Idealfall über die gesamte Testdauer einen Lichtstromerhalt von mindestens 80% erreichen. Insgesamt war auch die gemessene Effizienz sehr hoch, allerdings sinkt diese im Laufe der Zeit ab (Stiftung Warentest 1/2009).

Im letzten vollständigen Test der Stiftung Warentest (03/2008) von Kompaktleuchtstofflampen wurde nur bei wenigen Lampen eine deutlich kürzere Brennzeit als die auf der Verpackung angegebene gemessen. In punkto Helligkeitsverluste waren die Höchstwerte bei normalen Kompaktleuchtstofflampen nach 10.000 h zwischen 36 und 40% und bei Reflektorlampen um die 50%. Als gut bewertet werden jedoch nur Lampen, die einen maximalen Helligkeitsverlust von 20% über die Lebensdauer haben. Was die Deklaration der Leistungsaufnahme auf der Verpackung angeht, stellte die Stiftung Warentest bei einigen Modellen fest, dass die gemessene Leistungsaufnahme erheblich geringer ausfiel als deklariert. Das hat zur Folge, dass bei einem Ersatz von Glühlampen mit diesen Lampen, eine sehr viel niedrigere Helligkeit erreicht wird, als vom Nutzer erwartet (Stiftung Warentest 3/2008).

Dort, wo früher die Glühlampe universell eingesetzt wurde und lediglich die gewünschte Helligkeit über die Wattzahl definiert wurde, sollten laut Stiftung Warentest für Kompaktleuchtstofflampen die Einsatzorte und deren Anforderungen geprüft werden, um die richtige Lampe auszuwählen: So sollten zwischen den unterschiedlichen Sockelgrößen auch ästhetische Aspekte berücksichtigt werden (z.B. bei offenen Leuchten) sowie die Notwendigkeit einer guten Farbwiedergabe (siehe Kapitel 7.2) oder von Dimmbarkeit. Vorsicht ist beim Einsatz von Kompaktleuchtstofflampen im Außenbereich geboten, da diese bei niedrigen Temperaturen oft nicht gut funktionieren. Ebenso sollte je nach Einsatzbereich auf Lampen geachtet werden, die ggf. eine besonders kurze Zünd- und Anlaufzeit haben bzw. eine hohe Schaltfestigkeit aufweisen (z.B. beim Einsatz in Toilette, Bad und Treppenhaus) (Stiftung Warentest 3/2008).

In Großbritannien wurden im Rahmen des „Market Transformation Programme“ stichprobenartig unter anderem Kompaktleuchtstofflampen eingekauft und ihr Lichtstrom sowie ihre Leistungsaufnahme gemessen, um zu prüfen, ob die von den Herstellern angegebenen Werte auf dem Energieeffizienzkennzeichen (siehe Kapitel 4.3) mit den gemessenen Werten übereinstimmen. Dabei stellte sich heraus, dass von 113 Stichproben, die aus je 5 Kompaktleuchtstofflampen bestanden, 25% nicht mit einem oder mehreren der angegebenen Werte auf dem Kennzeichen übereinstimmten. 8% erreichten nicht die deklarierte Energieeffizienzklasse, 20% erreichten nicht den deklarierten Lichtstrom und 4% hatten eine von der Deklaration abweichende Leistungsaufnahme (MTP 2009). Diese Ergebnisse zeigen deutlich,

dass es für Verbraucher schwierig ist auf die angegebene Qualität der Lampen zu vertrauen und dass eine stärkere Marktüberwachung notwendig ist.

7.4 Qualitätsaspekte LED-Lampen

LED-Lampen bieten aufgrund ihrer Technologie das Potenzial, besonders effizient zu sein und eine hohe Lebensdauer zu erreichen. Außerdem enthalten sie im Vergleich zu Kompaktleuchtstofflampen kein Quecksilber und gelten damit als Leuchtmittel der Zukunft (siehe Kapitel 3.1). Allerdings ist diese junge Technologie noch nicht ganz ausgereift und bedarf insbesondere bezüglich der Qualität der lichttechnischen Eigenschaften noch genauerer Untersuchungen und Vorgaben.

So hat die Stiftung Warentest in ihrer Ausgabe vom November 2009 einen ersten Test zu LED-Lampen veröffentlicht, die sich sowohl als Spot-Beleuchtung (Ersatz für Halogenlampen) als auch als Ersatz für Glühlampen eignen (Stiftung Warentest 11/2009). Als Ergebnis stellte sich heraus, dass es zwischen den einzelnen Modellen starke Qualitätsunterschiede gibt: Einige Lampen gaben zu wenig Lichtstrom ab (z.B. 33 lm im Vergleich zu 190 lm für eine 25-Watt-Glühlampe), während andere weniger als 1.000 h brannten oder zu schnell an Helligkeit verloren. Es gab aber auch ein Modell, das es auf 662 lm brachte und damit in den Bereich einer 60-Watt-Glühlampe kam. Mit einer Effizienz von 77 lm/W war diese Lampe jedoch sehr viel effizienter als eine vergleichbare Glühlampe, die nur ca. 6–10 lm/W aufbringt. Gut bewertet wurde auch die Tatsache, dass die LED-Lampen in vielen Farbtemperaturen angeboten werden: von warmweiß (2.700 K) bis zu bläulichem Tageslichtweiß (7.200 K). Außerdem schnitten sie in der Farbwiedergabe besser ab, als Kompaktleuchtstofflampen.

LED-Lampen haben den Vorteil, dass sie sofort nach dem Einschalten (insbesondere bei Kälte) ihre volle Helligkeit erreichen. Sie eignen sich daher gut für Außenbeleuchtung, Flure, Treppenhäuser oder dergleichen. Auch als Ersatz für energieintensive Halogen-Spots empfiehlt sie die Stiftung Warentest. Allerdings ist zu beachten, dass sich LED-Lampen im Gegensatz zu Halogen-Lampen außen zwar nicht so stark erwärmen, jedoch auf eine gute Hinterlüftung geachtet werden muss, da sich die Elektronik stark erwärmt. Dies ist entscheidend für die Lebensdauer der Lampe, da bei fehlender Kühlung die Lampe schnell defekt werden kann.

Auch SAFE, die schweizerische Energieagentur, hat LED-Lampen getestet (sowohl Spots als Ersatz für Halogenlampen oder Reflektorlampen als auch Leseleuchten mit integrierten LED-Lampen). Von den 12 getesteten Spots waren drei Produkte gut und vergleichbaren Kompaktleuchtstofflampen-Spots in Bezug auf Energieeffizienz und Lichtqualität klar überlegen. Zwei Produkte erhielten die Note „genügend“, während die restlichen sieben ungenügend waren und meistens an zu geringem Lichtstrom und schlechter Farbwiedergabe scheiterten. Insgesamt wurde festgestellt, dass es sehr große Qualitätsunterschiede gibt und die Deklaration der wichtigsten lichttechnischen Kenndaten schlecht ist (Gasser 2009a).

Der Lampenhersteller Megaman bewirbt seine LED-Spots als Ersatz für Halogenlampen unter anderem mit folgenden Argumenten (Megaman 2009a):

- Gute Farbwiedergabe durch hohen Farbwiedergabeindex (85 und 92)
- Gleichmäßige Farbtemperatur (+/- 100 K im Vergleich zu sonst üblichen +/- 500 K bei LED-Lampen)
- Hohe Lebensdauer durch Lampenlichtstromerhalt von 90% nach 20.000 h Brenndauer (reduziert den Wartungsaufwand).
- Reduzierung der Wärmelast (weniger Wärmeentwicklung außen; dadurch weniger Schäden an Oberflächen und Reduzierung von Klimatisierungskosten)
- Geringe UVA-, UVB- und Infrarot-Strahlung und daher Schutz von empfindlichen Oberflächen (z.B. kein Ausbleichen)

7.5 Normen und Standards

Für Lampen, die in Haushalten zum Einsatz kommen, gibt es eine Vielzahl von Normen und Standards. Einige gesetzliche Regelungen beziehen sich explizit darauf. Zum Beispiel wurde speziell zum Zwecke der Überprüfung der Angaben auf dem Energieeffizienzkennzeichen (siehe Kapitel 4.3) die Norm DIN EN 50285 entwickelt. Da LED-Lampen eine relativ junge Technologie sind, sind entsprechende Normen und Standards erst in der Entwicklung und noch nicht allgemein anerkannt.

In diesem Kapitel werden nur einige der Normen und Standards genauer vorgestellt, die einen direkten Zusammenhang zu gesetzlichen Mindestanforderungen oder Umweltkennzeichen haben. Einen Überblick gibt Tabelle 21.

Tabelle 21 Ausgewählte Normen und Standards für Haushaltslampen

Norm	Titel	Inhalt
EN 50285:1999	Energieeffizienz von elektrischen Lampen für den Hausgebrauch – Messverfahren	Festlegung Prüfbedingungen, Messverfahren und Nachweis für Lichtstrom, Leistungsaufnahme und Lebensdauer auf Energieeffizienz etikett
EN 60969:1993	Lampen mit eingebautem Vorschaltgerät für Allgemeinbeleuchtung – Anforderungen an die Arbeitsweise	Festlegung Anforderung Maße, Prüfbedingungen, Zünd- und Anlaufzeit, Leistungsaufnahme, Lichtstrom, Farbe, Lichtstromerhalt und Lebensdauer
EN 61000-3-2:2006	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 3-2: Grenzwerte – Grenzwerte für Oberschwingungsströme	U.a. Festlegung Anforderung und Messung des elektrischen Leistungsfaktors
EN 62471:2008	Fotobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen	U.a. Festlegung Anforderung und Messung des spezifischen UV-Strahlung
CIE 13.3:1995	Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources	Bestimmung des Farbwiedergabeindizes

Norm	Titel	Inhalt
CIE 15:2004	Colorimetry	U.a. Bestimmung der ähnlichsten Farbtemperatur
CIE 84:1989	The measurement of luminous flux	Bestimmung des Lichtstroms
CIE 97:2005	Maintenance of indoor electric lighting systems	U.a. Bestimmung des Lampenlichtstromerhalts und der Lampenausfallrate
IEC 62612 (IEC34A/1343/CD:2009)	LED-Lampen mit eingebautem Vorschaltgerät für die Allgemeinbeleuchtung > 50 V – Anforderungen an die Arbeitsweise	Festlegung Anforderung Kennzeichnung, Maße, Prüfbedingungen, Farbe, Lichtstromerhalt und Lebensdauer
IEC 62493 (IEC 34/116/CD:2008)	Beurteilung von Beleuchtungseinrichtungen bezüglich der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern	Festlegung Anforderungen und Messverfahren bezüglich elektromagnetischer Strahlung von Lampen
DIN 5032 :1999 (Teile 1–8)	Lichtmessung	Photometrische Verfahren, Betrieb elektrischer Lampen und Messung der zugehörigen Größen; Messbedingungen für Gasleuchten; Messungen an Leuchten: Photometer; Begriffe, Eigenschaften und deren Kennzeichnung; Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräten; Datenblatt für Beleuchtungsstärkemessgeräte
DIN 5033:1982 (Teile 1–9)	Farbmessung	Grundbegriffe der Farbmessung, Normvalenzsysteme, Farbmaßzahlen, Spektralverfahren, Gleichheitsverfahren, Dreibereichsverfahren, Messbedingungen für Körperfarben, Messbedingungen für Lichtquellen, Weißstandard für Farbmessung und Photometrie.

Im Folgenden werden exemplarisch die Normen EN 60969 sowie EN 50285 kurz beschrieben.

7.5.1 EN 60969

Diese Norm bezieht sich explizit auf Kompaktleuchtstofflampen und andere Gasentladungslampen mit integrierten Vorschaltgeräten, die für den Hausgebrauch und ähnliche allgemeine Beleuchtungszwecke vorgesehen sind. Die wichtigsten Begriffsdefinitionen und Anforderungen sind im Folgenden aufgelistet:

- Lampe mit eingebautem Vorschaltgerät: bezeichnet eine Einheit, die mit einem Lampensockel ausgestattet ist, die nicht zerlegt werden kann, ohne auf Dauer beschädigt zu werden, und in der eine Lichtquelle sowie die für die Zündung und den stabilen Betrieb der Lichtquelle notwendigen zusätzlichen Teile eingebaut sind.
- Anfangswerte: bezeichnen die nach 100 h Alterung gemessenen lichttechnischen und elektrischen Werte. Lampen müssen im bestimmungsgemäßen Gebrauch 100 h lang gealtert sein.

- Mittlere Lebensdauer: bezeichnet die Betriebsdauer, während der 50% der Lampen das Ende ihrer Einzellebensdauer erreichen.
- Zündzeit: bezeichnet die Zeit, die die Lampe nach dem Einschalten der Versorgungsspannung benötigt, um zu zünden und stabil weiterzubrennen. Die Prüfung muss vor der Alterung durchgeführt werden.
- Anlaufzeit: bezeichnet die Zeit, die die Lampe nach dem Einschalten der Versorgungsspannung benötigt, um 80% ihres Endlichtstromes zu erreichen. Die Prüfung muss vor der 100-Stunden-Alterung durchgeführt werden.
- Stabilisierungszeit: bezeichnet die Betriebszeit, die die Lampe zum Erreichen stabiler elektrischer und lichttechnischer Betriebseigenschaften benötigt. Lampen müssen bei festgelegter Prüfspannung unmittelbar nach der Stabilisierung gemessen werden.
- Maße, Zündung und Anlauf: die gemessenen Werte müssen den Angaben des Herstellers oder des verantwortlichen Betreibers entsprechen.
- Messtoleranz für Lampenleistung: die von der Lampe aufgenommene Anfangsleistung darf 115% der angegebenen Leistung nicht überschreiten.
- Messtoleranz für Lichtstrom: der nach der Alterungszeit gemessenen Anfangslichtstrom darf nicht kleiner als 90% des angegebenen Lichtstroms sein.
- Der Lampenlichtstromerhalt nach 2.000 Betriebsstunden, die Alterungszeit eingeschlossen, darf nicht niedriger sein, als der angegebene Wert.
- Die mittlere Lebensdauer darf nicht niedriger sein als die angegebene und muss an mindestens 20 Lampen ermittelt werden.
- Schaltzyklus: bei der Prüfung des Lampenlichtstromerhalts und der Lebensdauer müssen die Lampen innerhalb von 24 Stunden 8-mal ausgeschaltet werden. Die „Aus“-Zeit muss zwischen 10 und 15 min dauern. Die „An“-Zeit muss mindestens 10 min betragen.

7.5.2 EN 50285

Die Norm EN 50285 wurde aufgrund eines Mandates entwickelt, welches in der EU-Richtlinie im Hinblick auf die Energieetikettierung von Haushaltslampen (siehe Kapitel 4.3) erteilt wurde, und legt die Prüfbedingungen und das Verfahren zur Messung des auf dem Etikett auf der Lampenverpackung angegebenen Lichtstroms, der Lampenleistung und der Lampenlebensdauer fest, zusammen mit einem Verfahren zum Nachweis der angegebenen Werte.

Bezüglich der Prüfbedingungen für Kompaktleuchtstofflampen verweist die EN 50285 auf die EN 60969. Sie hat jedoch strengere Toleranzen als die DIN EN 60969, was die Einhaltung der angegebenen Werte zu Lichtstrom und Lampenleistung betrifft: für Kompaktleuchtstofflampen darf der Lichtstrom nicht kleiner 95% und die Lampenleistung darf nicht größer 110% des angegebenen Wertes sein. Im Hinblick auf den Nachweis schreibt sie ebenfalls eine Stichprobengröße von 20 Lampen vor, führt die Randbedingungen aber detaillierter aus:

„Die Stichprobengröße muss für die Produktion eines Herstellers repräsentativ sein. Dies kann dadurch erreicht werden, dass Lampen von mindestens vier verschiedenen Vertriebsstellen stichprobenweise ausgewählt werden. Die Ergebnisse der Prüfungen müssen mit den angegebenen Toleranzwerten übereinstimmen. Wenn diese Ergebnisse nicht den Anforderungen entsprechen, müssen die Prüfprotokolle des Herstellers angefordert werden.“

Was die angegebene mittlere Lebensdauer angeht, bemerkt die Norm, dass sie nicht unbedingt der mittleren Lebensdauer aus allen Einzellampen-Lebensdauerwerten entspricht, da sich die Betriebsbedingungen in der Praxis von den bei der Lebensdauerprüfung verwendeten festgelegten Bedingungen unterscheiden. Sie kann daher nur zum Vergleich verwendet werden.

7.5.3 LED-Lampenprüfung

Wie bereits erwähnt, sind Standards und Normen für LED-Lampen gerade in der Entwicklung. Der folgende Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über die relevantesten Aktivitäten und stellt ein Beispiel für eine beschleunigte Lebensdauerprüfung vor.

US-Standards

Für LED-Lampen gibt es in den USA bereits Standards der Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), die in Europa leider aber noch nicht als allgemein anerkannt gelten. Die beiden Standards LM 79 und LM 80 enthalten Messverfahren für die Bestimmung von u.a. Lampeneffizienz, Lampenlichtstromerhalt und Lebensdauer (hier jedoch ohne Angabe zur Übertragbarkeit von Messergebnissen zur tatsächlichen Lebensdauer).

IEC 62612

Auf internationaler Ebene liegt ein Standard zu Anforderungen an die Arbeitsweise von LED-Lampen mit eingebautem Vorschaltgerät für die Allgemeinbeleuchtung im so genannten Committee Draft als Entwurf vom Juli 2009 vor (DIN IEC 62612). Laut zuständigem Bearbeiter bei der Deutschen Kommission Elektrotechnik (DKE) im DIN und VDE kann es noch ca. 3–4 Jahre dauern, bis dieser Standard veröffentlicht und damit allgemein anerkannt wird.¹⁷

Der Normentwurf definiert Begriffe, legt Anforderungen an Kennzeichnung, Prüfbedingungen, Lampenleistung, Lichtstrom, Farbeigenschaften, Lampenlebensdauer, Lichtstromverhältnis und eine Belastbarkeitsprüfung der elektronischen Vorschaltgeräte sowie Verfahren zur Messung der Lampeneigenschaften fest. Zu den Begriffen ist zu erwähnen, dass es parallel einen weiteren Normentwurf gibt (IEC 62504), der Begriffe und Definitionen für

¹⁷ Nach dem jetzigen Stand des Committee Draft wird ein Committee Draft for Voting beschlossen, der eingegangene Kommentare berücksichtigt und parallel vom zuständigen europäischen Normungsgremium (CENELEC) bearbeitet wird. Nach erfolgter Abstimmung gibt es dann einen Final Draft International Standard, bevor die endgültige Version veröffentlicht wird.

LED-Lampen und LED-Module zum Gegenstand hat. Die wichtigsten Definitionen und Anforderungen der DIN IEC 62612 werden im Folgenden kurz beschrieben (IEC 62612):

- **Lampenlebensdauer:** Betriebsdauer, während der eine komplette LED-Lampe unter genormten Prüfbedingungen mehr als einen festgelegten Wert des Anfanglichtstroms liefert (LLMF). Demnach hat eine LED-Lampe ihr Lebensende erreicht, wenn sie diesen festgelegten Wert des Anfanglichtstroms nicht mehr liefert. Die Lebensdauer wird immer zusammen mit der Ausfallrate (LSF) bekanntgegeben.
 - Der Normentwurf weist darauf hin, dass die Lampenlebensdauer normalerweise durch einer Ausfallrate von 50% (LSF_{50}) bestimmt wird und zusammen mit einem gewählten Wert für den Lampenlichtstromerhalt angegeben wird. Für Anwendungen von Endverbrauchern verwendet die Norm $LLMF_{50}$, während sie für professionelle Anwendungen den Wert $LLMF_{70}$ empfiehlt. Für Letztere empfiehlt sie sogar die Angabe der Lampenlebensdauer bei LSF_{10} .
- **Farbcode:** Die Norm definiert die Farbeigenschaften einer LED-Lampe, die weißes Licht erzeugt, durch die ähnlichste Farbtemperatur und den Farbwiedergabeindex.
- **Stabilisierungszeit:** Die Norm definiert die Stabilisierungszeit als Betriebszeit, die die LED-Lampe bis zum Erreichen des thermischen Beharrungszustandes benötigt.
- Da LED-Lampen eine sich sehr schnell entwickelnde Technologie sind, erlaubt die Norm eine Abweichung der geforderten Prüfzeit von 6.000 h auf $x \cdot h^{18}$ zum Zwecke einer Kurzzeitprüfung unter der Voraussetzung, dass die 6.000-Stunden-Prüfung parallel durchgeführt und im Zweifelsfalle das Ergebnis der langen Prüfzeit herangezogen wird.
- **Kennzeichnung:** Die Norm fordert für nichtprofessionelle Anwendungen eine Angabe des Lichtstroms, des Lampenfarbcodes (bestehend aus Farbwiedergabeindex sowie Nennwert und Bandbreite der ähnlichsten Farbtemperatur) und der Lebensdauer zusammen mit dem damit verbundenen Wert für den Lampenlichtstromerhalt auf dem Produkt und der Verpackung. Für professionelle Anwendungen sind diese und weitere Angaben zu Ausfallrate, Lichtstromverhältniskategorie, ähnlichste Farbtemperatur einschließlich Toleranzkategorien sowie Farbwiedergabeindex in den Produktunterlagen anzugeben.
- **Prüfbedingungen:** Die Anzahl zu prüfender Lampen beträgt mindestens 20 und wird vom Hersteller oder verantwortlichen Händler angegeben. Lampen, die zum Zwecke der Nachrüstung vorgesehen sind, müssen mit geeigneten Mitteln zur Kühlung ausgestattet sein. Die Lampen müssen zwar vor den Prüfungen nicht gealtert werden, aber die Messungen dürfen erst beginnen, wenn die thermische Stabilisierungszeit abgelaufen ist. Dies ist der Fall, wenn sich die Temperatur der LED-Lampe um nicht mehr

¹⁸ X ist zurzeit in Beratung.

als 5 K/h erhöht. Für die Messung des Anfangslichtstromes beträgt die thermische Stabilisierungszeit 15 min.

- Messtoleranzen: Die Leistungsaufnahme darf die angegebene Leistung um nicht mehr als 15% überschreiten, während der Lichtstrom nicht kleiner als 90% des angegebenen Wertes sein darf.
- Ähnlichste Farbtemperatur: Die Norm legt Kategorien fest, die für LED-Lampen angegeben werden müssen und in denen sich die gemessene ähnlichste Farbtemperatur bewegen muss (siehe Tabelle 22). Gemessen wird dabei ein Anfangswert sowie nach einer Lebensdauer von 25% des angegebenen Wertes bzw. nach höchstens 6.000 h.¹⁹ Die Kategorien stimmen mit einer bestimmten Mac-Adam-Ellipse und einem CCT-Wert überein, wobei die Größe der Ellipse ein Maß für die Toleranz / Abweichung einer einzelnen Lampe darstellt.

Tabelle 22 Toleranzkategorien für angegebene CCT-Werte (IEC 62612)

MacAdams ellipse type	CCT category
All measured CCTs within a 1-step ellipse	Cat 1
All measured CCTs within a 2-step ellipse	Cat 2
All measured CCTs within a 3-step ellipse	Cat 3
All measured CCTs within a 4-step ellipse	Cat 4
All measured CCTs within a 5-step ellipse	Cat 5
All measured CCTs within a 6-step ellipse	Cat 6
All measured CCTs within a 7-step ellipse	Cat 7
All measured CCTs not within a 7-step ellipse	Cat 8

- Bestimmung Lampenlebensdauer: Zur Bestimmung der Lampenlebensdauer gibt die Norm vor, dass sowohl das Verhältnis bezüglich des Lichtstromerhalts als auch bezüglich der Beständigkeit des elektronischen Vorschaltgerätes berücksichtigt werden muss.
 - Aufgrund der typischerweise langen LED-Lampenlebensdauer wird es als nicht pragmatisch angesehen, den tatsächlichen Lichtstromrückgang über die Lebensdauer zu messen. Deshalb schlägt die Norm ein Näherungsverfahren vor, welches den gemessenen Lichtstromabfall bei 25% der angegebenen Lebensdauer bzw. bei höchstens 6.000 h als Grundlage für die Bildung von Kategorien festlegt (siehe Tabelle 23). Sie empfiehlt weiterhin, den LLMF in Intervallen von 1.000 h zu messen.

¹⁹ Sprich, ab einer angegebenen Lebensdauer von 24.000 h wird höchstens 6.000 h gemessen.

- Je nachdem, bei welchem LLMF die Lebensdauer festgelegt wird, müssen die Kategorien entsprechend angegeben werden und die gemessenen Werte innerhalb dieser Kategorien liegen.

Tabelle 23 Lichtstromerhaltkategorien nach 6.000 h (IEC 62612)

Luminous flux decrease at 6 000 h as % of 0-h value	$\Delta \phi$ category
Measured flux decreased by no more than 10% of rated flux	Cat A
Measured flux decreased by no more than 20% of rated flux	Cat B
Measured flux decreased by no more than 30% of rated flux	Cat C
Measured flux decreased by no more than 40% of rated flux	Cat D
Measured flux decreased by no more than 50% of rated flux	Cat E

- Bezüglich der Beständigkeit des elektronischen Vorschaltgerätes muss dieses einer Temperaturwechsel-Schockprüfung (fünf Zyklen à 1 h bei -10°C und 1 h bei +50°C), einer Schaltprüfung der Versorgungsspannung (30 s „An“ und 30 s „Aus“ für eine Zyklenanzahl, die der Hälfte der angegebenen Lebensdauer entspricht), und einem Belastungstest bei +45°C Umgebungstemperatur unterworfen werden und danach noch 15 min weiterleuchten.

Lebensdauerprüfung

Eine besondere Schwierigkeit bei LED-Lampen ist der Nachweis der langen Lebensdauer. Hersteller geben gerne eine Lebensdauer von 50.000–100.000 h für ihre LED-Lampen an, da es bei dieser Technologie theoretisch die Möglichkeit für solche langen Lebensdauern gibt. Allerdings hängt diese eben nicht nur von der Licht gebenden Diode ab, sondern auch von der Haltbarkeit der eingebauten Elektronik. Zurzeit gibt es keine allgemein anerkannte Methode zur LED-Lampen-Lebensdauerbestimmung. Verschiedene Vorschläge existieren zwar, aber es gibt noch keine Entwicklungsrichtung. Das führt dazu, dass es keine Möglichkeit zur zertifizierten, unabhängigen Prüfung von Herstellerangaben durch Dritte gibt.

Lange Lampenlebensdauern zu testen ist nicht praktikabel, da die Tests viel zu lange dauern würden und die Produkte dann veraltet oder gar nicht mehr am Markt verfügbar wären.²⁰ Die Firma Philips hat vor diesem Hintergrund einen Vorschlag zur beschleunigten Prüfung von hohen LED-Lampen-Lebensdauern entwickelt (Philips o.J.). Als Voraussetzung gilt dabei zunächst, dass LED-Lampen genauso wie Kompaktleuchtstofflampen (aber im Gegensatz zu Glühlampen) im Laufe der Zeit an Helligkeit verlieren. Deshalb gilt es zunächst, die Lebensdauer in Zusammenhang mit diesem Lichtstromabfall zu definieren. Nach Aussagen der Industrie ist ein Lichtstromabfall von 30% (LLMF₇₀) nahe dem Maß, was das menschliche Auge

²⁰ Bei einem Schaltzyklus von 2:45 h min „An“ und 15 min „Aus“ (entspricht einem 3-Stunden-Tagesnutungszyklus) würde die Prüfung einer Lampenlebensdauer von 50.000 h etwas über 6 Jahre dauern!

als Abnahme des Lichtstroms wahrnehmen kann. Es wäre daher sinnvoll, das Ende der Lebensdauer einer Lampe bei Erreichen dieser 30% zu definieren. Darüber hinaus gibt es bereits die allgemein anerkannte Definition der mittleren Lebensdauer einer Lampe als derjenigen, bei der 50% der Lampen ausgefallen sind (siehe Kapitel 7.1). Es liegt daher nahe, eine Festlegung der Nutzlebensdauer einer Lampe in Abhängigkeit beider Parameter festzulegen (z.B. Nutzlebensdauer ist erreicht bei LSF_{50} und $LLMF_{70}$).

In seinem „Technology White Paper – Understanding LED lifetime analysis“ (Philips o.J.) hat Philips zusätzlich den Einfluss der Anschlusstemperatur und des Betriebsstroms auf die Lampenlebensdauer hervorgehoben, wobei eine niedrigere Anschlusstemperatur und ein niedrigerer Betriebsstrom zu einer höheren Lampenlebensdauer führen. Diese beiden Parameter sind vor allem für den Einbau von LED-Lampen relevant und daher eher für Lichtplaner interessant. Philips veröffentlicht daher Lebensdauerangaben für LED-Lampen als LSF_{10} / $LLMF_{70}$ und LSF_{50} / $LLMF_{70}$ zusammen mit der Abhängigkeit von Anschlusstemperatur und Betriebsstrom (siehe Abbildung 6).

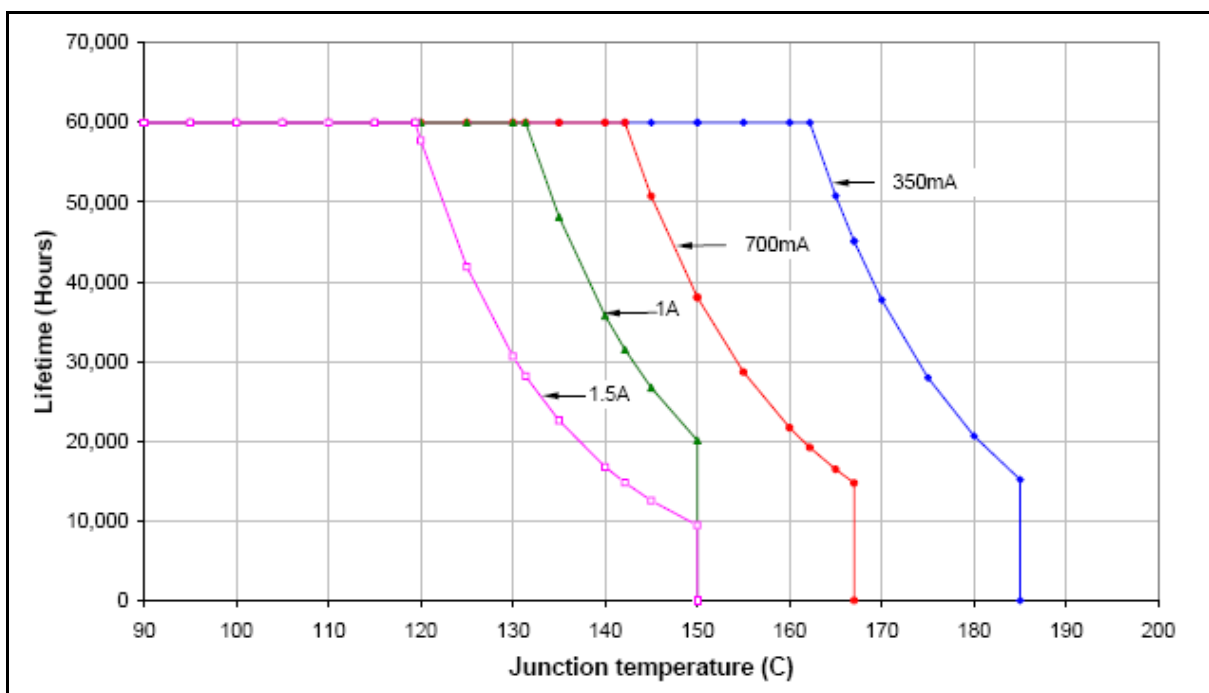


Abbildung 6 LSF_{50} / $LLMF_{70}$ Lebensdauerdaten in Abhängigkeit von Betriebsstrom und Temperatur für Philips K2 LED (Philips o.J.)

Das Papier enthält weiterhin einen Vorschlag zur Voraussage von LED-Lampen-Lebensdauern, der auf der Anwendung der Weibull-Verteilungsfunktion mit empirischen Daten beruht – einer allgemein anerkannten statistischen Methode. Dabei werden die gemessenen Daten extrapoliert, um das Verhalten der Lampen über einen längeren Zeitraum als den Messzeitraum vorauszusagen. Nach Aussage von Philips ist es mit aktuellen Messdaten auf diese

Weise möglich, hinreichend genaue Voraussagen für bis zu 60.000 h zu machen. Wie oben bereits erwähnt ist dies jedoch nur einer von mehreren zurzeit diskutierten Vorschlägen.

7.6 Qualitätstests

Wie bereits beschrieben, gibt es bei Kompaktleuchtstoff- und LED-Lampen sehr große Qualitätsunterschiede. Deshalb sind Qualitätstests für Verbraucher ein wichtiges Instrument zur Erleichterung der Kaufentscheidung. Aufgrund der sehr hohen zu prüfenden Lebensdauern sind bisher jedoch nur wenig ausführliche Tests veröffentlicht worden. In diesem Kapitel werden die wichtigsten Quellen für Produkttests und Kaufempfehlungen vorgestellt und beispielhafte Ergebnisse dargestellt.

7.6.1 Stiftung Warentest

Die Stiftung Warentest hat in ihrer Ausgabe 04/2010 den letzten Test zu Kompaktleuchtstofflampen veröffentlicht. Darüber hinaus wurden in der Ausgabe 11/2009 Ergebnisse eines ersten LED-Lampentests veröffentlicht.

Kompaktleuchtstofflampen-Test

Der letzte Kompaktleuchtstofflampen-Test der Stiftung Warentest in test 4/2010 wurde an 28 Lampen durchgeführt. Darunter waren 18 Lampen mit großem E27-Sockel zwischen 10 und 20 Watt, 7 Lampen mit kleinem E14-Sockel zwischen 7 und 11 Watt sowie 3 Reflektorlampen. Getestete Formen erstreckten sich von den klassischen gebogenen Röhren („2U- bzw. 3U-Stick“), über Lampen mit glühlampenähnlichen Hüllkolben („Globe“, „Mini-Globe“) bis hin zu kerzenförmigen Lampen.

In die Bewertung flossen zu 40% lichttechnische Eigenschaften, zu 25% Umwelt- und Gesundheitseigenschaften und zu 5% die Deklaration der Lampen ein. Zusätzlich ging die Dauerprüfung (Nutzlebensdauer, Brennstunden bis Totalausfall und Schaltfestigkeit) mit 30% in die Bewertung ein. Bei besonders schlechten Eigenschaften, die durch positive andere Eigenschaften nicht aufgewogen werden, können Urteile außerdem abgewertet worden sein. Die einzelnen Abwertungen sind im veröffentlichten Test beschrieben. Folgende Prüfungen wurden durchgeführt:

- **Nutzlebensdauer:** Nach EN 60969 wurden 5 Lampen mit einem langen Schaltzyklus (165 min „An“, 15 min „Aus“) über mehr als 6.000 h getestet und die Brenndauer bis 20% Lichtstromabnahme und bis zum Totalausfall ermittelt.
- **Schaltfestigkeit:** Je 3 Lampen wurden mit einem kurzen Schaltzyklus (0,5 min „An“, 4,5 min „Aus“) betrieben. Frühausfälle wurden erfasst (< 2.500 Schaltzyklen oder < 5% des angegeben Wertes).
- **Farbwiedergabe:** Es wurde der Farbwiedergabeindex R_1 bis R_9 nach DIN 6169 ermittelt.

- Startzeit bis zum Aufleuchten wurde gemessen sowie die Zeit bis zum Erreichen von 50% bzw. 80% der vollen Helligkeit (25°C, 100 h Einbrennzeit). Außerdem wurde die Helligkeit bei -10°C, +10°C und +50°C gemessen.
- Energieeffizienz: ermittelt anhand von Lichtstrom und Leistungsaufnahme als Mittelwert über die Nutzlebensdauer.
- Der Quecksilbergehalt der einzelnen Lampen wurde mit dem gemessenen Quecksilbergehalt, der gemessenen Nutzlebensdauer sowie einer Recyclingquote von 10% berechnet und auf die in der Nutzlebensdauer erzeugte Gesamtlichtmenge bezogen.
- Der Primärenergieaufwand für Herstellung, Betrieb über die Nutzlebensdauer und Entsorgung wurde mit der Ökobilanz-Datenbank Ecoinvent, Version 2.1, und einem Primärenergiefaktor von 2,5 für elektrischen Strom berechnet und auf die in der Nutzlebensdauer erzeugte Gesamtlichtmenge bezogen.
- Als weitere Umwelteigenschaften wurden der Geruch und die Konzentration leichtflüchtiger organischer Substanzen (VOC) untersucht.
- Deklaration: Erfassung der Unterschiede zwischen den angegebenen Werten auf dem Energieetikett und den gemessenen Werten bezüglich Leistungsaufnahme, Lebensdauer, Lichtstrom, Schaltfestigkeit sowie die Richtigkeit der Energiekennzeichnung.

Insgesamt erhielten nur 3 von 28 Lampen die Note „gut“, 5 waren „befriedigend“, 14 waren „ausreichend“ und 6 waren „mangelhaft“. Das heißt, dass insgesamt die getesteten Lampen in der Mehrheit eine nur befriedigende Qualität aufwiesen. Ausgewählte Ergebniswerte des Kompaktleuchtstofflampen-Tests sind in Tabelle 24 und Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 24 Kenndaten Kompaktleuchtstofflampen – Teil 1 (Quelle: eigene Zusammenstellung aus test 4/2010) (Stiftung Warentest 4/2010)

	Phillips Tornado Dimmable 20 W	Megaman Dimmerable 18 W	Phillips G120 Soft- white 20 W	Ikea / Sparsam 20 W	Osram Dulux EL Dimmable 20 W	Phillips T60 Soft- tone 12 W	Ikea / Sparsam 2er Pack 11 W	Lightme Energie- sparlampe 11 W	Osram Duluxstar Mini Twist 11 W
Mittlerer Preis [EUR] ca.	20,00	21,50	10,00	9,00	28,00	7,50	2,75	2,75	5,50
Leistungsaufn. deklariert	20	18	20	20	20	12	11	11	11
Leistungsaufn. gemessen	20,6	16,9	18,9	20,5	19,3	12,1	11,2	10,2	11,4
Leistungsaufn. einer vergleich- bar hellen Glüh- lampe [W]	105	76	94	79	89	51	47	47	60
Deklarierte Le- bensdauer [h]	8.000	10.000	8.000	10.000	15.000	8.000	10.000	6.000	6.000
Brennstd. [h] während der Nutzungsphase (bis Totalaus- fall)	> 6.000	> 6.000	> 6.000	> 6.000	> 6.000	> 6.000	> 6.000	5.816	> 6.000
Nutzlebens- dauer [h]	> 6.000	> 6.000	> 6.000	2.301	> 6.000	4.899	5.776	3.819	> 6.000
Überlebte Schaltzyklen	> 70.000	> 70.000	7.085	49.894	> 70.000	53.347	> 70.000	10.333	6.818
Mittlerer Licht- strom [lm] wäh- rend Nutzungs- phasen	1.327	910	1.171	962	1.097	568	508	513	690
Mittlere Licht- ausbeute [lm/W] während Nutzungsphase	64,4	53,8	62,0	46,9	56,8	46,9	45,4	50,3	60,5

Tabelle 25 Kenndaten Kompaktleuchtstofflampen – Teil 2 (Quelle: eigene Zusammenstellung aus test 4/2010) (Stiftung Warentest 4/2010)

	Megaman Sensible Classic 11 W	Obi / CMI Energy Saver 11 W	Hornbach / Flair energy 20 W	Osram Duluxstgar mini Globe 11 W	Müller-Licht Energiesparlampe 11 W	Isotronic Premium Röhre 2U 11 W	Real / Tip Energiesparlampe 10 W	Müller-Licht Mini Spiral 11 W	Kaufland / K-Classic Energiesparlampe 11 W
Mittlerer Preis [EUR] ca.	4,00	1,99	4,50	8,00	3,45	2,99	2,99	3,75	2,99
Leistungsaufnahme deklariert	11	11	20	11	11	11	10	11	11
Leistungsaufnahme gemessen	11,1	10,1	18,7	12,2	10,7	9,5	10,7	11,4	11,1
Leistungsaufnahme einer vergleichbar hellen Glühlampe in Watt	45	49	68	55	50	44	50	49	48
Deklarierte Lebensdauer [h]	10.000	6.000	8.000	6.000	10.000	15.000	k.A.	10.000	10.000
Brennstunden [h] während der Nutzungsphase (bis Totalausfall)	> 6.000	3.899	5.881	2.931	3.960	3.650	4.759	4.562	2.919
Nutzlebensdauer [h]	4371	3435	2666	2083	2011	3650	4093	1148	923
Überlebte Schaltzyklen	> 70.000	4.858	8.047	8.132	4.200	17.142	7.184	31.541	5.042
Mittlerer Lichtstrom [lm] während der Nutzungsphasen	476	529	804	623	549	467	545	533	516
Mittlere Lichtausbeute [lm/W] während der Nutzungsphase	42,9	52,4	43,0	51,1	51,3	49,2	50,9	46,8	46,5

LED-Lampen-Test

Der veröffentlichte Schnelltest von Stiftung Warentest wurde exemplarisch an 14 ausgewählten LED-Lampen mit verschiedenen Sockeln durchgeführt. Insgesamt wurden vier Lampen mit E27-Sockel getestet, die sich als Glühlampen-Ersatz eignen (teilweise jedoch nur als Spot-Lampen). Weitere zwei Lampen mit E14-Sockel, fünf Hochvolt-Reflektorlampen mit GU10-Sockel, zwei Niedrigvolt-Reflektorlampen mit GU5.3-Stiftsockel und eine Niedrigvolt-Reflektorlampe mit G4-Sockel wurden geprüft. Die getesteten LED-Lampen hatten eine Leistungsaufnahme von nur 1,2–6,5 W und hatten eine Lichtausbeute von 48 lm/W. Die Anschaffungskosten liegen bei 10–50 EUR (Stiftung Warentest, test 11/2009).

Es fand keine Gesamtbewertung der Lampen statt. Gemessen und bewertet wurden der Stromverbrauch gegenüber vergleichbar hellen, normalen beziehungsweise Reflektor-Glühlampen, die Farbwiedergabe sowie die Abweichung der gemessenen von den deklarierten Werte für Leistungsaufnahme und Lichtstrom. Die Lebensdauer konnte im Rahmen des Schnelltests nur eingeschränkt bis 3.500 h überprüft werden (bei einigen Lampen sogar nur bis 750 h). Der Lichtstrom wurde im Neuzustand mit einem Drehspiegel-Goniofotometer ermittelt.

Ausgewählte Ergebniswerte des LED-Lampen-Tests sind in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26 Kenndaten LED-Lampen (Stiftung Warentest 11/2009)

Typ	Mittlerer Preis [EUR] ca.	Leistungsaufnahme deklariert [W]	Leistungsaufnahme gemessen [W]	Leistungsaufnahme einer vergleichbar hellen Glühlampe [W]	Deklarierte Lebensdauer [h]	Mittlere Lichtausbeute [lm/W]
Bioledex LED-Birne, ww	30,0	8,0	8,6	k.A.	55.000	77
Lemnis lighting PharoX LED Bulb	34,9	4,0	4,2	26	50.000	38
Lumitronix High Power LED Birne, warm-weiß	27,9	3,0	4,3		14.600	31
Lunartec Flüssigkeitsgekühlte LED-Kompaktleuchtstofflampe, warmweiß	16,9	3,5	4,3	k.A.	k.A.	21
Osram Parathom R50	39,99	6,0	5,7	23	15.000	21
Philips Master LED	46,24	7,0	6,5	28	45.000	26

7.6.2 EcoTopTen

Die Verbraucherinformationskampagne EcoTopTen (www.ecotopten.de) hat im Mai 2008 ebenfalls eine Auswahl an bewerteten Kompaktleuchtstofflampen veröffentlicht, die als Kaufentscheidung herangezogen werden kann. Mindestvoraussetzung für die Aufnahme in die EcoTopTen-Marktübersicht ist die Note „gut“ bei der technischen Prüfung in einem Qualitätstest der Stiftung Warentest oder der Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz (SAFE).

Die Gesamtbewertung ergibt sich aus ökologischen Kriterien (Lichtausbeute und Quecksilberemission) sowie aus ökonomischen Kriterien (jährliche Gesamtkosten), die gleichrangig mit jeweils 50% gewichtet werden. Die Produktübersicht der Lampen ist entsprechend ihrer Leistungsaufnahme in drei Kategorien eingeteilt:

- 7–8 W (entspricht ungefähr einer 40-Watt-Glühlampe)
- 11 W (entspricht ungefähr einer 60-Watt-Glühlampe)

- 14–20 W (entspricht ungefähr einer 75-Watt-Glühlampe)

In jeder Kategorie sind die Lampenmodelle entsprechend ihrem Abschneiden bei der EcoTopTen-Gesamtbewertung gelistet.

Alle ausgewählten Kompaktleuchtstofflampen sind mit der Energieeffizienzklasse A ausgezeichnet und damit besonders effizient, da sie rund 80% weniger Strom als konventionelle Glühlampen verbrauchen. Dieser geringe Stromverbrauch spiegelt sich auch bei den Kosten wider, da der zunächst deutlich höhere Anschaffungspreis von Kompaktleuchtstofflampen durch die Einsparungen beim Verbrauch und die lange Lebensdauer wieder kompensiert wird. Laut EcoTopTen betragen die jährlichen Gesamtkosten daher zum Teil nur ein Viertel der jährlichen Kosten konventioneller Glühlampen.

7.6.3 topten.ch (Stand Ende 2009)

Die unter Beteiligung der schweizerischen Agentur für Energieeffizienz (SAFE) erstellte Internetseite www.topten.ch bietet auch eine Auswahl an getesteten, qualitativ hochwertigen, umweltfreundlichen und kostengünstigen Kompaktleuchtstoff- und LED-Lampen. Die Auswahl der Produkte stützt sich auf Tests von bewährten Instituten (z.B. Stiftung Warentest) oder auf nationale und internationale Warendecklarationen, Labels oder genormte Herstellerangaben. Teilweise werden eigene Untersuchungen durchgeführt (siehe z.B. Kapitel 7.4 zum LED-Lampen-Test).

Kompaktleuchtstofflampen

Getestete und ausgewählte Kompaktleuchtstofflampen sind auf topten.ch in 11 verschiedene Kategorien unterteilt (je nach Sockelgröße und Lampenform mit / ohne Hüllkolben bzw. Kerze oder Spotlampe). Die Lampen zeichnen sich dabei u.a. durch folgende Kriterien aus:

- Effizienzklasse A
- Lange Lebensdauer: mindestens 10.000 Betriebsstunden
- Hohe Schaltfestigkeit: mindestens 75.000
- Gute Farbwiedergabe: Farbwiedergabeindex 80 (Glühlampen: 100)
- Produktdeklaration: Leistung, Lichtstrom, Lebensdauer, Effizienzklasse, Abmessungen, Lichtfarbe, Maximalmenge schädlicher Stoffe (Richtlinie RoHS), Produktionsstandort

Veröffentlicht werden zusammen mit Angaben zu den Kriterien auch eingesparte Kosten im Vergleich zu einer konventionellen Glühlampe.

LED-Lampen

In der Produktkategorie LED-Spots werden zurzeit auf topten.ch nur drei Produkte empfohlen. Zusätzlich wurden Leuchten mit integrierten LED-Lampen getestet, von denen elf Produkte empfohlen werden. Grundlage dieser Produktempfehlungen ist eine Messung durch SAFE im Lichtmesslabor an der HTW Chur bezüglich Energieeffizienz, Lichtmenge

und Lichtqualität. Von den 16 getesteten Leseleuchten erhielten lediglich 2 eine gute Note, während 6 Produkte mit „genügend“ abschnitten und 8 „ungenügend“ waren. Letztere gaben so wenig Licht ab, dass sie für Lesezwecke nicht genutzt werden können. Auch die Farbwiedergabe war beim größten Teil der Leseleuchten ungenügend.

Von den 12 getesteten Spotlampen sind 3 gut und den vergleichbaren Kompaktleuchtstofflampenspots sowohl in Bezug auf Energieeffizienz als auch in Bezug auf Lichtqualität klar überlegen. 2 LED-Spots erhalten genügende Noten, die restlichen 7 Produkte sind ungenügend. Wie bei den Leseleuchten scheiterten die meisten LED-Spots an der geringen Lichtmenge bzw. der schlechten Farbwiedergabe. Als Fazit der Untersuchung ergab sich, dass LED-Lampen mit guter Lichtqualität und höchster Energieeffizienz bereits im Handel erhältlich, die guten Produkte aber noch sehr teuer sind.

Für die Auswahl der empfohlenen LED-Spots und -Leseleuchten wurden folgende Kriterien herangezogen:

- Mittlere Beleuchtungsstärke im Lichtkegel (Messabstand: 80 cm): mindestens 500 Lux
- Durchmesser des Lichtkegels (Messabstand: 80 cm): mindestens 30 cm
- Energieverbrauch in kWh/Jahr (normiert auf 100 Lux): max. 10 kWh/Jahr
- Farbtemperatur: max. 6.000°K (Tageslichtweiß)
- Farbwiedergabe: mindestens genügend

8 Konsumtrends

Durch die in Kraft getretenen EU-weiten Anforderungen an die Energieeffizienz von Lampen werden herkömmliche Glühlampen schrittweise vom Markt genommen (siehe Kapitel 5.1). Dadurch ergibt sich für Verbraucher die Notwendigkeit, nach Alternativen Ausschau zu halten. Hier bieten sich zurzeit Kompaktleuchtstofflampen an, da sie preislich erschwinglich und technologisch so ausgereift sind, dass auch qualitativ hochwertige Produkte am Markt zu finden sind. Je nachdem, wofür die Lampen eingesetzt werden sollen, sind entsprechende Modelle zu wählen: So können Kompaktleuchtstofflampen mittlerweile auch gedimmt werden oder als Spots zur Akzentbeleuchtung zum Einsatz kommen. Auch für den Einsatz in Treppenhäusern und Fluren, wo häufiges An- und Ausschalten vorkommt, und für den Einsatz im Außenbereich sind gute Produkte vorhanden.

Kompaktleuchtstofflampen waren anfangs von schlechter Qualität (lange Anlaufzeiten, Flackern, früher Ausfall), und die Verbraucher freundeten sich nur langsam mit ihnen an. Die nun verfügbaren unterschiedlichsten Formen und Lichtfarben berücksichtigen jedoch auch ästhetische Aspekte, und die Lampen finden mehr und mehr Einzug in die Haushalte. Zudem hat sich ihre Qualität deutlich verbessert.

Der technologische Trend geht jedoch eindeutig in Richtung LED-Lampen: Sie haben den Vorteil, dass sie quecksilberfrei sind, eine bessere Farbwiedergabe haben können, sofort starten und volle Leuchtkraft entfalten sowie eine sehr hohe Effizienz und Lebensdauer haben. Im Moment sind diese Lampen jedoch noch verhältnismäßig teuer und erfüllen noch nicht jeden Beleuchtungszweck – Spots für Akzentbeleuchtung sind eher zu finden als Lampen für zentrale Lichtquellen zur vollen Raumbeleuchtung. Außerdem haben LED-Lampen noch mit technischen Schwierigkeiten zu kämpfen, da der Erhalt der Leuchtkraft über die gesamte Lebensdauer nicht immer erreicht wird und manche Lampen aufgrund von Schwächen in der Elektronik sehr früh ausfallen.

Kurz- und mittelfristig werden sich daher wohl beide Technologien am Markt behaupten und jeweils für bestimmte Anwendungsbereiche Vor- und Nachteile aufweisen. Langfristig stehen der Entwicklung von neuen alternativen Beleuchtungskonzepten in Haushalten viele Möglichkeiten offen: So wird es wahrscheinlich eine Lösung von der herkömmlichen – durch die Glühlampe bestimmten – Lampenfassung geben und eine Beleuchtung über Flächen eingeführt werden. Das wird durch so genannte OLEDs erreicht, die es ermöglichen, formbare Materialien als Lichtquellen zu nutzen (siehe Kapitel 3.1).

9 Nutzenanalyse

Im Folgenden wird der Nutzen analysiert, den Lampen für den Hausgebrauch stiften. Dabei wird unterschieden zwischen Gebrauchsnutzen, symbolischem Nutzen und gesellschaftlichem Nutzen.

9.1 Gebrauchsnutzen

Der Gebrauchsnutzen einer Lampe erscheint zunächst selbstverständlich: Licht erzeugen. Licht ist im Haushalt zu einer Notwendigkeit geworden: Dort wo in Zimmer, Küche oder Keller gearbeitet wird, müssen auch gute Lichtverhältnisse herrschen. Aber auch die Gestaltung der Wohnatmosphäre mit Hilfe von Lichtquellen ist zur Selbstverständlichkeit geworden.

Licht ist jedoch nicht gleich Licht. Deshalb ist der Gebrauchsnutzen einer Lampe zu spezifizieren: Je nachdem, welche Beleuchtungsanforderung zu erfüllen ist, kann eine Lampe einen unterschiedlichen Nutzen haben. So kann eine Schreibtischlampe zum Beispiel aufgrund ihrer guten Farbwiedergabe, ihres Tageslichtspektrums und einer geringen Wärmeentwicklung Vorteile haben. Eine Deckenlampe hingegen kann aufgrund ihrer Dimmbarkeit an die Helligkeitsbedürfnisse im Raum angepasst werden.

Lampen sind ein Alltagsprodukt und überall vorhanden und verfügbar, weshalb sie einen hohen Gebrauchsnutzen haben. Wo bei Glühlampen jedoch früher nur zwischen unterschiedlichen Wattzahlen entschieden werden musste, muss heute ein an den jeweiligen Zweck angepasstes Produkt ausgewählt werden. Andernfalls schwindet der Gebrauchs-

nutzen, da Aspekte wie gute Funktionalität (z.B. nicht zu dunkel, schnell ausreichend hell, gute Farbwiedergabe) oder Haltbarkeit und damit verbundene geringe Instandhaltung nicht gewährleistet sind.

Da Anforderungen an die Energieeffizienz und teilweise auch an die Qualität der lichttechnischen Eigenschaften von Lampen mittlerweile gesetzlich festgelegt sind, ist ein gewisser Mindest-Gebrauchsnutzen gewährleistet. Auch die dadurch entstandene Information der Verbraucher zu einzelnen Aspekten wie Lebensdauer, Leistungsaufnahme und Effizienz ist dem Gebrauchsnutzen dienlich. Deutlich erhöht würde er, wenn Verbraucher zusätzlich über ein Umweltkennzeichen die Möglichkeit hätten, besonders umweltfreundliche und qualitativ hochwertige Produkte zu identifizieren.

9.2 Symbolischer Nutzen

Der symbolische Nutzen war bei Glühlampen vergleichsweise gering, da sich mit diesem Produkt keinerlei Prestigeaspekte, Designvarianten oder der Status bestimmen ließen. Sicherlich gab es vereinzelt Bemühungen, die schlichte Glühlampe in Szene zu setzen, im Allgemeinen war sie jedoch hauptsächlich dazu bestimmt, Licht zu erzeugen.

Mittlerweile hat sich die Stellung der Lampe vielleicht etwas verändert: Über den Besitz des neuesten LED-Spots für die Akzentbeleuchtung im heimischen Wohnzimmer kann zum Beispiel durchaus Prestige und Status signalisiert werden. Außerdem kann mit dem Einsatz einer ästhetisch ansprechenden Kompaktleuchtstofflampe in Glühlampen- oder Kerzenform auch eine Beleuchtung mit Geschmack vorgewiesen werden. Stellt man gleichzeitig die damit verbundenen ökologischen und finanziellen Vorteile in den Vordergrund, kann man sich als gesellschaftlich engagiert präsentieren und verfolgt somit durchaus auch einen symbolischen Nutzen.

Insgesamt ist der Einsatz von energieeffizienter Beleuchtung heutzutage eindeutig als Beitrag zu einem gesellschaftlichen (Klima-)Wandel zu werten. Somit kann über den Einsatz von neuen Beleuchtungstechnologien Kompetenz, Vorsorge für zukünftige Generationen und Gemeinschaftspflege mit dem Erfüllen der Bedürfnisse nach individueller Lichtgestaltung vereinbart werden.

9.3 Gesellschaftlicher Nutzen

Die gesetzliche Förderung von effizienter Beleuchtung bedient das gesellschaftliche Ziel der Reduktion von Treibhausgasen und damit auch des Klimawandels. Durch den Einsatz von Kompaktleuchtstoff- und LED-Lampen werden diese übergeordneten gesellschaftlichen Ziele unterstützt. LED-Lampen passen sich zusätzlich in das umweltpolitische Ziel der Reduktion von Schwermetallen im Abfallstrom ein, da sie kein Quecksilber enthalten.

Darüber hinaus befriedigen Lampen natürlich das Grundbedürfnis der Gesellschaft nach einem gut eingerichteten Wohnraum, der sowohl funktional ist als auch der individuellen Ge-

staltungsfreiheit genügend Platz lässt. Da heutzutage Aktivitäten nicht mehr nur bei Tageslicht ausgeführt werden, ist die Bereitstellung von ausreichender Beleuchtung in der Arbeits- und Privatwelt unerlässlich. Daher erfüllen Lampen einen sehr hohen gesellschaftlichen Nutzen.

10 Lebenszyklusbetrachtungen

Anhand einer orientierenden Ökobilanz sowie der Analyse der Lebenszykluskosten soll ein Eindruck über Umweltauswirkungen und Lebenszykluskosten von Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen ermittelt werden. Als Vergleichsgrundlage wird für einzelne Aspekte die noch weit verbreitete Glühlampe herangezogen.

10.1 Orientierende Ökobilanz

Im Folgenden werden die Ergebnisse einer orientierenden Ökobilanz zu Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen dargestellt. Daten zur Herstellung und Entsorgung der Lampen wurden der EuP-Studie (EuP 2009a/b) entnommen, die im Rahmen der Aktivitäten zur EU-Ökodesign-Richtlinie für energiebetriebene Produkte erstellt wurde (siehe Kapitel 5). Zur Berechnung der Nutzungsphase wurden diese Daten noch mit Angaben zum deutschen Strommix verknüpft.

10.1.1 Funktionelle Einheit

Die der orientierenden Ökobilanz zugrunde liegende funktionelle Einheit ist die jährliche Nutzung einer Lampe für die Allgemeinbeleuchtung in einem Zwei-Personen-Haushalt. In Tabelle 27 sind die untersuchten Lampentypen genauer spezifiziert. Die Zahlen beruhen auf einer statistisch nicht repräsentativen Datenrecherche im Internet und in der Literatur. Daher können die dargestellten Ergebnisse nur zu einer ersten Orientierung herangezogen werden und stellen Näherungswerte dar. Je Lampentyp wurden zwei als gängig erachtete Lampenleistungen ausgewählt.

Tabelle 27 Spezifikation der Lampentypen (Quelle: eigene Recherche)

Lampentyp	Lampenleistung [W]	Lebensdauer [h]	Lichtausbeute [lm/W]	Lichtstrom [lm]	Preis ²¹ [EUR]
Kompaktleuchtstofflampe	8	10.100	40	330	7,30
Kompaktleuchtstofflampe	11	11.500	45	428	9,20
LED-Lampe	3	14.600	31	140	27,90
LED-Lampe	7	45.000	26	155	46,20
Glühlampe	40	1.000	10	400	0,50
Glühlampe	60	1.000	11	685	0,50

Für die orientierende Ökobilanz wird jedoch angenommen, dass die unterschiedlichen Lampenleistungen der einzelnen in obiger Tabelle dargestellten Lampentypen in Bezug auf die grundsätzliche Einschätzung der Umweltauswirkungen nicht signifikant sind. Vor diesem Hintergrund werden die Umweltauswirkungen auf Basis eines jeweiligen durchschnittlichen Lampentyps bilanziert. Herangezogen wurden dafür eine Kompaktleuchtstofflampe mit einer Leistung von 11 Watt, eine LED-Lampe mit 7 Watt sowie eine 60-Watt-Glühbirne.

10.1.2 Systemgrenzen

Folgende Teilprozesse werden bei der orientierenden Ökobilanz berücksichtigt:

- Herstellung einer Kompaktleuchtstoff- bzw. LED-Lampe,
- Nutzung der Lampe im privaten Zwei-Personen Haushalt über ein Jahr,
- Entsorgung.

Herstellung

Grundlage für die Darstellung der Umweltauswirkungen durch die Herstellung der Lampen bildet die EuP-Studie zu Haushaltsbeleuchtung (EuP 2009a/b), die die Materialzusammensetzung und die daraus berechneten Umweltauswirkungen von Lampen beinhaltet. Dabei ist davon auszugehen, dass diese Daten typisch sind für marktdurchschnittliche Lampen und die derzeit eingesetzten Gerätetechnologien widerspiegeln. Für die orientierende Ökobilanz wird daher bezüglich der Herstellung nicht nach den in Tabelle 27 aufgeführten unterschiedlichen Leistungsaufnahmen unterschieden.

²¹ Der angenommene Preis ist ein gemittelter Wert von derzeit am Markt befindlichen Geräten. Genauere Spezifikation erfolgt im Kapitel Investitionskosten.

Nutzung

Für die Ermittlung der Umweltauswirkungen in der Nutzungsphase muss zunächst der Energieverbrauch der Lampen ermittelt werden. Dieser wurde für Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen ermittelt, die derzeit am Markt erhältlich sind. Die Daten stammen aus Tests der Stiftung Warentest (test 11/2009, Spezial Energie 2009), aus Messberichten der Schweizer Agentur für Energieeffizienz (SAFE 2009) sowie aus Herstellerangaben.

Tabelle 28 Stromverbrauch unterschiedlicher Lampentypen bezogen auf die gesamte Lebensdauer

Lampentyp	Leistungsaufnahme [W]	Brennstunden [h]	Stromverbrauch [kWh]
Kompaktleuchtstofflampe	11	11.500	126,5
LED-Lampe	7	45.000	175,0
Glühlampe	60	1.000	60,0

Entsorgung

Seit dem 24. März 2006 schreibt das Elektro- und Elektronikgerätegesetz²² (Umsetzung der EU-Richtlinien 2002/96/EG²³ und 2002/95/EG²⁴ in deutsches Recht) die kostenlose Rücknahme von Altgeräten vor. Dies bedeutet konkret, dass alle Lampen außer Glühlampen nicht im Restmüll entsorgt werden dürfen, sondern kostenfrei bei den jeweiligen Sammelstellen abgegeben sind. Daher ist von einer Entsorgung über Recyclingkreisläufe auszugehen, durch die ein gewisser Materialanteil in neue Fertigungsprozesse rückgeführt werden kann. Rechnerisch werden deshalb für solche Recyclingprozesse Gutschriften ausgestellt, die mit den Umweltauswirkungen der Entsorgung verrechnet werden.

10.1.3 Betrachtete Wirkungskategorien

Folgende Wirkungskategorien werden in der orientierenden Ökobilanz betrachtet (Erläuterungen zu den Wirkungskategorien siehe Anhang):

- Kumulierter Energieaufwand (KEA),
- Treibhauspotenzial (GWP),
- Versauerungspotenzial (AP).

²² Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten, BGBl. 2005, Teil I, Nr. 17 (23.05.2005).

²³ 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.

²⁴ 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.

Wie bereits erwähnt wurden die Wirkungskategorien in der Herstellungs- und Entsorgungsphase den Vorstudien im Rahmen der Ecodesign-Richtlinie entnommen. Die nachfolgenden Tabellen geben die Ergebnisse der betrachteten Wirkungskategorien an, unterteilt in die jeweiligen Lebensphasen der Lampen.

Tabelle 29 gibt die Ergebnisse der betrachteten Wirkungskategorien einer Kompaktleuchtstofflampe bezogen auf die gesamte Lebensdauer an. Die Nullwerte in der Entsorgungsphase stehen nicht dafür, dass keine Daten ermittelt werden konnten, sie sind vielmehr darauf zurückzuführen, dass ca. 95% des Metalls und Glases recycelt werden, und sich dadurch der Aufwand für die Entsorgung mit den Gutschriften für das Recycling aufhebt. Das liegt unter anderem daran, dass es für Leuchtstofflampen bereits gut etablierte spezifische Recyclingkreisläufe gibt.

Tabelle 29 Absolute Ergebnisse der Umweltauswirkungen einer Kompaktleuchtstofflampe in den jeweiligen Lebensphasen bezogen auf die gesamte Lebensdauer

	KEA [MJ]	GWP [kg CO ₂ eq.]	AP [g SO ₂ eq.]
Herstellung	65 (4%)	6 (6%)	17 (12%)
Nutzung	1.567 (96%)	90 (94%)	123 (88%)
Entsorgung	0	0	0
Gesamt	1.632	96	140

Wie aus der Tabelle hervorgeht, trägt hauptsächlich die Nutzungsphase zu den Umweltauswirkungen bei. Der kumulierte Energieaufwand in der Nutzungsphase hat einen Anteil von 96% an der Gesamtbelastung, beim Treibhauspotenzial sind es 94%. Auch beim Versauerungspotenzial werden 88% während der Nutzungsphase verursacht. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch die LCA-Studie von Osram (siehe Kapitel 4.1.1). Laut deren Berechnungen werden beispielsweise weniger als 2% des kumulierten Energieaufwands für die Herstellungsphase benötigt. Die in Tabelle 29 dargestellten 4% liegen damit in der gleichen Größenordnung.

Die Umweltauswirkungen der LED-Lampen sind in Tabelle 30 auf die gesamte Lebensdauer bezogen dargestellt.

Tabelle 30 Absolute Ergebnisse der Umweltauswirkungen einer LED-Lampe in den jeweiligen Lebensphasen bezogen auf die gesamte Lebensdauer

	KEA [MJ]	GWP [kg CO ₂ eq.]	AP [g SO ₂ eq.]
Herstellung	73 (3%)	6 (4,5%)	20 (10%)
Nutzung	2.168 (96%)	124 (95%)	171 (89%)
Entsorgung	12 (1%)	1 (0,5%)	2 (1%)
Gesamt	2.253	131	193

Auch bei den LED-Lampen trägt hauptsächlich die Nutzungsphase zu den Umweltbelastungen bei. Beim kumulierten Energieaufwand und beim Treibhauspotenzial sind es ca. 95%, beim Versauerungspotenzial ca. 90%. Die Entsorgung geht hier zwar mit einem geringen Anteil in die Berechnung ein, dieser liegt jedoch nur bei ca. 1%. Im Gegensatz zu Kompaktleuchtstofflampen ist bei LED-Lampen davon auszugehen, dass noch keine vergleichbar gut etablierten spezifischen Recyclingkreisläufe bestehen, weshalb die Gutschriften nicht ganz die Umweltauswirkungen der Entsorgung aufwiegen.

Um die drei Lampentypen (Kompaktleuchtstofflampe, LED-Lampe und Glühlampe) besser vergleichen zu können, muss jedoch die jeweilige Lebensdauer mitbetrachtet werden. Daher werden in Tabelle 31 die jährlichen Umweltauswirkungen einer 60-Watt-Glühlampe der 11-Watt-Kompaktleuchtstofflampe und der LED-Lampe mit einer Leistung von 7 Watt gegenübergestellt.

Tabelle 31 Jährliche Umweltauswirkungen der Lampentypen im Vergleich

	KEA [MJ]	GWP [kg CO ₂ eq.]	AP [g SO ₂ eq.]
Herstellung Glühlampe	53	5	12
Herstellung Kompaktleuchtstofflampe	6	1	1
Herstellung LED-Lampe	2	0	0
Nutzung Glühlampe	743	42	58
Nutzung Kompaktleuchtstofflampe	136	8	11
Nutzung LED-Lampe	48	3	4
Entsorgung Glühlampe	1	0	0
Entsorgung Kompaktleuchtstofflampe	0	0	0
Entsorgung LED-Lampe	0	0	0
Gesamt Glühlampe	797	47	70
Gesamt Kompaktleuchtstofflampe	142	8	12
Gesamt LED-Lampe	50	3	4

Durch die vergleichsweise kurze Lebensdauer der Glühlampe (ca. 1 Jahr) sind ihre Umweltauswirkungen deutlich höher als die der Kompaktleuchtstofflampe und der LED-Lampe. Insbesondere in der Herstellungs- und Nutzungsphase sind die Unterschiede signifikant. Die Herstellung der Glühlampe trägt z.B. mit 12 g SO₂-Äquivalenten zum Versauerungspotenzial bei, die Herstellung der Kompaktleuchtstofflampe hingegen nur mit 2 g und die Herstellung der LED-Lampe mit 1 g SO₂-Äquivalenten. Auch in der Nutzungsphase nimmt die Glühlampe mit 58 g SO₂-Äquivalenten den größten Anteil am Versauerungspotenzial ein, gefolgt von der Kompaktleuchtstofflampe mit 11 g und der LED-Lampe mit 7 g SO₂-Äquivalenten in der Nutzungsphase. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei den Wirkungskategorien kumulierter Energieaufwand (KEA) und Treibhauspotenzial (GWP). Die Glühlampe hat einen gesamten Energieaufwand von 797 MJ, die Kompaktleuchtstofflampe von 142 MJ und die LED-Lampe

von knapp 90 MJ. Es zeigt sich also deutlich dass, unter der Voraussetzung, dass die jeweilige Lebensdauer der Lampentypen tatsächlich erreicht wird, die LED-Lampe die geringsten Umweltauswirkungen hat und die Glühlampe die höchsten.

10.2 Analyse der Lebenszykluskosten

Im folgenden Abschnitt werden die Lebenszykluskosten für Lampen aus Sicht der privaten Haushalte berechnet. Dies ermöglicht einen realistischeren Vergleich zwischen den einzelnen Technologien, da sowohl Anschaffungs- als auch Verbrauchskosten im Jahresdurchschnitt betrachtet werden.

Berücksichtigt wurden folgende Kostenarten:

- Investitionskosten (Preis für die Anschaffung einer Lampe)
- Betriebs- und Unterhaltskosten
 - Stromkosten
 - Reparaturkosten (im Jahresdurchschnitt)
- Entsorgungskosten

10.2.1 Investitionskosten

Die Kosten für die Anschaffung einer Lampe hängen stark von der Leistung sowie der Technologie ab. LED-Lampen sind in der Regel teurer als Kompaktleuchtstofflampen. Als durchschnittliche Anschaffungspreise werden für die nachfolgenden Berechnungen 7–9 EUR für Kompaktleuchtstofflampen und 28–46 EUR für LED-Lampen angesetzt, vgl. Tabelle 32. Die Anschaffungspreise ergeben sich aus gemittelten Werten von Herstellerangaben und decken derzeit am Markt befindliche Geräte ab.

Tabelle 32 Investitionskosten sowie anteilige Anschaffungskosten der Lampentypen

Lampentyp	Leistung [W]	Investitionskosten [EUR]	Lebensdauer [Jahre]	Anteilige Anschaffungskosten [EUR/Jahr]
Kompaktleuchtstofflampe	8	7,30	10,10	0,73
Kompaktleuchtstofflampe	11	9,20	11,50	0,80
LED-Lampe	3	27,90	14,60	1,91
LED-Lampe	7	46,20	45,00	1,03
Glühlampe	40	0,50	1,00	0,50
Glühlampe	60	0,50	1,00	0,50

10.2.2 Stromkosten

Der Strompreis setzt sich in der Regel aus einem monatlichen Grundpreis und einem Preis pro verbrauchte Kilowattstunde zusammen. Mit Hilfe des durchschnittlichen jährlichen Energieverbrauchs verschiedener Haushaltsgrößen kann ein durchschnittlicher Kilowattstundenpreis errechnet werden. Der Grundpreis wurde mit eingerechnet.

Tabelle 33 gibt einen Überblick über die Strompreise für unterschiedliche Haushaltsgrößen. In den vorliegenden Berechnungen wird mit dem Strompreis für einen durchschnittlichen Haushalt (0,23 EUR pro kWh) gerechnet.

Tabelle 33 Strompreise für unterschiedliche Haushaltsgrößen.²⁵ Die Größe eines durchschnittlichen Haushalts (HH) liegt bei 2,08 Personen.²⁶

Haushaltsgröße	kWh-Preis (inkl. Grundgebühr)
1-Pers-HH	0,25 EUR
2-Pers-HH	0,23 EUR
3-Pers-HH	0,23 EUR
4-Pers-HH	0,22 EUR
Durchschnitt	0,23 EUR

Für die folgenden Berechnungen wird angenommen, dass eine Lampe im Schnitt 1.000 h im Jahr brennt, was einer Nutzungsdauer von ca. 2,7 h pro Tag entspricht. Den Rest der Zeit, also 21,3 h pro Tag, ist sie ausgeschaltet. Dasselbe Nutzerverhalten wird bei EcoTopTen sowie bei Stiftung Warentest zugrunde gelegt.

In Tabelle 34 sind der Stromverbrauch und die dadurch entstehenden Stromkosten pro Lampentyp dargestellt.

Tabelle 34 Stromverbrauch und -kosten der betrachteten Lampentypen pro Jahr sowie auf die gesamte Lebensdauer berechnet

Lampentyp	Leistungsaufnahme [W]	Nutzungsdauer [h/Jahr]	Jährlicher Stromverbrauch [kWh/Jahr]	Jährliche Stromkosten [EUR/Jahr]	Stromkosten für die gesamte Lebensdauer [EUR]
Kompaktleuchtstofflampe	8	1.000	8	1,86	18,74
	11	1.000	11	2,55	29,35
LED-Lampe	3	1.000	3	0,70	10,16
	7	1.000	7	1,62	73,08
Glühlampe	40	1.000	40	9,28	9,28
	60	1.000	60	13,92	13,92

²⁵ Eigene Recherche, Stand: Februar 2009.

²⁶ Statistisches Bundesamt 2007 (www.destatis.de)

10.2.3 Reparaturkosten

Für Reparaturkosten liegen keine repräsentativen Daten vor, sie bleiben daher in der Studie unberücksichtigt. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass die hier betrachteten Kompaktleuchtstoff- und LED-Lampen während ihrer Nutzungsphase nicht repariert werden, wenn sie nicht mehr funktionsfähig sind.

10.2.4 Entsorgungskosten

Seit dem 24. März 2006 sind die Hersteller für die kostenlose Rücknahme der Altgeräte verantwortlich. In der vorliegenden Untersuchung werden daher keine zusätzlichen Entsorgungskosten angenommen.

10.2.5 Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse

In folgender Tabelle sind die Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse im Überblick dargestellt.

Tabelle 35 Kostenvergleich der Lampentypen pro Lichtquelle und Jahr

Lampentyp	Leistung [W]	Anteilige Anschaffungskosten [EUR/Jahr]	Nutzung [EUR/Jahr]	Jährliche Gesamtkosten [EUR/Jahr]	Lichtstrom [lm]
Kompaktleuchtstofflampe	8	0,73	1,86	2,60	330
Kompaktleuchtstofflampe	11	0,80	2,55	3,40	428
LED-Lampe	3	1,91	0,70	2,60	140
LED-Lampe	7	1,03	1,62	2,70	155
Glühlampe	40	0,50	9,28	9,80	400
Glühlampe	60	0,50	13,92	14,40	685

Die jährlichen Gesamtkosten belaufen sich bei den Kompaktleuchtstofflampen auf etwa 3 EUR sowie ebenso auf ca. 3 EUR bei LED-Lampen. Die vergleichbaren Glühlampen liegen mit jährlichen Gesamtkosten zwischen etwa 10 und knapp 14 EUR deutlich höher als bei Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen.

Wie aus der Tabelle hervorgeht, führen LED-Lampen und Kompaktleuchtstofflampen bei kleinen Wattagen ungefähr zu gleichen Kosten, allerdings geben LED-Lampen weniger Licht ab, wie man am Lichtstrom erkennen kann (330 lm für die 8-Watt-Kompaktleuchtstofflampe im Vergleich zu 155 lm für die 7-Watt-LED-Lampe). Im Vergleich zu Glühlampen allerdings führen sie zu jährlichen Gesamtkosten von nur rund einem Drittel. Um jedoch einen vergleichbaren Lichtstrom einer Glühlampe zu erhalten und gleichzeitig Kosten zu sparen, eignen sich in dieser Betrachtung Kompaktleuchtstofflampen am besten.

Rechnet man die Ergebnisse auf einen Zwei-Personen-Haushalt hoch, der im Schnitt 22 Lichtquellen installiert hat, gelangt man zu folgendem Ergebnis: Bei einer Ausstattung mit Kompaktleuchtstofflampen beliefen sich die jährlichen Gesamtkosten auf 57–74 EUR, mit LED-Lampen auf ca. 60 EUR. Mit den herkömmlichen Glühlampen käme man auf einen Wert zwischen 215 und 317 EUR. Damit liegen die Kosten der Beleuchtung bei der Benutzung von Glühlampen über denen von Kühl- und Gefrierkombinationen. Diese verursachen in einem durchschnittlichen Zwei-Personen-Haushalt jährliche Gesamtkosten zwischen 101 und 273 EUR.²⁷

11 Ableitung von Anforderungen für ein Umweltzeichen

Dieses Kapitel gibt Auskunft über eine mögliche Ableitung der oben beschriebenen Zusammenhänge im Hinblick auf die Anforderungen an Lampen im Rahmen eines Umweltzeichens.

11.1 Energieverbrauch

11.1.1 Energieeffizienz

Der Energieverbrauch bzw. die Energieeffizienz sind die Hauptaspekte bei der Bewertung der Umweltverträglichkeit von Lampen (siehe Kapitel 4). Daher ist die Festlegung eines Kriteriums für eine möglichst hohe Energieeffizienz bei einem Umweltzeichen von besonders hoher Bedeutung.

Das Energieeffizienzetikett kennzeichnet bereits die Energieeffizienz von Kompaktleuchtstofflampen und bietet daher eine gute Orientierung. Leider findet es für LED-Lampen keine Anwendung, so dass es nicht als übergreifendes Kriterium herangezogen werden kann. Die zugrunde liegende Berechnung des so genannten Energieeffizienzindizes (EEI) und die Einteilung der Lampen in EEI-Klassen können jedoch auch für LED-Lampen Anwendung finden, da es hauptsächlich darum geht, effiziente von weniger effizienten Lampen zu unterscheiden.

Die Grundlage für die Einstufung in die Energieeffizienzklasse A bildet die folgende Formel:

$$W \leq 0,24 \sqrt{\Phi} + 0,0103 \Phi$$

wobei Φ der Lichtstrom der Lampe in Lumen (lm) und W die Leistungsaufnahme der Lampe in Watt ist.

Eine mögliche Anforderung an zu kennzeichnende, besonders effiziente Lampen könnte also die Festlegung $W \leq (0,24 \sqrt{\Phi} + 0,0103 \Phi) * 0,9$ sein, so dass die Lampen 10% besser als

²⁷ EcoTopTen Marktübersicht Kühl- und Gefrierkombinationen, Einbaugeräte A++, 177–200 cm, Stand Juni 2010.

Klasse A wären. Nach der Auswertung vorhandener Daten scheint es jedoch so, als könnten die zurzeit am Markt vorhandenen Lampen diese strenge Anforderung kaum erfüllen.

Da die gesetzlich festgelegten Minimalwerte für Energieeffizienz für ungerichtete Haushaltsbeleuchtung für Kompaktleuchtstofflampen schon Klasse A vorschreiben, kann das Umweltzeichen diesbezüglich derzeit nicht viel anspruchsvoller sein. LED-Lampen sind im Moment jedoch weder von der Energiekennzeichnung noch von den gesetzlichen Mindestanforderungen abgedeckt. Daher könnten an LED-Lampen vergleichsweise strenge Effizienzanforderungen gestellt werden, die jedoch noch festgelegt werden müssten. Zum Beispiel könnte die der Effizienzklasse A zugrunde liegende Anforderung auf LED-Lampen übertragen werden. Wendet man diese auf beide Lampentypen an, hat dies den Vorteil, dass die Hersteller die Berechnungen zum Energieeffizienzindex bereithalten und es daher für sie keinen Mehraufwand bedeuten würde, entsprechende Angaben zu machen und Nachweise zu führen. Bei einer Überarbeitung der Kriterien könnte der Wert angepasst werden.

Eine weitere Möglichkeit bietet der vom Umweltbundesamt entwickelte Ansatz zur Bewertung von Produkten der Beleuchtungstechnik. Dieser legt Anforderungen an den Energieverbrauch von Lampen in Abhängigkeit des Farbwiedergabeindex fest: Es wird ein Höchstwert festgelegt, der sich aus einem Grundwert und einem Zuschlag zusammensetzt, wobei der Zuschlag von der Höhe des allgemeinen Farbwiedergabeindex abhängt ($EGN_{\max}^{28} = 10,697 + 0,291 \times R_a$). Die Anforderung an den Energieverbrauch gilt als erfüllt, wenn das Verhältnis der mittleren Wirkleistung und des Bezugswertes aus dem mittleren Lichtstrom ($P = 0,01029 \times (0,88 \times \sqrt{\Phi} + 0,049 \times \Phi)$ – abgeleitet aus der dem Energieeffizienzlabel zugrunde liegenden Gleichung) unterhalb des EGN-Wertes liegt (siehe auch Kapitel 11.8).

11.1.2 Scheinleistung

„Wird ein induktiver bzw. kapazitiver Widerstand an eine Wechselspannung angeschlossen, so tritt analog zu den Widerständen neben dem schon vorhandenen Wirkanteil auch ein Blindanteil in Erscheinung. Der Blindanteil kommt durch die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung der Induktivität bzw. der Kapazität zustande. Bei einem rein ohmschen Widerstand liegen Strom und Spannung in gleicher Phase, daher hat ein rein ohmscher Widerstand keinen Blindanteil.

Der Blindanteil der Leistung wird als Blindleistung Q bezeichnet. Seine Einheit ist var. Der Wirkanteil wird als Wirkleistung P bezeichnet. Seine Einheit ist W. Die Gesamtleistung im Wechselstromkreis ist die Scheinleistung S . Sie hat die Einheit VA. Die Scheinleistung berechnet sich aus der Wirkleistung P und der Blindleistung Q , gemäß dem Satz des Pythagoras, daraus ergibt sich hier:

$$S = \sqrt{(Q^2 + P^2)}.$$

²⁸ EGN bezeichnet die dimensionslose Aufwandskennzahl der Elektroenergie.

Zwischen der Wirkleistung P und der Blindleistung Q gibt es eine Phasenverschiebung von 90°. Das Leistungsdreieck in Abbildung 7 verdeutlicht die Zusammenhänge.

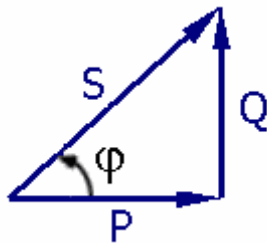


Abbildung 7 Leistungsdreieck (Quelle: www.elektrotechnik-fachwissen.de)

$\cos \varphi$ wird als Wirkleistungsfaktor oder kurz als Leistungsfaktor bezeichnet. Er wird häufig auf den Typenschildern von Elektromotoren angegeben. Der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ ist das Verhältnis zwischen Wirkleistung P und Scheinleistung S, er berechnet sich gemäß der Formel:

$$\cos \varphi = P / S$$

Der Leistungsfaktor gibt an, welcher Teil der Scheinleistung in die gewünschte Wirkleistung umgesetzt wird. Der Blindleistungsfaktor $\sin \varphi$ gibt das Verhältnis zwischen Blindleistung Q und Scheinleistung S an:

$$\sin \varphi = Q / S$$

(Quelle: www.elektrotechnik-fachwissen.de/wechselstrom/leistung-wechselstrom.php).

Auch bei Lampen kann der Leistungsfaktor für die Belastung des Stromnetzes eine Rolle spielen. Deshalb gibt es auch hierzu gesetzliche Mindestanforderungen: Die Verordnung 244/20096/EG fordert für Haushaltslampen, mit Ausnahme von LED-Lampen, dass der Leistungsfaktor einen bestimmten Wert nicht unterschreitet:

Tabelle 36 Anforderungen an den elektrischen Leistungsfaktor in 244/2009/EG

Stufe 1	Stufe 5
$\geq 0,50$ wenn $P < 25 \text{ W}$ $\geq 0,90$ wenn $P \geq 25 \text{ W}$	$\geq 0,55$ wenn $P < 25 \text{ W}$ $\geq 0,90$ wenn $P \geq 25 \text{ W}$

Ein Umweltzeichen sollte daher über diese Mindestanforderungen hinausgehen. Es wird daher folgender Vorschlag gemacht:

Tabelle 37 Vorschlag Anforderung elektrischer Leistungsfaktor beim Umweltzeichen

Kriterium	Anforderung
Wirkleistung < 25 W	Leistungsfaktor $\geq 0,75$
Wirkleistung ≥ 25 W	Leistungsfaktor $\geq 0,90$

11.2 Qualität und Gebrauchstauglichkeit

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, sind die lichttechnischen Eigenschaften einer Lampe ausschlaggebend für ihre Qualität. Deshalb sollte ein Umweltzeichen auch Kriterien bezüglich Farbwiedergabe, Farbtemperatur, Lebensdauer, Schaltfestigkeit, Frühausfallrate sowie Anlaufzeit festlegen.

11.2.1 Farbwiedergabe

Die gesetzlichen Mindestanforderungen an nichtgerichtete Lampen für die Allgemeinbeleuchtung geben bereits einen Wert von $R_a \geq 80$ vor. Dieser Wert gilt sowohl für die erste als auch für die fünfte Stufe – zu der die meisten Anforderungen angehoben werden – und gilt als bereits ambitioniert, zumal die Anforderungen an eine hohe Farbwiedergabe im Hausgebrauch geringer sind als bei professionellen Anwendungen.

Deshalb ist es im Rahmen eines Umweltzeichens nicht notwendig, höhere Anforderungen an die Farbwiedergabe festzulegen. Das europäische Umweltzeichen enthält eine solche Anforderung nicht. Für ein Umweltzeichen wird dennoch vorgeschlagen, dass der allgemeine Farbwiedergabeindex R_a nach CIE 13:3:1995 über die gesamte Nutzlebensdauer der Lampe ≥ 80 sein soll.

11.2.2 Abweichung der ähnlichsten Farbtemperatur T_n

Bezüglich der Bestimmung der Farbtemperatur oder bestimmter Anforderungen an eine Höchstabweichung gibt es keine gesetzlichen Mindestanforderungen. Es existieren jedoch Normen und Standards, die sich mit diesem Parameter beschäftigen. So geben sowohl die EN 60969, die DIN 5033 als auch die IEC 62612 vor, wie sich Farbabweichungen messen lassen und welchen Anforderungen sie genügen müssen (siehe Kapitel 7.5). Bei LED-Lampen ist die Abweichung der ähnlichsten Farbtemperatur relevanter als bei Kompaktleuchtstofflampen und ist daher im Normentwurf zu IEC 62612 ausführlich festgelegt.

Als Kriterium für ein Umweltzeichen gilt es also, diesem Phänomen Rechnung zu tragen und ein anspruchsvolles Kriterium festzulegen. Ein Vorschlag wäre, die Lage des Farbortes, die Farbhomogenität und den Farbtonerhalt festzulegen. Dazu wird folgende Formulierung vorgeschlagen:

Lage des Farbortes

Der Farbort einer Lampe sollte nicht zu sehr von dem Farbort der Farbtemperatur abweichen, die der Hersteller für die Lampe (in der Werbung, auf der Verpackung usw.) angibt.

Deshalb darf der Farbabstand zwischen dem Farbort eines Prüfmusters und dem Farbort der angegebenen Farbtemperatur nicht größer sein als 0,007 Einheiten im CIE-u'-v'-1976-Diagramm. Der Farbort jedes Prüfmusters muss sich im Korridor der ähnlichsten Farbtemperatur gemäß DIN 6169-2 befinden.

Farbhomogenität

Die Farborte typengleicher Lampen sollten nicht sehr voneinander abweichen. Deshalb darf der Farbabstand zwischen dem Farbort eines Prüfmusters und dem Farbort eines beliebigen anderen Prüfmusters nicht größer sein als 0,006 Einheiten im CIE-u'-v'-1976-Diagramm.

Farbtonerhalt

Der Farbort einer Lampe sollte sich während ihrer Lebensdauer nicht zu sehr ändern. Deshalb darf der Farbabstand zwischen dem Farbort eines Prüfmusters bei zu wählenden Zeitpunkten und dem Farbort des jeweils selben Prüfmusters nicht größer sein als 0,007 Einheiten im CIE-u'-v'-1976-Diagramm. Die Abweichung ist für jedes Prüfmuster individuell festzustellen.

11.2.3 Beständigkeit der Lampe

Wie bereits in den oberen Kapiteln ausführlich beschrieben, sind qualitativ hochwertige Kompaktleuchtstoff- und LED-Lampen vor allem dadurch gekennzeichnet, dass sie eine lange Lebensdauer haben, in der der Lichtstrom nur zu einem gewissen Anteil zurückgeht, sowie eine möglichst geringe frühe Ausfallrate und ggf. hohe Schaltfestigkeit. Außerdem sollten gute Kompaktleuchtstofflampen eine möglichst kurze Zünd- und Anlaufzeit haben.

Gesetzlich festgelegt sind bisher nur Anforderungen an Ausfallrate (jeweils nach 200 und 6.000 h), Lampenlichtstromerhalt, Schaltzyklen, Zündzeit und Anlaufzeit. Sie sind in Tabelle 38 und Tabelle 39 noch einmal kurz zusammengefasst.

Tabelle 38 Anforderungen an die Beständigkeit von Kompaktleuchtstofflampen nach 244/2009/EG

Eigenschaft	Stufe 1	Stufe 5
Lampenlebensdauerfaktor bei 6.000 h	≥ 0,50	≥ 0,70
Lampenlichtstromerhalt	Bei 2.000 h: ≥ 85% (≥ 80% für Lampen mit zweiter Hülle)	Bei 2.000 h: ≥ 88% (≥ 83% für Lampen mit zweiter Hülle) Bei 6.000 h: ≥ 70%
Zahl der Schaltzyklen bis zum Ausfall	≥ halbe Lampenlebensdauer in Stunden ≥ 10.000, wenn Zündzeit > 0,3 s	≥ Lampenlebensdauer in Stunden ≥ 30.000, wenn 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% Φ	< 60 s oder < 120 s für Lampen, die Quecksilberamalgame enthalten	< 40 s oder < 100 s für Lampen, die Quecksilberamalgame enthalten
Ausfallrate (vorzeitig)	≤ 2,0% nach 200 h	≤ 2,0% nach 400 h

Tabelle 39 Gestaffelte Anforderungen an die Beständigkeit von Ersatz-LED-Lampen (gerichtet + ungerichtet) (EuP 2009a)

Eigenschaft	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Benchmark
Mindestlebensdauer für $L_{70}F_{50}$	≥ 10.000 h	≥ 10.000 h	≥ 10.000 h	≥ 30.000 h
Schaltzyklen (IEC 62612 Ed1)	> 5.000 (30 s an/aus)	> 10.000 (30 s an/aus)	> 20.000 (30 s an/aus)	> 100.000 (30 s an/aus)
Frühzeitige Ausfallrate für $L_{85}F_{05}$	≥ 100 h	≥ 100 h	≥ 200 h	≥ 200 h

Aus den beiden Tabellen wird ersichtlich, dass die Anforderungen an die einzelnen Parameter zwischen Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen unterschiedlich ausfallen: Während Kompaktleuchtstofflampen nicht direkt eine Mindestlebensdauer erfüllen müssen, sollen LED-Lampen laut aktuellstem Vorschlag der Vorstudie bei $LLMF_{70}$ und LSF_{50} mindestens 10.000 h halten. Bei Kompaktleuchtstofflampen sind zudem die Anforderungen bezüglich Ausfallrate bei 6.000 h separat von denen zum Lampenlichtstromerhalt bei 2.000 h aufgeführt.

Wie bereits in Kapitel 7.5 aufgeführt ist jedoch die Kopplung der Definition der mittleren Lampen-Nutzlebensdauer an eine Ausfallrate von 50% und einen gewissen Lampenlichtstromerhalt ratsam.

Ein weiterer Unterschied in den Anforderungen besteht bezüglich der Definition der Frühausfallrate. Während für Kompaktleuchtstofflampen eine Ausfallrate von maximal 2% nach je 200 und 400 h vorgeschrieben wird, lautet der Vorschlag für LED-Lampen, den Zeitpunkt einer 5%-Ausfallrate bei einem Lampenlichtstromerhalt von 85% festzulegen (je 100 und 200 h).

Auch die Festlegung der Schaltfestigkeit fällt unterschiedlich aus, zumal sie auf unterschiedlichen Schaltzyklen beruht. Da Schaltzyklen auch für die Bestimmung der anderen Beständigkeitsparameter relevant sind, werden die unterschiedlichen Ansätze in der folgenden Tabelle in der Übersicht dargestellt.

Tabelle 40 Übersicht unterschiedlicher Schaltzyklen

Quelle	Lang	Kurz	Kommentar
EN 60969	Mind. 10 min „An“, 10–15 min „Aus“; 8 x täglich		Nur in Erläuterung zur Norm; keine Vorgabe zum Schaltzyklus bezüglich Lebensdauerermessung
244/2009/EG	Verweis auf 60969	1 min „An“, 3 min „Aus“	Lang für Lebensdauer, LSF und LLMF; kurz für Schaltfestigkeit
EU-Ecolabel	–	0,5 min „An“, 4,5 min „Aus“	Kurz für Schaltfestigkeit; keine Vorgabe zum Schaltzyklus bzgl. Lebensdauerermessung
Stiftung Warentest	2 h 45 min „An“, 15 min „Aus“; 8 x täglich	0,5 min „An“, 4,5 min „Aus“	Lang für Lebensdauer, kurz für Schaltfestigkeit
TÜV	10 min „An“, 10 min „Aus“; 4 x täglich		
European CFL Quality Charter	5 min „An“, 10 min „Aus“		
IEC 62612	–	0,5 min „An“, 0,5 min „Aus“	Kurz für Schaltprüfung der Versorgungsspannung; muss für eine Anzahl von Zyklen wiederholt werden, die der Hälfte der angegebenen Lebensdauer entspricht.

Ein letzter weiterer Unterschied besteht in der Festlegung einer Mindestzündzeit für Kompaktleuchtstofflampen, aber nicht für LED-Lampen, da diese keinen Zündvorgang haben. Außerdem besitzen sie keine Anlaufzeit, weshalb auch eine Mindestanforderung an die Anlaufzeit nur für Kompaktleuchtstofflampen besteht.

Das EU-Umweltzeichen legt seinerseits Anforderungen an die Lebensdauer von Kompaktleuchtstofflampen fest – unabhängig von Ausfallrate und Lichtstromerhalt. In der derzeit gültigen Fassung der Kriterien sind es 10.000 h, im aktuellsten Vorschlag 15.000 h. Anforderungen an den Lichtstromerhalt werden separat aufgeführt und betragen im aktuellen Vorschlag 80% nach 9.000 h (bisher 70% nach 10.000 h). Die Schaltfestigkeit ist mit einer Mindestanzahl von 20.000 Zyklen festgelegt. Für die Überarbeitung sind derzeit 600.000 Zyklen in der Diskussion.

Aus den obigen Ausführungen ergibt sich die Frage, wie ein Umweltzeichen über die bestehenden bzw. über die wahrscheinlich bald in Kraft tretenden gesetzlichen Anforderungen

hinausgehen kann und gleichzeitig die (zurzeit in der Überarbeitung befindlichen) Kriterien des EU-Umweltzeichens berücksichtigen kann.

Da hohe Lebensdauern nur schwer nachweis- und damit überprüfbar sind (siehe Kapitel 7), sollten Kriterien für ein Umweltzeichen Anforderungen an die Beständigkeit stellen, die einerseits den technologischen Unterschieden zwischen Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen gerecht werden und andererseits gut nachweisbar sind. Aus diesem Grunde wird die Festlegung folgender Parameter empfohlen:

Tabelle 41 Kriterienvorschlag Lampenbeständigkeit

Kriterium	Anforderung Kompakt-leuchtstofflampen	Anforderung LED-Lampen	Anmerkung
Lebensdauer bei LSF ₅₀ und LLMF ₈₅	≥ 6.000 h	≥ 6.000 h	Festlegung bei 85% Lampenlichtstromerhalt etwas strenger, als die vorgeschlagenen gesetzlichen Werte; Festlegung auf LSF ₅₀ gut über Verwendung von Normmessungen nachweisbar.
Schaltfestigkeit	≥ 20.000 Schaltzyklen ²⁹	≥ 20.000 Schaltzyklen ³⁰	Für Kompaktleuchtstofflampen entspricht das den Anforderungen zwischen Stufe 1 und Stufe 5 und ist genauso strikt wie das jetzige EU-Umweltzeichen. Für LED-Lampen entspricht das den vorgeschlagenen Anforderungen von Stufe 3. Da LED-Lampen technisch weniger Probleme mit der Schaltfestigkeit haben als Kompaktleuchtstofflampen, sollten hier mind. gleich strenge Anforderungen gestellt werden. Beim EU-Umweltzeichen sind zwar 600.000 Zyklen für Kompaktleuchtstofflampen in der Diskussion. Ein Nachweis in dieser Größenordnung erscheint jedoch nicht praktikabel.
Frühausfallrate nach 400 h	≤ 2%	≤ 2%	Für Kompaktleuchtstofflampen entspricht das den strengeren Anforderungen der Stufe 5. Für LED-Lampen entspricht das erheblich strengeren Anforderungen, als im Vorschlag. Im Sinne des Verbraucherschutzes sollten aber für beide Lampentypen gleiche Anforderungen gestellt werden.

²⁹ Bei einem kurzen Schaltzyklus mit 0,5 min „An“ und 4,5 min „Aus“.

³⁰ Bei einem kurzen Schaltzyklus mit 0,5 min „An“ und 4,5 min „Aus“.

	Anforderung Kompakt- leuchtstofflampen mit Hüllkolben und/oder Amalgam	Andere Kompakt- leuchtstofflampen + LED-Lampen	
Anlaufzeit bis 80% Lichtstrom	≤ 60 s	≤ 30 s	Laut Datenauswertung der Stiftung Warentest stellen diese Anforderungen sicher, dass Lampen mit Hüllkolben bzw. mit Amalgam ambitionierten Anforderungen genügen müssen und gleichzeitig im Vergleich zu anderen Lampen einen kleinen Bonus gewährleistet bekommen. Die Werte sind außerdem strenger, als die gesetzlich vorgeschriebenen der Stufe 5.

11.3 Schadstoffe: Quecksilbergehalt der Lampe

Kompaktleuchtstofflampen enthalten bekanntermaßen geringe Mengen Quecksilber; in der Regel ca. 2 mg (siehe Kapitel 4.2). Da es ein erklärtes umweltpolitisches Ziel ist, den Schadstoffgehalt von Produkten sowie den Gehalt von besonders problematischen Stoffen wie z.B. Schwermetallen im Abfallstrom zu reduzieren, sollte ein Umweltzeichen für Lampen für eine möglichst hohe Schadstofffreiheit sorgen. Bislang ist nicht bekannt, dass außer dem Quecksilber in Kompaktleuchtstofflampen weitere besonders gefährliche Stoffe in Lampen enthalten sind. Deshalb kann sich ein Umweltzeichenkriterium auf die Festlegung eines höchsten Quecksilbergehaltes begrenzen.

Es gibt gesetzliche Mindestanforderungen an den Gehalt von Quecksilber in Kompaktleuchtstofflampen (RoHS-Richtlinie). Diese schreiben in ihrer derzeit gültigen Fassung einen maximalen Gehalt von 5 mg vor (siehe Kapitel 5.3). Das EU-Umweltzeichen schreibt in seiner aktuellen Fassung 4 mg für Kompaktleuchtstofflampen vor. In der Diskussion ist eine Umformulierung auf „RoHS minus 20%“, da sich die gesetzlichen Grenzwerte in der Überarbeitung befinden. Ein Umweltzeichen sollte immer strengere Anforderungen festlegen als die gesetzlichen Mindestanforderungen. Um das sicherzustellen, ist ein relativer Bezug auf den gesetzlichen Grenzwert gewählt worden, anstatt einen absoluten Grenzwert festzulegen.

Bislang liegen nur sehr wenige Daten zum Quecksilbergehalt von Lampen vor, und es ist nicht hinreichend bekannt, welchen (linearen) Zusammenhang es zwischen Quecksilbergehalt und Lichttechnikparametern gibt (siehe Kapitel 5.3). Eine wissenschaftliche Herleitung einer Funktion des Quecksilbergehaltes in Abhängigkeit von unterschiedlichen Faktoren ist daher nicht möglich, obwohl dies wünschenswert wäre.

Das Gesamtziel einer Reduzierung von Quecksilberemissionen ist bereits im Kriterium „Energieverbrauch“ berücksichtigt: Da in der Gesamtbilanz von Kompaktleuchtstofflampen im Vergleich zu herkömmlichen Glühlampen weniger Quecksilberemissionen entstehen (Vermeidung durch Verringerung der Stromproduktion), ist eine sehr strenge Anforderung

bezüglich des Quecksilbergehaltes der einzelnen Lampen nicht sehr relevant. Ziel eines Umweltzeichen-Kriteriums sollte es daher sein, den Quecksilbergehalt in Lampen auf ein nötiges Maß zu reduzieren, ohne dabei Einbußen bei Qualität, Effizienz und Lebensdauer zu haben.

Deshalb ist eine Orientierung an bestehenden gesetzlichen Vorgaben angebracht: Die RoHS-Richtlinie wird wahrscheinlich Mitte 2010 einen Maximalwert von 2 mg pro Lampe festlegen. Die Vorstudie zur Richtlinie 244/2009/EG hat als Benchmark für Haushaltslampen 1,5 mg angegeben, und es gibt Veröffentlichungen, die davon sprechen, 1 mg sei machbar.

Für das Kriterium können nun zwei unterschiedliche Ansätze gewählt werden:

1. Vorgabe von maximal 1,5 mg Quecksilber pro Lampe. Falls Hersteller argumentieren, dass das zu niedrig sei und Auswirkungen auf die Lebensdauer, Qualität und Effizienz hätte, sind sie in der Pflicht Daten zu nennen, die einen anderen Wert belegen können.
2. Wie beim EU-Umweltzeichen kann ein relativer Grenzwert von „RoHS minus 20%“ festgelegt werden. Je nachdem, wie hoch der RoHS-Grenzwert festgelegt wird, könnte sich das jedoch als nicht ambitioniert genug herausstellen.

Eine weitere Möglichkeit bietet auch hier der Ansatz des Umweltbundesamtes zur Bewertung von Produkten der Beleuchtungstechnik. Dieser sieht vor, dass die höchste erlaubte Menge an verwendetem Quecksilber in Abhängigkeit vom erzeugten Lichtstrom und der Nutzlebensdauer festgelegt wird. Dazu wurde anhand von durch das Umweltbundesamt gesammelten Daten folgende Formel entwickelt: $HG \leq 0,6 + 0,03 \times \sqrt{\Phi} + 0,00008 \times L$, wobei L der Nutzlebensdauer entspricht.

11.4 UV-Strahlung

UV-Strahlung kann bei manchen Lampen problematisch sein: Entweder können Menschen darauf empfindlich reagieren oder Oberflächen können Schaden nehmen (siehe Kapitel 7.2). Deshalb sollte ein Umweltzeichen aus Vorsorgegründen Maximalwerte für UV-Strahlung festlegen.

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat diese Fragestellung untersucht und kommt zu folgendem Vorschlag (BfS 2009):

Auszuzeichnende Lampen dürfen im Abstand von 20 cm vom Lichtschwerpunkt (wie in DIN EN 62471 festgelegt) folgende Werte nicht überschreiten:

- Aktinisches UV (250–400 nm) – $E_s = 0,01 \text{ mW/m}^2$ nicht überschreiten.
- UVA (315–400 nm) – $E_{UVA} = 100 \text{ mW/m}^2$, bezogen auf 1.000 Lux.

Für eine Reduzierung durch Blaulichtgefährdung müssen Lampen zusätzlich der Risiko-klasse („exempt group“) 0, wie in DIN EN 62471 definiert, zugeordnet sein.

11.5 Elektromagnetische Felder

Ebenso wie für UV- sollte auch für elektromagnetische Strahlung aus Vorsorgegründen ein Maximalwert als Kriterium für ein Umweltzeichen festgelegt werden (siehe Kapitel 7.2). Auch hier hat sich das BfS der Fragestellung gewidmet und folgenden Vorschlag erarbeitet:

Auszuzeichnende Lampen dürfen im Abstand von 30 cm nur in einem solchen Maß elektrische Felder erzeugen, dass die Bedingung $F \leq 0,3\%$ eingehalten wird. F ist der in Gleichung E.2.4 aus DIN IEC 62493 (Beurteilung von Beleuchtungseinrichtungen bezüglich der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern) definierte Faktor.

11.6 Verbraucherinformationen

Ein wichtiger Aspekt eines Umweltzeichens sind die den Verbrauchern mindestens zur Verfügung zu stellenden Informationen. Auch hier gibt es durch die neuen gesetzlichen Mindestanforderungen schon Einiges an durchaus ambitionierten Anforderungen (siehe Kapitel 5). Auch das EU-Umweltzeichen nennt einige Anforderungen an die anzugebenden Hinweise.

Da die gesetzlichen Mindestanforderungen bereits recht ausführlich sind, bleibt als Vorschlag für ein Umweltzeichen, die erst in Stufe 2 der EG-Richtlinie 244/2009 genannten Anforderungen bereits umgehend zu erfüllen. Zusätzlich sollten auf der Verpackung und im Internet Hinweise verfügbar sein, wie Verbraucher Kompaktleuchtstofflampen sachgerecht entsorgen können.

Der Vorschlag für ein entsprechendes Kriterium lautet daher: Die in der Verordnung der Kommission 244/2009/EG, Anhang II, Abschnitt 3.1 und 3.2 genannten Anforderungen bezüglich anzugebender Informationen auf Verpackungen und im Internet müssen erfüllt sein. Für quecksilberhaltige Lampen muss auf der Verpackung auf eine Internetseite hingewiesen werden, auf der geeignete Sammelstellen angegeben sind (z.B. www.lichtzeichen.de).

11.7 Akkreditierte Labore

Um den neutralen und fachgerechten Nachweis von den oben vorgeschlagenen Kriterien zu gewährleisten, ist es wichtig, auch Anforderungen an die entsprechenden Prüfeinrichtungen festzulegen. Es wird daher vorgeschlagen, dass sämtliche vorzulegende Nachweise durch ein nach DIN EN ISO / IEC 17025 akkreditiertes Labor durchzuführen sind. Der Antragsteller des Umweltzeichens trägt die dafür entstehenden Kosten.

11.8 UBA-Ansatz

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Kriterien ergeben sich aus den vorangestellten Ausführungen anhand der PROSA-Methode und dienen als Vorschlag für die Entwicklung von Kriterien für ein Umweltzeichen.

Das Umweltbundesamt arbeitet schon länger parallel an einem neuen Ansatz zur Bewertung von Lampen. Die aus diesem Ansatz abgeleiteten „Grundlagen und Anleitung für Anträge zum Blauen Engel für Lampen“ sind dieser Studie als Anhang beigelegt, da sie ebenfalls für die Erstellung von Kriterien für ein Umweltzeichen herangezogen werden sollten.

12 Literatur

BfS 2009	Bundesamt für Strahlenschutz – BfS (Hrsg.); Ermittlung und Bewertung elektrischer und magnetischer Felder von Kompaktleuchtstofflampen; internes Papier von Eder, H.; Geschwentner, D.; Hofmann, P.; Liesenkötter, B.; Matthes, R.; BfS, 2009
Bunke et al. 2002	Bunke, D.; Griebelhammer, R.; Gensch, C.-O.; EcoGrade – die integrierte ökologische Bewertung; UmweltWirtschaftsForum 10. Jg.; H. 4; Dezember 2002
ChannelPartner 06/2009	ChannelPartner; „Höhere Energieeffizienz – Rekord-OLEDs stechen Leuchtstoffröhren aus“; www.channelpartner.de/green-it/277124/ vom 18.06.2009
ChannelPartner 07/2006	ChannelPartner; „Merck wetteifert mit Konica Minolta um OLED-Lampenmarkt“; www.channelpartner.de/index.cfm?pid=299&pk=204495 vom 06.07.2006
Destatis 2009	Statistisches Bundesamt – Destatis (Hrsg.); Umweltnutzung und Wirtschaft. Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2009 – Teil 5: Energie; Wiesbaden 2009
EcoTopTen 2004	Quack, D.; Energiesparlampe als EcoTopTen-Produkt; Dauerbrenner Kompaktleuchtstofflampe; Freiburg 2004
EcoTopTen 2008a	Fragen und Antworten zu Energiesparlampen; www.ecotopten.de/prod_lampen_faq.php ; Stand 18.06.2008
EcoTopTen 2008b	EcoTopTen-Kriterien für Energiesparlampen; (www.ecotopten.de/download/EcoTopTen_Kriterien_Lampen.pdf); Stand 08.06.2008
ElektroG	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche 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

Energy Star 2009a	Big results, bigger potential. CFL market profile; U.S. Department of Energy; www.energystar.gov/ia/products/downloads/CFL_Market_Profile.pdf ; March 2009
Energy Star 2009b	ENERGY STAR® Program Requirements for Integral LED Lamps; Eligibility Criteria; Third Draft – September 18, 2009; www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/new_specs/downloads/integral_leds/IntegralLampsDRAFT3-18Sep09.pdf
EuP 2007	Energy Using Products Directive – EuP; Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs, Lot 8 office lighting; April 2007; www.eup4light.net/default.asp?WebpagelId=33
EuP 2009a	Energy Using Products Directive – EuP; Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs, Lot 19 Domestic lighting, Part 2 Directional lamps, and household luminaires; May 2009; www.eup4light.net/default.asp?WebpagelId=33
EuP 2009b	Energy Using Products Directive – EuP; Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs, Lot 19 Domestic lighting, Part 1 + 2, Final Report; October 2009; www.eup4light.net/default.asp?WebpagelId=33
EU-VO 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
FVEIT 2009	Fachverband Elektro- und Informationstechnik – FVEIT (Hrsg); Die Zukunft des Wohnens; 22.07.2009; www.fv-eit-bw.de/e-magazine/e-tipp-online/beleuchtung.html
Gasser 2009a	Gasser, S.; LED-Test für Lampen und Leuchten im Haushalt, HTW Chur und SAFE; Zürich 13.01.2009
Gasser 2009b	Gasser, S.; Quality Characteristics of LED lighting; Zürich 27.08.2009
Grieder und Huser 2006a	Grieder, T.; Huser, A.; Geräteausstattung und Stromverbrauch von Schweizer Haushalten; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen; 04/2006
Grieder und Huser 2006b	Grieder, T.; Huser, A.; Verbrauchsabschätzung von Lampen in Privathaushalten; Bundesamt für Energie (BfE); 2006
Grießhammer et al. 2007	Grießhammer, R.; Buchert, M.; Gensch, C.-O.; Hochfeld, C.; Manhart, A.; Rüdenauer, 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

IEC 62612	IEC/PAS 62612 Ed1: Self-ballasted LED-lamps for general lighting services > 50 V – Performance requirements; June 2009; http://webstore.iec.ch/preview/info_iecpas62612%7Bed1.0%7Den.pdf
Innovations-Report 07/2009	Siemens AG Technology Press and Innovation Communications; „Beleuchtung – LED-Lampe setzt auf Flüssigkühlung“; Innovations-Report, 16.07.2009
Innovations-Report 08/2009	Siemens AG Technology Press and Innovation Communications; „Neue Ökobilanz beweist: LED sind umweltfreundlich“; Innovations-Report, 04.08.2009
Innovations-Report 08/2009	Siemens AG Technology Press and Innovation Communications; „Ökobilanz: LED-Lampen deklassieren Glühbirnen“; Innovations-Report, 06.08.2009
IPCC 1995	Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (Hrsg.); Climate Change 1995 – The science of Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge 1996
LfU 2010	Bayrisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.); Kampagne Energieeffizienz. Energieeffiziente Beleuchtung; www.lfu.bayern.de/energieeffizienz/beleuchtung/lampentypen/pic/energieeffizienz.jpg
Lightcycle 2007	Lightcycle Retourlogistik und Service GmbH; Lightcycle Jahresbericht; 2007; www.lightcycle.de/fileadmin/Dateien/Pressedownloads/Jahresbericht_2007.pdf
Lightcycle 2009	Lightcycle Retourlogistik und Service GmbH; Politikbrief; August 2009
Megaman 2009a	Megaman (IDV GmbH); „Die neue Generation der LED-Reflektoren“; 2009
Megaman 2009b	Persönliche Mitteilung von Werner Wiesner, Megaman (IDV GmbH); 2009
Megaman 2010	Megaman (IDV GmbH); DORS – Dimming. Überall Lichtatmosphäre nach Wunsch; www.megaman.de/megamanenergiesparlampen/neuheitenesl/dorsdimming/dorsdimming.html
MTP 2009	Market Transformation Programme – MTP; 2008/2009 Energy Label Market Picture Testing – Household Electric Lamps
Osram 07/2007	Osram GmbH; „Workshop energieeffiziente Beleuchtung“; 10.07.2007;
Osram 08/2009	Osram GmbH Press Release; „Life-cycle assessment proves how environmentally friendly LED lamps are“; 04.08.2009
Osram 09/2009	Osram GmbH; „LED Benefits“; abgerufen am 29.09.2009

Osram 11/2009	Life Cycle Assessment of Illuminants. A Comparison of Light Bulbs, Compact Fluorescent Lamps and LED Lamps; OSRAM Opto Semiconductors GmbH, Siemens Corporate Technology; November 2009
Philips 2009a	Koninklijke Philips Electronics N.V.; „Der Wechsel zu energieeffizienter Beleuchtung“; www.philips.com/eu-richtlinie-lampen
Philips 2009b	Produktdaten zu Lampen; www.ecat.lighting.philips.com/l/de/
Philips o.J.	Koninklijke Philips Electronics N.V.; „Technology White Paper Understanding power LED lifetime analysis“; o.J.
Pictures of the Future 1/2009	„Karriereplanung für Produkte – Lebenszyklusanalyse. Lampen unter der Lupe“; Pictures of the Future 1/2009
SAFE 2009	Schweizerische Agentur für Energieeffizienz – SAFE (Hrsg.); LED-Test für Lampen und Leuchten im Haushalt. Messbericht; Zürich 2009
Stiftung Warentest 1/2009	Stiftung Warentest; „Sie brennt und brennt und ...“; test 1/2009
Stiftung Warentest 11/2009	Stiftung Warentest; LED-Lampen; test 11/2009
Stiftung Warentest 12/2008	Stiftung Warentest; „Spargeräte LED-, Halogen- und Energiesparlampen“, 17.12.2008
Stiftung Warentest 2009	Stiftung Warentest; test Spezial Energie; 2009
Stiftung Warentest 3/2008	Stiftung Warentest; „Die Sparprofis“; test 3/2008
Stiftung Warentest 4/2010	Stiftung Warentest; Energiesparlampen; test 4/2010
Van Tichelen et al. 2009	Van Tichelen, P.; Vercalsteren, A.; Mudgal, S.; Turunen, L.; Tinetti, B.; Thornton, A.; Kofod, C.; Vanhooydonck, L.; Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs Final Report Lot 19: Domestic lighting, Study for European Commission DGTREN unit D3; 10/2009
Welt Online 09/2009	„Der Lampenmarkt“; Welt Online, 28.09.2009
Wirtschaftswoche 12/2008	„Licht und Lampen der Zukunft“; Wirtschaftswoche, 19.12.2008
ZVEI 2007–2009	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (Hrsg.), Pressemitteilungen; „ZVEI setzt auf Energiesparlampen“, 22.02.2007; „Energie-Effizienz bietet Wachstumspotenzial“, 07.04.2008; „ZVEI: An Energiesparlampen führt kein Weg vorbei“, 26.09.2008; „Die Glühlampe hat ausgedient“, 09.12.2008; „Kritik an Energiesparlampen unberechtigt“, 06.01.2009

13 Anhang

13.1 Anhang I: Wirkungskategorien der Life Cycle Analysis

- Kumulierter Primärenergiebedarf (KEA)
- Treibhauspotenzial
- Versauerungspotenzial
- Aquatische Eutrophierung
- Terrestrisches und photochemisches Eutrophierungspotenzial
- Photochemische Oxidantienbildung (POCP)

Die Ergebnisse der Wirkungskategorien wurden mit Hilfe der Bewertungsmethode des Öko-Instituts *EcoGrade* (vgl. Bunke et al. 2002) gewichtet und für die spätere Ökoeffizienzanalyse zu einem Gesamtumweltindikator (Umweltzielbelastungspunkte) aggregiert.

13.1.1 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.

13.1.2 Treibhauspotenzial

Schadstoffe, die zur zusätzlichen Erwärmung der Erdatmosphäre beitragen, werden unter Berücksichtigung ihres Treibhauspotenzials bilanziert, welches das Treibhauspotenzial des Einzelstoffs relativ zu Kohlenstoffdioxid kennzeichnet. Als Indikator wird das Gesamttreibhauspotenzial in CO₂-Äquivalenten angegeben. Folgende Substanzen und Charakterisierungsfaktoren wurden berücksichtigt:

Tabelle 42 Charakterisierungsfaktoren für Treibhauspotenzial (nach IPCC 1995)

Treibhauspotenzial in kg CO ₂ -Äquivalenten	Faktor
Kohlenstoffdioxid CO ₂	1
Methan CH ₄	21
Distickstoffmonoxid N ₂ O	310
Halon 1301	4900
Tetrafluormethan	4500
Tetrachlormethan	1400
Trichlormethan	5
Dichlormethan	9
1,1,1-trichlorethan	110

13.1.3 Versauerungspotenzial

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.

Folgende Substanzen und Charakterisierungsfaktoren wurden berücksichtigt:

Tabelle 43 Charakterisierungsfaktoren für Versauerungspotenzial

Versauerungspotenzial in kg SO ₂ -Äquivalenten	Faktor
SO ₂	1,00
NO ₂ , NO _x	0,70
NO	1,07
NH ₃	1,88
HCl	0,88
HF	1,60

13.1.4 Aquatisches und terrestrisches Eutrophierungspotenzial

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.

Folgende Substanzen und Charakterisierungsfaktoren wurden berücksichtigt:

Tabelle 44 Charakterisierungsfaktoren für das aquatische Eutrophierungspotenzial

Aquatische Eutrophierung in kg PO ₄ -Äquivalenten	Faktor
NH ₃	0,330
N-tot, Nitrate, Nitrite	0,420
Phosphat	1,000
P-tot	3,060
P ₂ O ₅	1,340
COD	0,022

Tabelle 45 Charakterisierungsfaktoren für das terrestrische Eutrophierungspotenzial

Terrestrische Eutrophierung in kg PO ₄ -Äquivalenten	Faktor
NO ₂ , NOX	0,13
NH ₃	0,33

13.1.5 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 Berechnung werden die Substanzen und die entsprechenden Charakterisierungsfaktoren nach Heijungs et al. (1992) berücksichtigt.

13.2 Anhang II: Vergabegrundlage für das Umweltzeichen Blauer Engel

Inklusive Anhang „Anwendung des UBA-Ansatzes zur Bewertung von Produkten der Beleuchtungstechnik“

Vergabegrundlage für Umweltzeichen

Lampen

RAL-UZ 151



Ausgabe Juli 2010

RAL gGmbH

Siegburger Straße 39, 53757 Sankt Augustin, Germany, Telefon: +49 (0) 22 41-2 55 16-0
Telefax: +49 (0) 22 41-2 55 16-11

Internet: www.blauer-engel.de, e-mail: Umweltzeichen@RAL-gGmbH.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Vorbemerkung	3
1.2	Ziele des Umweltzeichens	3
1.3	Gesetzliche Mindestanforderungen	4
1.4	Begriffsbestimmungen	4
2	Geltungsbereich	5
3	Anforderungen	6
3.1	Energieverbrauch	6
3.1.1	Aufwandskennzahl	6
3.1.2	Leistungsfaktor für LED-Lampen	8
3.2	Qualität und Gebrauchstauglichkeit	9
3.2.1	Qualität des Lampenlichtes: Farbwiedergabe	9
3.2.2	Qualität des Lampenlichtes: Abweichung der ähnlichsten Farbtemperatur T _n	10
3.2.3	Beständigkeit der Lampe	11
3.2.4	Lichtstrom beim Einschalten (Anlaufzeit)	12
3.3	Schadstoffe: Quecksilbergehalt der Lampe	13
3.4	UV-Strahlung	15
3.5	Elektromagnetische Felder	15
3.6	Sicherheit gegen Stromschlag bei zweiseitig gesockelten Lampen	16
3.7	Verbraucherinformationen	16
3.7.1	Verpackung	16
3.7.2	Internet	17
3.8	Akkreditierte Labore	17
4	Zeichennehmer und Beteiligte	17
5	Zeichenbenutzung	17

Mustervertrag

Anhang 1: „Grundlagen und Anleitung für Anträge zum Blauen Engel RAL-UZ 151 für Lampen – Anwendung des UBA-Ansatzes zur Bewertung von Produkten der Beleuchtungstechnik“, Umweltbundesamt, 16. 7. 2010

1 Einleitung

1.1 Vorbemerkung

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

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

1.2 Ziele des Umweltzeichens

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

Der Anteil der Beleuchtung in Deutschland beträgt 10 % des gesamten Stromverbrauches (zum Vergleich: EU 16 % und weltweit 19 %). In deutschen Haushalten entfällt ca. 8 % des Strombedarfes für die Beleuchtung. Für einen statistischen Durchschnittshaushalt in Deutschland summiert sich somit der Strombedarf für die Beleuchtung im Laufe eines Jahres auf knapp 300 kWh.

Aufgrund dieser Relevanz der Beleuchtung bezüglich der oben formulierten Umweltschutzziele, soll ein Umweltzeichen für Lampen eine bessere Marktdurchdringung von Produkten unterstützen, die folgende Eigenschaften erfüllen:

- gute lichttechnische Eigenschaften wie
 - gute Farbwiedergabe
 - geringe Abweichung der Farbtemperatur und Farbe
 - hohe Nutzlebensdauer
 - hohe Schaltfestigkeit
 - geringe Frühausfallrate
 - geringe Anlaufzeit
- hohe Energieeffizienz
- geringer Quecksilbergehalt
- geringe UV-Strahlung und elektromagnetische Felder
- transparente Verbraucherinformationen.

1.3 Gesetzliche Mindestanforderungen

Die Vergabegrundlage wurde auf der Grundlage der folgenden gesetzlichen Regelwerke und der dort geltenden Mindestanforderungen an Lampen entwickelt:

- Elektro- und Elektronikgesetzes (ElektroG) ^[1], mit dem die EG-Richtlinien 2002/96/EG ^[2] und 2002/95/EG ^[3] in deutsches Recht umgesetzt wurden und die die Sammlung, Behandlung und Entsorgung sowie den Schadstoffgehalt regeln und
- EG-Verordnung 244/2009/EG ^[4,5], die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht festlegt sowie EG-Verordnung 859/2009/EG ^[6] zur Änderung der Verordnung 244/2009/EG hinsichtlich der Anforderungen an die UV-Strahlung.

1.4 Begriffsbestimmungen

Bei den Anforderungen dieser Vergabegrundlage spielt eine Reihe von Größen/Bezeichnungen eine Rolle. Begriffsbestimmungen aller relevanten Größen befinden sich im Anhang 1.

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 Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte

³ Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten

⁴ Verordnung (EG) Nr. 244/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht

⁵ Gleichwohl schließt die vorliegende Vergabegrundlage Lampen ein, deren Licht gemäß der genannten Verordnung als gebündelt eingestuft wird.

⁶ Verordnung (EG) Nr. 859/2009 der Kommission vom 18. September 2009 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 244/2009 hinsichtlich der Anforderungen an die Ultraviolettstrahlung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht.

2 Geltungsbereich

Diese Vergabegrundlage gilt für Lampen, die folgende Voraussetzungen erfüllen ^[7]: Sie

- werden mit Strom aus dem öffentlichen Netz (230 Volt, 50 Hertz) unmittelbar versorgt und benötigen daher kein externes Vorschaltgerät, Netzteil oder dergleichen ^[8];
- sind zum Einsatz in Innenräumen geeignet;
- haben einen Lichtstrom Φ von $60 \leq \Phi \leq 6'500$ Lumen (lm).

Nicht in den Geltungsbereich fallen:

- Lampen, bei denen ^[9]:
 - mindestens 6 % der Gesamtstrahlung im Bereich 250 nm ...780 nm zwischen 250 nm und 400 nm liegen,
 - der Strahlungsgipfel zwischen 315 nm und 400 nm (UVA) oder 280 nm und 315 nm (UVB) liegt;
- Lampen, bei denen mehrere Betriebspunkte gewählt werden können, das heißt mehrere Zustände, die sich hinsichtlich Lichtstrom und/oder Farbtemperatur und/oder Lichtfarbe unterscheiden ^[10]:
 - durch eine Schaltung von außen oder
 - durch eine lampeninterne Schaltung, die sich beispielsweise eines in die Lampe eingebauten Tageslichtsensors bedient.

⁷ Diese Grenzen des Geltungsbereiches sind für diesen ersten Blauen Engel für Beleuchtung vorgesehen. In späteren Ausbaustufen kann/soll der Geltungsbereich auf Lampen ausgedehnt werden,

- die ein externe Vorschaltgeräte/Netzteil oder dergleichen benötigen,
- die die Möglichkeit zur Steuerung des Lichtstromes bieten (englisch dimming),
- die für den Einsatz in Außenräumen geeignet sind und/oder
- die einen höheren Lichtstrom haben.

⁸ Ausgenommen aus dem Geltungsbereich sind deshalb unter anderem Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, seien es stabförmige oder kompakte.

⁹ Die folgenden beiden Ausnahmen stimmen mit denen der EG-Verordnung 244/2009/EG überein.

¹⁰ Dies betrifft beispielsweise:

- Lampen mit der Möglichkeit zur Steuerung des Lichtstromes (englisch dimming) bieten die Möglichkeit zur Verringerung der Elektroenergie (Stromverbrauch in Kilowattstunden) durch – zumindest teilweise – Anpassung des Lichtstromes an einen sich ändernden Bedarf. Die damit einhergehende Minderung der Elektroenergie fällt, je nach Lampe, unterschiedlich hoch aus. Je nach Ausführung benötigen diese Lampen auch dann noch Wirkleistung (Watt), wenn sie kein Licht mehr abgeben, beispielsweise für den Betrieb eines Tageslichtsensors, so daß sich ein zusätzlicher Bedarf an Elektroenergie ergibt, der der erzielten Einsparung gegenübersteht.
- LED-Lampen, bei denen die Lichtfarbe verändert werden kann. Eine Änderung der Lichtfarbe wirkt sich auf Stromeffizienz und Farbwiedergabe aus. Im allgemeinen ist bei diesen Lampen in dem Betriebspunkt, in dem die Farbwiedergabe am höchsten ist, die Stromeffizienz am niedrigsten und in dem Punkt mit der höchsten Stromeffizienz die Farbwiedergabe am niedrigsten.

3 Anforderungen

3.1 Energieverbrauch

3.1.1 Aufwandskennzahl

Die Aufwandskennzahl EGN der Lampe während der Mindest-Nutzlebensdauer ^[11] von 6'000 Stunden muss folgende Voraussetzung erfüllen:

$EGN \leq 10,16 + 0,291 \times Ra$, mit

EGN = Aufwandskennzahl der Elektroenergie (Stromverbrauch) EGN_{Z85} , bestimmt gemäß Anhang 1, Punkt 2.1 und

Ra = über der Mindest-Nutzlebensdauer gemittelter allgemeiner Farbwiedergabeindex $Ra_{Bil.N1.M}$, bestimmt gemäß Anhang 1, Punkt 2.1.

Nachweis ^[12]

Stichprobengröße und Vorgehen

- Lichtstrom, Wirkleistung, Farbwiedergabeindex und Farbort:
 - o Es wird eine Messung für alle Parameter wie folgt durchgeführt: 20 Lampen werden am Ende der Einbrennzeit (t_i gemäß Anhang 1) gemessen. Dabei darf der schlechteste Wert gestrichen werden und die Anforderung muss von den verbliebenen 19 Lampen erfüllt werden.
 - o Daraus werden 4 Lampen ausgewählt, mit denen jeweils eine weitere Messung zum Zeitpunkt nach 3'000 Stunden Brenndauer ($t_{1.3'000h}$) und zum Zeitpunkt nach 6'000 Stunden Brenndauer ($t_{1.6'000h}$), jeweils unter Beachtung von Anhang 1, durchgeführt werden. Hierfür muss der selbe Satz von 4 Lampen zur Messung benutzt werden. Sollte dabei eine der 4 Lampen ausfallen, so darf diese durch eine weitere Lampe aus dem ursprünglichen 20er-Los ersetzt werden, sofern diese Lampe unter den gleichen Bedingungen gealtert wurde.

¹¹ $LD_{N1.min.BE}$ gemäß Punkt 2.2.2.1 im Anhang 1.

¹² Hinweis: Ein Teil der hier genannten Messungen dient gleichzeitig – vollständig oder teilweise – auch dem Nachweis der Anforderungen in den Punkten

- „3.2.1 Qualität des Lampenlichtes: Farbwiedergabe“,
- „3.2.2 Qualität des Lampenlichtes: Abweichung der ähnlichsten Farbtemperatur T_n “,
- „3.2.3 Beständigkeit der Lampe“ und

Meßverfahren

Alle Messungen sind nach dem Ende der Stabilisierungszeit durchzuführen. Die Stabilisierungszeit ist dann abgeschlossen, wenn der Lichtstrom sich in einer Zeitspanne von 30 Minuten um weniger als $\pm 1 \%$ ändert.

- Lichtstrom: Der Wert von Φ_{Bil} , wird gemäß DIN 5032-1 durch Integration der Lichtstärkeverteilung an der Bilanzgrenze des Nutzens bestimmt (siehe Anhang 1, Punkt 1.1.2). Die Messung des Lichtstromes der Lampen muss wie folgt durchgeführt werden:
 - o entweder für alle Prüfmuster goniometrisch im Fernfeld nach DIN 5032 mit einer Winkelauflösung von $\leq 5^\circ$ in beiden Raumrichtungen oder
 - o exemplarisch an einem Prüfmuster goniometrisch im Fernfeld nach DIN 5032 mit einer Winkelauflösung von $\leq 5^\circ$ in beiden Raumrichtungen. Alle folgenden Messungen können nach DIN 5033 in einer Ulbrichtschen Kugel erfolgen und müssen auf die exemplarische goniometrische Messung bezogen werden. Dies bedeutet, dass das zum Zeitpunkt t_i exemplarisch goniometrisch vermessene Prüfmuster als Lichtstromreferenz (Kugelfaktor) für alle folgenden Messungen verwendet wird.
 - Wirkleistung: Der Wert von P_{Bil} , wird gemäß DIN EN 61000-3-2:2006 an der Bilanzgrenze des Aufwandes (siehe Anhang 1, Punkt 1.1.1) bestimmt.
 - Farbwiedergabe: Die Werte von $Ra_{\text{Bil},i}$ und $Ra_{\text{Bil},1.6'000}$ werden gemäß CIE 13:3:1995, unter Beachtung von Anhang 1 bestimmt.
- Farbort: Die Bestimmung erfolgt gemäß CIE 15:2004 und integral über dem Vollraum. Dies kann goniometrisch oder in einer Ulbrichtschen Kugel erfolgen, die den Anforderungen der CIE 84:1989 entspricht.

Auswertungen

- Aufwandskennzahl: In die Prüfung auf Einhaltung der Anforderung gehen jeweils die aus den 4 Exemplaren der Lampe gemäß Anhang 1, Punkt 2.1 gebildeten Mittelwerte von Lichtstrom ($\Phi_{\text{Bil},N1}$), Wirkleistung ($P_{\text{Bil},N1}$) und allgemeinem Farbwiedergabeindex ($Ra_{\text{Bil},N1,M}$) ein.
- Farbwiedergabe und Farbort: Der Farbwiedergabeindex $Ra_{\text{Bil},N1,M}$ wird wie im Anhang 1, Punkt 2.1 beschrieben, ermittelt. Bei der Angabe des Farbwiedergabeindex sind in Anlehnung an DIN 6169-2 folgende Angaben zu machen:
 - o Der Farbort der Quelle im CIE-u'-v'-w'-System von 1976 gemäß CIE 15:2004,

- o die Bezugslichtart,
- o die einzelnen speziellen Farbwiedergabe-Indizes R1 bis R8 und
- o der allgemeine Farbwiedergabe-Index Ra.

Vorzulegende Unterlagen

Der Antragsteller legt zum Nachweis der Einhaltung dieser Anforderungen das ausgefüllte Formblatt aus Anlage 1 vor. Zusätzlich legt er die Messprotokolle und die zuvor genannten Auswertungen zu Lichtstrom, Wirkleistung, Farbwiedergabe, Aufwandskennzahl und Farbort vor.

3.1.2 Leistungsfaktor für LED-Lampen^[13]

Mit dem Blauen Engel auszuzeichnende LED-Lampen müssen einen Leistungsfaktor haben, der folgende Werte einhält:

Kriterium		Anforderung LED-Lampen
Wirkleistung	< 25 Watt	Leistungsfaktor $\geq 0,75$
Wirkleistung	≥ 25 Watt	Leistungsfaktor $\geq 0,90$

Nachweis

Stichprobengröße und Vorgehen

Der Leistungsfaktor ist bei 5 Lampen durch Messungen zu bestimmen. Alle Messungen sind nach dem Ende der Stabilisierungszeit durchzuführen. Die Stabilisierungszeit ist dann abgeschlossen, wenn der Lichtstrom sich in einer Zeitspanne von 30 Minuten um weniger als $\pm 1\%$ ändert.

Auswertungen

Aus den 5 Werten des Leistungsfaktors wird der Mittelwert gebildet und mit dem oben genannten Höchstwert verglichen.

Vorzulegende Unterlagen

Der Antragsteller legt zum Nachweis der Einhaltung dieser Anforderungen ein Messprotokoll vor und gibt an, auf welcher Grundlage er den Wert bestimmt hat.

3.2 Qualität und Gebrauchstauglichkeit

3.2.1 Qualität des Lampenlichtes: Farbwiedergabe

Der allgemeine Farbwiedergabeindex Ra ($Ra_{Bil.N1.T}$ ^[14] gemäß Anhang 1, Punkt 2.2.1) nach CIE 13:3:1995 der Lampe muss für einen 10°-Normalbeobachter während der Nutzlebensdauer der Lampe größer oder gleich 80 sein.

Nachweis

Stichprobengröße, Vorgehen und Meßverfahren

Es gelten die gleichen Vorgaben wie im Nachweistext zu Punkt 3.1.1 beschrieben.

Auswertungen

Für die Zeitpunkte t_i und $t_{1.6'000h}$ werden aus den jeweils festgestellten Werten des allgemeinen Farbwiedergabeindex die jeweiligen Mittelwerte errechnet. Der Wert für $Ra_{Bil.N1.T}$ wird dann gemäß Anhang 1, Punkt 2.2.1 auf Grundlage dieser Mittelwerte bestimmt.

Vorzulegende Unterlagen

Der Antragsteller legt zum Nachweis der Einhaltung dieser Anforderungen das ausgefüllte Formblatt aus Anlage 1 vor. Die der Auswertung zugrundeliegenden Messprotokolle liegen mit dem Nachweis zum Punkt 3.1.1 bereits vor.

¹³ Die EG-Verordnung 244/2009/EG fordert für Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht, mit Ausnahme von LED-Lampen, dass der (Elektro-) Leistungsfaktor einen bestimmten Wert nicht unterschreitet. Hier werden deshalb nur Anforderungen für LED-Lampen ergänzend festgelegt.

¹⁴ Dies ist der über der Mindest-Nutzlebensdauer ermittelte Mindestwert des allgemeinen Farbwiedergabeindex. Er sollte nicht verwechselt werden mit dem im Punkt 3.1.1 verwendeten über der Mindest-Nutzlebensdauer ermittelte Mittelwert $Ra_{Bil.N1.M}$ des allgemeinen Farbwiedergabeindex.

3.2.2 Qualität des Lampenlichtes: Abweichung der ähnlichsten Farbtemperatur T_n

Lage des Farbortes

Der Farbort einer Lampe sollte nicht zu sehr von dem Farbort der Farbtemperatur abweichen, die der Hersteller für die Lampe (in der Werbung, auf der Verpackung usw.) angibt.

Deshalb darf der Farbabstand zwischen dem Farbort eines Prüfmusters und dem Farbort der angegebenen Farbtemperatur zum Zeitpunkt t_i bei 19 der 20 Prüfmuster nicht größer sein als 0,007 Einheiten im CIE- u' - v' -1976-Diagramm.

Der Farbort jedes Prüfmusters muss sich im Korridor der ähnlichsten Farbtemperatur gemäß DIN 6169-2 befinden.

Farbhomogenität

Die Farborte typengleicher Lampen sollten nicht sehr voneinander abweichen.

Deshalb darf der Farbabstand zwischen dem Farbort eines Prüfmusters und dem Farbort eines beliebigen anderen Prüfmusters zum Zeitpunkt t_i bei 19 der 20 Prüfmuster nicht größer sein als 0,006 Einheiten im CIE- u' - v' -1976-Diagramm.

Farbtonerhalt

Der Farbort einer Lampe sollte sich während ihrer Lebensdauer nicht zu sehr ändern.

Deshalb darf der Farbabstand zwischen dem Farbort eines Prüfmusters zu den Zeitpunkten $t_{1.3'000h}$ und $t_{1.6'000h}$ und dem Farbort des jeweils selben Prüfmusters zum Zeitpunkt t_i bei 4 Prüfmustern nicht größer sein als 0,007 Einheiten im CIE- u' - v' -1976-Diagramm. Die Abweichung ist für jedes Prüfmuster individuell festzustellen.

Nachweis

Die für den Nachweis erforderlichen Messprotokolle liegen mit den Nachweisen zum Punkt 3.1.1 bereits vor.

3.2.3 Beständigkeit der Lampe

Die Lampe muss die folgenden Anforderungen erfüllen:

Kriterium	Anforderung
Nutzlebensdauer ^{[15]/16}	≥ 6'000 Stunden
Schaltfestigkeit ^{[17]/18}	≥ 20'000 Schaltzyklen
Frühausfallrate ^[19]	≤ 2 %

Nachweis

Stichprobengröße, Vorgehen und Meßverfahren

Zur Bestimmung aller lichttechnischen Größen, werden Messungen nach dem im Nachweis zu 3.1.1 beschriebenen Verfahren durchgeführt.

- Nutzlebensdauer: Für 20 Exemplare der Lampe wird der Verlauf des Lampenlebensdauerfaktors über der Zeit bei sogenanntem langem Schaltzyklus ^[16] vom Ende der Einbrennzeit (t_i gemäß Anhang 1) bis zu dem Zeitpunkt nach 6'000 Stunden Brenndauer ($t_{1.6'000h}$ gemäß Anhang 1) erfaßt, gemessen nach EN 60969 ^[20], unter Beachtung von Anhang 1, Punkt 2.2.2.1.
- Schaltfestigkeit: Für 20 Exemplare der Lampe wird der Lampenlebensdauerfaktor nach 20'000 Schaltungen im sogenannten kurzem Schaltzyklus ^[18] unter Beachtung von Anhang 1, Punkt 2.2.2.2 erfaßt.
- Frühausfallrate: Für 20 Exemplare der Lampe wird der Lampenlebensdauerfaktor nach 400 h Brenndauer im sogenannten langem Schaltzyklus erfaßt; gemäß CIE 97:2005 und unter Beachtung von Anhang 1, Punkt 2.2.2.3.

¹⁵ Die Nutzlebensdauer LD_{N1} bezeichnet die Zeit, die beim langen Schaltzyklus ^[16] vom Ende der Einbrennzeit (t_i) an vergeht, bis der Lampenlichtstromerhalt 85 % und/oder der Lampenlebensdauerfaktor 50 % unterschreitet.

¹⁶ das heißt bei dem Schaltzyklus S.165.15, siehe im Anhang 1, Punkt 1.2.

¹⁷ Die Schaltfestigkeit bezeichnet die Anzahl an kurzen Schaltzyklen ^[18], mit denen Lampen einen Lampenlebensdauerfaktor von 50 % erreichen.

¹⁸ das heißt bei dem Schaltzyklus S.05.45, siehe im Anhang 1, Punkt 1.2.

¹⁹ Die Frühausfallrate bezieht sich auf die gesamte Produktionsmenge. Der Wert von ≤ 2 % muß nach statistischen Berechnungsmethoden für alle Lampen einer Produktion erfüllt sein. Bezüglich der Stichprobengröße von 20 Lampen entsprechen 2 % nur 0,4 Lampen. Deshalb wird festgelegt: Der Ausfall darf höchstens 1 Lampe betragen.

²⁰ auch wenn es sich nicht um eine Lampe mit eingebautem Vorschaltgerät handelt

Auswertungen

- Nutzlebensdauer: Die Anforderung gilt als erfüllt, wenn mindestens 10 Exemplare der Lampen die oben genannte Zahl an Stunden erreicht.
- Schaltfestigkeit: Die Anforderung gilt als erfüllt, wenn mindestens 10 Exemplare der Lampen die oben genannte Zahl an Schaltungen erreicht.
- Frühausfallrate: Die Anforderung gilt als erfüllt, wenn höchstens eine Lampe während der Messung ausfällt.

Vorzulegende Unterlagen:

Der Antragsteller legt zum Nachweis der Einhaltung dieser Anforderungen das ausgefüllte Formblatt aus Anlage 1 vor. Zusätzlich legt er die Prüfergebnisse zu den zuvor genannten Messungen vor.

Zum Verlauf des Lampenlichtstromes liegen die erforderlichen Unterlagen bereits mit dem Nachweis zum Punkt 3.1.1 vor.

3.2.4 Lichtstrom beim Einschalten (Anlaufzeit)

Die Lampe muss die folgenden Anforderungen erfüllen:

Lampenart	Anforderung an die Anlaufzeit bei eingeleuchteter Lampe bis zum Erreichen von 80 % des Anfangslichtstromes ^[21]
Kompaktleuchtstofflampen mit Amalgam	≤ 60 s
Sonstige Lampen im Geltungsbereich	≤ 30 s

Nachweis

Der Antragsteller erklärt, ob die Lampe Amalgam enthält.

Der Nachweis beruht auf den zum Zeitpunkt t_i (Ende der Einbrennzeit) nach dem im Nachweis zu 3.1.1 beschriebenen Verfahren zur Messung von lichttechnischen Größen gemessenen Lichtstrom. Der Antragsteller weist die Einhaltung der Anforderungen durch Vorlage der Prüfergebnisse für mindestens 19 Exemplare der Lampe unter Einhaltung der Vorgaben aus EN 60969 ^[20] (Lampen mit eingebautem Vorschaltgerät für Allgemeinbeleuchtung) nach.

3.3 Schadstoffe: Quecksilbergehalt der Lampe

Sofern die Lampe Quecksilber enthält, muss dessen Gehalt HG folgende Anforderung erfüllen:

$$HG \leq 0,6 + 0,03 \times \sqrt{\Phi} + 0,00008 \times LD, \text{ mit}$$

HG = Quecksilbergehalt der Lampe vor dem ersten Einschalten der Lampe in Milligramm [mg],

Φ = Anfangslichtstrom der Lampe $\Phi_{\text{Bil},i}$ in Lumen [lm] an der Bilanzgrenze des Nutzens (siehe Anhang 1, Punkt 1.1.2), und

LD = Nutzlebensdauer $LD_{N,1}$ der Lampe in Stunden [h], ermittelt gemäß Anhang 1.

Nachweis

Stichprobengröße, Vorgehen und Meßverfahren

- *Anfangslichtstrom Lichtstrom $\Phi_{\text{Bil},i}$: Die Bestimmung erfolgt wie unter Punkt 3.1.1 beschrieben unter Beachtung von Anhang 1.*
- *Nutzlebensdauer $LD_{N,1}$: Die Bestimmung erfolgt wie unter Punkt 3.2.3 beschrieben, aber bis zum Ende der Nutzlebensdauer unter Beachtung von Anhang 1.*
- *Quecksilbergehalt HG der Lampe: Die Bestimmung erfolgt nach dem im Anhang der Entscheidung der Kommission 2002/747/EG ^[22] unter Punkt 1 beschriebenen Verfahren.*

Auswertungen

In obige Gleichung gehen ein: Bei Anfangslichtstrom $\Phi_{\text{Bil},i}$ und Nutzlebensdauer $LD_{N,1}$ die über die Stichprobengröße gemittelten Werte; bei dem Quecksilbergehalt HG der sich aus dem oben genannten Verfahren (2002/747/EG) ergebende Mittelwert.

- *Sofern die Höhe der Nutzlebensdauer ^[15] der Lampe bekannt ist, errechnet sich der Höchstwert für den Quecksilbergehalt HG der Lampe nach der oben angegebenen Gleichung.*

²¹ Der Anfangslichtstrom $\Phi_{\text{Bil},i}$ ist in Anhang 1, Punkt 1.4, beschrieben.

²² „Entscheidung der Kommission vom 9. September 2002 zur Festlegung überarbeiteter Umweltkriterien zur Vergabe des EG-Umweltzeichens für Lampen und zur Änderung der Entscheidung 1999/568/EG (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2002) 3310) (Text von Bedeutung für den EWR) (2002/747/EG)“

- Falls die Höhe der Nutzlebensdauer der Lampe nicht bekannt ist ^[23], ist wie folgt zu verfahren:
 - o Der Quecksilbergehalt HG der Lampe muß den Wert einhalten, der sich aus obiger Gleichung ergibt, wenn LD = dem Wert der Lebensdauer gesetzt wird, bis zu dem die Nutzlebensdauer nachgewiesen werden kann ^[24].
 - o Liegt der Quecksilbergehalt der Lampe über diesem Höchstwert, ist wie folgt zu verfahren: Der Quecksilbergehalt HG der Lampe muß den Wert einhalten, der sich aus obiger Gleichung ergibt, wenn LD = dem Wert der mittleren Lebensdauer ^[25] gesetzt wird.

Vorzulegende Unterlagen:

- Für Lampen, die kein Quecksilber enthalten, legt der Antragsteller zum Nachweis der Einhaltung dieser Anforderungen eine Herstellererklärung über das Nichtvorhandensein von Quecksilber vor.
- Für Lampen, die Quecksilber enthalten, legt der Antragsteller zum Nachweis der Einhaltung dieser Anforderungen folgende Unterlagen vor:
 - o Das ausgefüllte Formblatt aus Anlage 1,
 - o einen Prüfbericht zu dem oben unter „Stichprobengröße und Meßverfahren“ zur Bestimmung des Quecksilbergehaltes genannten Verfahren (2002/747/EG) und
 - o ein Prüfprotokoll zum Verlauf des Lichtstromes und des Lampenlebensdauerfaktors bis zum Ende der Nutzlebensdauer soweit dieser Verlauf ermittelt wurde.
 - o Sofern die Lampe entsprechend dem zuvor beschriebenen Verfahren nur denjenigen Quecksilberhöchstwert einhält, der sich unter Verwendung des Wertes der mittleren Lebensdauer ergibt, legt der Antragsteller zusätzlich ein Prüfprotokoll gemäß DIN EN 60969 ^[26] vor.

²³ Dies tritt dann auf, wenn der Verlauf des Lichtstromes und des Lampenlebensdauerfaktors nicht bis zu dem Ende der Nutzlebensdauer ermittelt wurde. Auf jeden Fall muß aber der Verlauf aufgrund der Anforderungen im Punkt 3.1.1 bis zum Zeitpunkt $t_{1.6'000h}$ bekannt sein.

²⁴ Dies ist der Zeitpunkt, bis zu dem sowohl der Verlauf des Lichtstromes mit $\geq 85\%$ des Anfangswertes als auch der Verlauf des Lampenlebensdauerfaktors mit $\geq 50\%$ gemessen wurde.

²⁵ Diese bezeichnet die Brennzeit, die beim langen Schaltzyklus ^[16] vom Ende der Einbrennzeit (t_i) an vergeht, bis der Lampenlebensdauerfaktor den Wert 50 % unterschreitet.

²⁶ Diese Norm sieht als Untergrenze der Stichprobengröße 20 Lampen vor.

3.4 UV-Strahlung

Auszuzeichnende Lampen dürfen im Abstand von 20 cm vom Lichtschwerpunkt (wie in DIN EN 62471 festgelegt) folgende Werte nicht überschreiten:

- Aktinisches UV (250 nm bis 400 nm) - $E_s = 0,01 \text{ mW/m}^2$ nicht überschreiten.
- UVA (315 nm bis 400 nm) - $E_{\text{UVA}} = 100 \text{ mW/m}^2$, bezogen auf 1'000 Lux.

Für eine Reduzierung durch Blaulichtgefährdung müssen Lampen zusätzlich der Risikoklasse („exempt group“) 0, wie in DIN EN 62471 definiert, 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.

3.5 Elektromagnetische Felder

Auszuzeichnende Lampen 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 Gleichung E.2.4 des zum Nachweis anzuwendenden Beurteilungsverfahrens definierte Faktor.

Nachweis

Der Antragsteller weist die Einhaltung dieser Anforderung durch Messung nach DIN IEC 62493 (Beurteilung von Beleuchtungseinrichtungen bezüglich der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern - Produktfamiliennorm (IEC 34/116/CD:2008)) ^[27] für eine zufällig ausgewählte Lampe nach und legt ein entsprechendes Prüfprotokoll vor. 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.

3.6 Sicherheit gegen Stromschlag bei zweiseitig gesockelten Lampen

Die Lampe muß so gestaltet sein, daß beim einseitigen Einsetzen der Lampe in eine Leuchte die Gefahr eines Stromschlages ausgeschlossen ist. Die Isolierung zwischen einem Sockelstift oder Kontakt auf der einen Seite und einem Sockelstift oder Kontakt auf der anderen Seite darf einen Wert von 2 M Ω (Megaohm) nicht unterschreiten.

Nachweis

Die Anforderung muss durch eine Messung an einer Lampe mit einem üblichen Prüfgerät mit einer Spannung von 500 Volt (DC) nachgewiesen werden. Der Antragsteller legt ein entsprechendes Prüfprotokoll vor.

3.7 Verbraucherinformationen

3.7.1 Verpackung

Die in der Verordnung der Kommission 244/2009/EG, Anhang II, Abschnitt 3.1 genannten Anforderungen müssen erfüllt sein. Auf der Verpackung muss auf eine Internetseite hingewiesen werden, auf der geeignete Sammelstellen angegeben sind (z.B. www.lichtzeichen.de).

Nachweis

Der Antragsteller weist die Einhaltung der Anforderungen durch Vorlage einer Musterverpackung nach.

²⁷ Dieser Standard ist zur Zeit der Kriterienaufstellung noch im öffentlich verfügbaren Entwurfsstadium (final draft international standard). Soweit möglich werden laufende Änderungen in die Kriterienentwicklung aufgenommen. Ansonsten gilt die neueste gültige Fassung des Standards.

3.7.2 Internet

Die in der Verordnung der Kommission 244/2009/EG, Anhang II, Abschnitt 3.2 genannten Anforderungen müssen erfüllt sein.

Nachweis

Der Antragsteller weist die Einhaltung der Anforderungen durch Vorlage einer Darstellung der betreffenden Internetseiten sowie deren genauer URL^[28] (sprich Internetadresse) nach.

3.8 Akkreditierte Labore

Sämtliche in diesen Vergabegrundlagen vorzulegende Nachweise, bis auf diejenigen unter 3.6, sind durch ein nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Labor durchzuführen. Der Antragsteller trägt die dafür entstehenden Kosten.

4 Zeichennehmer und Beteiligte

4.1 Zeichennehmer sind Hersteller oder Vertreiber von Produkten gemäß Abschnitt 1.4.

4.2 Am Vergabeverfahren sind folgende Stellen beteiligt: RAL und Bundesland, in dem die Produktionsstätte liegt, in der die zu kennzeichnenden Produkte hergestellt werden.

5 Zeichenbenutzung

5.1 Die Benutzung des Umweltzeichens durch den Zeichennehmer erfolgt aufgrund eines mit dem RAL abzuschließenden Zeichenbenutzungsvertrages.

5.2 Im Rahmen dieses Vertrages übernimmt der Zeichennehmer die Verpflichtung, die Anforderungen gemäß Abschnitt 3 für die Dauer der Benutzung des Umweltzeichens einzuhalten.

5.3 Für die Kennzeichnung von Produkten gemäß Abschnitt 2 werden Zeichenbenutzungsverträge abgeschlossen. Die Geltungsdauer dieser Verträge läuft bis zum 31. 12. 2013. Sie verlängert sich jeweils um ein weiteres Jahr, falls der Vertrag nicht bis zum

²⁸ Uniform Ressource Locator – im deutschen auch „Internetadresse“

31. 3. 2013 bzw. 31.03. des jeweiligen Verlängerungsjahres schriftlich gekündigt wird. Eine Weiterverwendung des Umweltzeichens ist nach Vertragsende weder zur Kennzeichnung noch in der Werbung zulässig. Noch im Handel befindliche Produkte bleiben von dieser Regelung unberührt.

- 5.4** Der Zeichennehmer (Hersteller) kann die Erweiterung des Benutzungsrechtes für das kennzeichnungsberechtigte Produkt beim RAL beantragen, wenn es unter einem anderen Marken-/Handelsnamen und/oder anderen Vertriebsorganisationen in den Verkehr gebracht werden soll.
- 5.5** In dem Zeichenbenutzungsvertrag ist festzulegen:
 - 5.5.1** Zeichennehmer (Hersteller/Vertreiber)
 - 5.5.2** Marken-/Handelsname, Produktbezeichnung
 - 5.5.3** Inverkehrbringer (Zeichenanwender), d.h. die Vertriebsorganisation gemäß Abschnitt 5.4.

VERTRAG

Nr.

über die Vergabe des Umweltzeichens

RAL gGmbH als Zeichengeber und die Firma

(Inverkehrbringer)

als Zeichennehmer - nachfolgend kurz ZN genannt -
schließen folgenden Zeichenbenutzungsvertrag:

M U S T E R

1. Der ZN erhält das Recht, unter folgenden Bedingungen das dem Vertrag zugrunde liegende Umweltzeichen zur Kennzeichnung des Produkts/der Produktgruppe/Aktion **Lampen** für

"(Marken-/Handelsname)"

zu benutzen. Dieses Recht erstreckt sich nicht darauf, das Umweltzeichen als Bestandteil einer Marke zu benutzen. Das Umweltzeichen darf nur in der abgebildeten Form und Farbe mit der unteren Umschrift "Jury Umweltzeichen" benutzt werden, soweit nichts anderes vereinbart wird. Die Abbildung der gesamten inneren Umschrift des Umweltzeichens muss immer in gleicher Größe, Buchstabenart und -dicke sowie -farbe erfolgen und leicht lesbar sein.

2. Das Umweltzeichen gemäß Abschnitt 1 darf nur für o. g. Produkt/Produktgruppe/Aktion benutzt werden.
3. Für die Benutzung des Umweltzeichens in der Werbung oder sonstigen Maßnahmen des ZN hat dieser sicherzustellen, dass das Umweltzeichen nur in Verbindung zu o. g. Produkt/Produktgruppe/Aktion gebracht wird, für die die Benutzung des Umweltzeichens mit diesem Vertrag geregelt wird. Für die Art der Benutzung des Zeichens, insbesondere im Rahmen der Werbung, ist der Zeichennehmer allein verantwortlich.
4. Das/die zu kennzeichnende Produkt/Produktgruppe/Aktion muss während der Dauer der Zeichenbenutzung allen in der "Vergabegrundlage für Umweltzeichen RAL-UZ 151" in der jeweils gültigen Fassung enthaltenen Anforderungen und Zeichenbenutzungsbedingungen entsprechen. Dies gilt auch für die Wiedergabe des Umweltzeichens (einschließlich Umschrift). Schadensersatzansprüche gegen die RAL gGmbH, insbesondere aufgrund von Beanstandungen der Zeichenbenutzung oder der sie begleitenden Werbung des ZN durch Dritte, sind ausgeschlossen.
5. Sind in der "Vergabegrundlage für Umweltzeichen" Kontrollen durch Dritte vorgesehen, so übernimmt der ZN die dafür entstehenden Kosten.

6. Wird vom ZN selbst oder durch Dritte festgestellt, dass der ZN die unter Abschnitt 2 bis 5 enthaltenen Bedingungen nicht erfüllt, verpflichtet er sich, dies der RAL gGmbH anzuzeigen und das Umweltzeichen solange nicht zu benutzen, bis die Voraussetzungen wieder erfüllt sind. Gelingt es dem ZN nicht, den die Zeichenbenutzung voraussetzenden Zustand unverzüglich wiederherzustellen oder hat er in schwerwiegender Weise gegen diesen Vertrag verstoßen, so entzieht die RAL gGmbH gegebenenfalls dem ZN das Umweltzeichen und untersagt ihm die weitere Benutzung. Schadensersatzansprüche gegen die RAL gGmbH wegen der Entziehung des Umweltzeichens sind ausgeschlossen.

7. Der Zeichenbenutzungsvertrag kann aus wichtigen Gründen gekündigt werden.

Als solche gelten z. Beispiel:

- nicht gezahlte Entgelte
- nachgewiesene Gefahr für Leib und Leben.

Eine weitere Benutzung des Umweltzeichens ist in diesem Fall verboten. Schadensersatzansprüche gegen die RAL gGmbH sind ausgeschlossen (vgl. Ziffer 6 Satz 3).

8. Der ZN verpflichtet sich, für die Benutzungsdauer des Umweltzeichens der RAL gGmbH ein Entgelt gemäß "Entgeltordnung für das Umweltzeichen" in ihrer jeweils gültigen Ausgabe zu entrichten.
9. Die Geltungsdauer dieses Vertrages läuft gemäß "Vergabegrundlage für Umweltzeichen RAL-UZ 151" bis zum 31.12.2013. Sie verlängert sich jeweils um ein weiteres Jahr, falls der Vertrag nicht bis zum 31.03.2013 bzw. bis zum 31.03. des jeweiligen Verlängerungsjahres schriftlich gekündigt wird. Eine Benutzung des Umweltzeichens ist nach Vertragsende weder zur Kennzeichnung noch in der Werbung zulässig. Noch im Handel befindliche Produkte bleiben von dieser Regelung unberührt.
10. Mit dem Umweltzeichen gekennzeichnete Produkte/ Aktionen und die Werbung dafür dürfen nur bei Nennung der Firma des

(ZN/Inverkehrbringers)

an den Verbraucher gelangen.

Sankt Augustin, den

Ort, Datum

RAL gGmbH
Geschäftsleitung

(rechtsverbindliche Unterschrift
und Firmenstempel)

Grundlagen und Anleitung für Anträge zum Blauen Engel RAL-UZ 151 für Lampen

Anwendung des UBA-Ansatzes zur
Bewertung von Produkten der Beleuchtungstechnik

Umweltbundesamt

27. Juli 2010

www.uba.de/energie/licht

Verfasser:

**Fachgebiet I 2.4
„Energieeffizienz“**

Christoph Mordziol

Inhaltsverzeichnis

1	Übergreifendes.....	4
1.1	Bilanzgrenzen.....	4
1.1.1	Bilanzgrenze des Aufwandes.....	5
1.1.2	Bilanzgrenze des Nutzens.....	5
1.2	Schaltzyklen	6
1.3	Zeitpunkte.....	6
1.4	Lichtstrom	8
1.5	Farbtemperatur	9
1.6	Farbwiedergabe	9
1.7	Wirkleistung	10
1.8	Beständigkeit.....	10
1.8.1	Lampenüberlebensrate.....	10
1.8.2	Lampenlichtstromerhalt.....	11
1.8.3	Nutzlebensdauer	11
2	Anforderungen des Blauen Engels für Lampen (RAL-UZ 151)	12
2.1	Zu Punkt 3.1.1 der Vergabegrundlage: Aufwandskennzahl.....	12
2.2	Qualität und Gebrauchstauglichkeit.....	15
2.2.1	Zu Punkt 3.2.1 der Vergabegrundlage: Qualität des Lampenlichtes – Farbwiedergabe	15
2.2.2	Zu Punkt 3.2.3 der Vergabegrundlage: Beständigkeit der Lampe.....	15
2.2.2.1	Nutzlebensdauer.....	15
2.2.2.2	Sogenannte Schaltfestigkeit	16
2.2.2.3	Sogenannte Frühausfallrate.....	17
3	Verzeichnis der Begriffsbestimmungen/Index.....	18

Die vorliegende Schrift stellt die Anwendung des UBA-Ansatzes zur „Bewertung von Produkten der Beleuchtungstechnik“¹ in der Vergabegrundlage des Blauen Engels dar und erläutert Hintergründe und Auslegung zu einigen Anforderungen des Blauen Engels. Sie dient dem Verständnis und vor allem der Durchführung der Nachweise der Anforderungen des Blauen Engels für Lampen und ist als Anhang 1 der Vergabegrundlage zugeordnet.

Abschnitt 1 erläutert übergreifendes sowie Begriffsbestimmungen, die bei mehreren Anforderungen eine Rolle spielen.

Im Abschnitt 2 sind Begriffsbestimmungen und Rechenwege dargestellt, die die Grundlage für einen Teil der Anforderungen des Blauen Engels bilden.

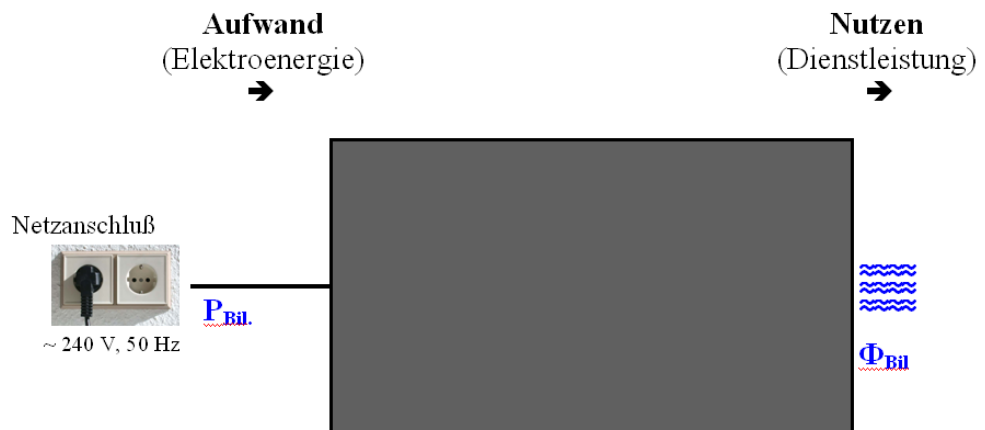
Das Verzeichnis der Begriffsbestimmungen und Abkürzungen mit Seitenzahlen im Abschnitt 3 erleichtert das Nachschlagen.

Ein Pfeil (↑), der einer Bezeichnung vorangestellt ist, weist darauf hin, daß diese Bezeichnung an anderer Stelle erklärt ist.

1 Übergreifendes

1.1 Bilanzgrenzen

Erklärung: Grundsatz: Strom rein, Licht raus



Berücksichtigt werden soll

- aller Aufwand, der erforderlich ist, um die benötigte Lichtdienstleistung zu erbringen und
- nur der Nutzen/die Dienstleistung, der dem Nutzer auch zur Verfügung steht.

¹ Dieser Ansatz ist derzeit – Stand Mai 2010 – noch nicht veröffentlicht. Hier ist nur der Teil des Ansatzes dargestellt, der für die Vergabegrundlage des Blauen Engels eine Rolle spielt. Weitere Informationen unter www.uba.de/energie/licht.

1.1.1 Bilanzgrenze des Aufwandes

- Erklärung: Ein Blick in den zuvor dargestellten „schwarzen Kasten“ zeigt:
Es gibt unter anderem
- Lampen mit und ohne eingebautem Vorschaltgerät;
 - Lampen, für deren Betrieb eine Kühlung erforderlich ist und
 - Elemente zur Regelung oder Steuerung des Lichtstromes.
- Je nach Ausführung kann dadurch zu dem Stromverbrauch der Lampe ein weiterer Stromverbrauch entstehen.
- Jeglicher Stromverbrauch soll berücksichtigt werden, unabhängig davon, ob er in der Lampe oder außerhalb erfolgt; d.h. jeglicher Stromverbrauch, der für den Nutzer anfällt.

Festlegung:

Bilanzgrenze des Aufwandes

ist der Anschluß an die Stromversorgung mit 230 Volt und 50 Herz. Die Bilanzgrenze umfaßt alle Einrichtungen, die erforderlich sind, damit die Lampe die gewünschte Dienstleistung erbringen kann.

1.1.2 Bilanzgrenze des Nutzens

- Erklärung: Es gibt Lampen, für deren Betrieb ein Schutzglas oder ein Schutzgitter erforderlich ist,
- um im Falle eines Berstens Nutzer vor Splittern zu schützen (beispielsweise bei bestimmten Halogenlampen mit großem Lichtstrom) oder
 - um im Betrieb den Nutzer vor UV-Strahlung zu schützen.
- Je nach Ausführung kann dies das abgegebene Licht in Bezug auf Höhe des Lichtstromes sowie Farbtemperatur und Farbwiedergabe beeinflussen.
- Berücksichtigt werden soll nur das Licht, das dem Nutzer zur Verfügung steht.

Festlegung:

Bilanzgrenze des Nutzens

ist die Hüllfläche, nach deren Durchtreten das von der Lampe abgegebene Licht dem Nutzer ohne (weitere) durch die Lampentechnik bedingte Einschränkung oder Beeinflussung zur Verfügung steht. Die Bilanzgrenze umfaßt alle Einrichtungen, die erforderlich sind, damit die Lampe die gewünschte Dienstleistung erbringen kann, also beispielsweise UV-Filter und Schutzgitter gegen Glassplitter. Lichtstrom, Farbtemperatur und Farbwiedergabe sind für dasjenige Licht zu bestimmen, das die genannte Hüllfläche durchtreten hat.

1.2 Schaltzyklen

Festlegung:

Schaltzyklus S

bezeichnet eine Folge von Ein- und Ausschaltzeiten bestimmter Länge.

Schaltzyklus S.165.15 (in der Vergabegrundlage des Blauen Engels vereinfachend „langer Schaltzyklus“ genannt)

bezeichnet einen Schaltzyklus, bei dem die Lampe 165 Minuten ($2\frac{3}{4}$ Stunden) ein- und 15 Minuten ($\frac{1}{4}$ Stunde) ausgeschaltet wird.

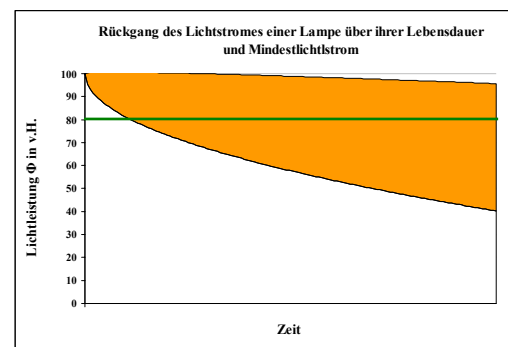
Schaltzyklus S.05.45 (in der Vergabegrundlage des Blauen Engels vereinfachend „kurzer Schaltzyklus“ genannt)

bezeichnet einen Schaltzyklus, bei dem die Lampe 0,5 Minuten (30 Sekunden) ein- und $4\frac{1}{2}$ Minuten ausgeschaltet wird.

Erklärung: Im folgenden werden Zustände betrachtet, in denen sich eine Lampe nach einer gewissen Zahl an Schaltungen bzw. Brennstunden befindet. Dies sind Zeitpunkte (siehe Punkt 1.3), zu denen die Lampe einen bestimmten Lichtstrom (Punkt 1.4) mit einer bestimmten Farbwiedergabe (1.6) abgibt, eine bestimmte Elektroleistung aufnimmt (1.7) und eine bestimmte Lampenüberlebensrate (1.8.1) aufweist. Die Eigenschaften, beispielsweise die Lampenüberlebensrate, können von dem Schaltzyklus abhängen. Damit bei einer Angabe wie beispielsweise der Lampenüberlebensrate nach 3'000 Brennstunden klar ist, in welchem Schaltzyklus diese 3'000 Stunden erreicht wurden, werden Indizes verwendet: „1“ steht für den Schaltzyklus S.165.15 und „2“ steht für den Schaltzyklus S.05.45.

1.3 Zeitpunkte

Erklärung: Anforderungen an Lampen beziehen sich im allgemeinen auf den sogenannten Anfangszustand, also den Zustand, in dem sich die Lampe am Ende der Einbrennzeit befindet – beispielsweise in der Verordnung 244/2009/EG. Im Laufe des Lebens einer Lampe geht aber der
↑ Lichtstrom zurück.



Dieser Rückgang an Lichtdienstleistung kann berücksichtigt werden, indem bei Bewertungen, der über der Zeit gemittelte Lichtstrom betrachtet wird und/oder indem ein Wert für den zulässigen Rückgang gesetzt wird.

Festlegung:

Einbrennzeit [Stunden]

bezeichnet die Zeit, die vergeht, bis die Lampe eingebrannt ist:

Lampentyp	h
Entladungslampen	100
Glühlampen	1
LED-Lampen	3
sonstige Lampen	0

Ende der Einbrennzeit t_i

bezeichnet den Zeitpunkt, zu dem die Lampe nach dem erstmaligen Einschalten ohne Unterbrechung die Einbrennzeit in Betrieb war:

Zeitpunkt nach 400 Stunden Brenndauer $t_{1.400h}$

bezeichnet den Zeitpunkt, zu dem die Lampe unmittelbar im Anschluß an das Ende der Einbrennzeit ($\uparrow t_i$) im Schaltzyklus $\uparrow$ S.165.15 betrieben worden ist und 400 Brennstunden erreicht hat.

Zeitpunkt nach 3'000 Stunden Brenndauer $t_{1.3'000h}$

bezeichnet den Zeitpunkt, zu dem die Lampe unmittelbar im Anschluß an das Ende der Einbrennzeit ($\uparrow t_i$) im Schaltzyklus $\uparrow$ S.165.15 betrieben worden ist und 3'000 Brennstunden erreicht hat.

Zeitpunkt nach 6'000 Stunden Brenndauer $t_{1.6'000h}$

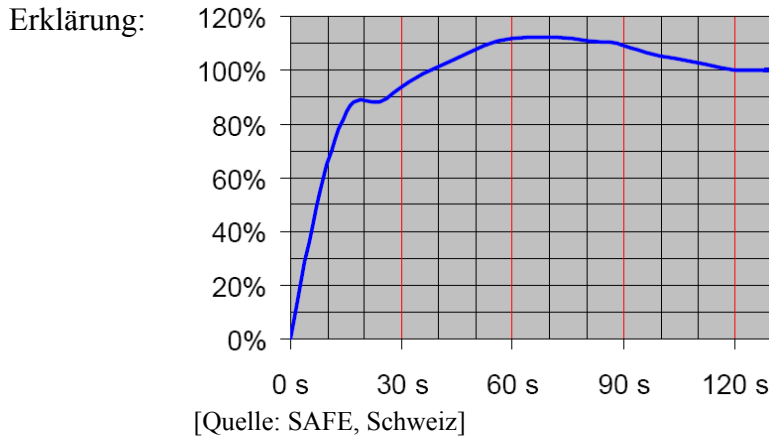
bezeichnet den Zeitpunkt, zu dem die Lampe unmittelbar im Anschluß an das Ende der Einbrennzeit ($\uparrow t_i$) im Schaltzyklus $\uparrow$ S.165.15 betrieben worden ist und 6'000 Brennstunden erreicht hat.

Zeitpunkt nach 20'000 Schaltungen $t_{2.20'000S}$ ^[2]

bezeichnet den Zeitpunkt, zu dem die Lampe unmittelbar im Anschluß an das Ende der Einbrennzeit ($\uparrow t_i$) im Schaltzyklus $\uparrow$ S.05.45 betrieben worden ist und 20'000 Schaltungen erreicht hat.

² Da sich der Index bei diesem Zeitpunkt im Gegensatz zu t_{400h} und $t_{6'000h}$ nicht auf die Brennstunden, sondern auf die Zahl der Schaltungen bezieht, wird an die 20'000 ein „S“ gehängt.

1.4 Lichtstrom



Je nach Lampentechnik kann der Lichtstrom nach dem Einschalten kurzzeitig einen Wert erreichen, der über dem Wert liegt, den die Lampe nach dem „Einschwingen“ erreicht.

Festlegung:

Lichtstrom Φ [Lumen]

bezeichnet eine von der Strahlungsleistung³ durch Bewertung der Strahlung entsprechend der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges abgeleitete Menge.

Bilanzlichtstrom Φ_{Bil} [Lumen]

bezeichnet den Lichtstrom einer Lampe, die sie nach dem Einschalten nach dem Ende der Stabilisierungszeit erreicht und die an der ↑ Bilanzgrenze des Nutzens gemessen wird. Die Lichtstrom Φ_{Bil} einer Lampe ist der Durchschnittswert einer Gruppe von Lampen. Sie ist zu unterscheiden von dem Nennwert des Lichtstromes, den der Hersteller beispielsweise auf der Verpackung angibt und der gerundet sein kann.

Anfangswert des Lichtstromes $\Phi_{\text{Bil},i}$ [Lumen]^[4]

bezeichnet den Wert des ↑ Bilanzlichtstromes Φ_{Bil} , den die Lampe zum ↑ Ende der Einbrennzeit t_i abgibt.

Lichtstrom nach 3'000 Brennstunden $\Phi_{\text{Bil},1.3'000h}$ [Lumen]

bezeichnet den Wert des ↑ Bilanzlichtstromes Φ_{Bil} , den die Lampe zum Zeitpunkt nach 3'000 Stunden Brenndauer (↑ $t_{1.3'000h}$) im Schaltzyklus S.165.15 abgibt.

³ auch Strahlungsfluß genannt

⁴ auch Anfangslichtstrom genannt

Lichtstrom nach 6'000 Brennstunden $\Phi_{\text{Bil},1.6'000\text{h}}$ [Lumen]

bezeichnet den Wert des $\uparrow$ Bilanzlichtstromes Φ_{Bil} , den die Lampe zum Zeitpunkt nach 6'000 Stunden Brenndauer ($\uparrow t_{1.6'000\text{h}}$) im Schaltzyklus S.165.15 abgibt.

1.5 Farbtemperatur

Festlegung:

Farbtemperatur T_C [Kelvin]^[5]

ist die Temperatur des Planckschen Strahlers, bei der dieser eine Strahlung der gleichen Farbart hat, wie der zu kennzeichnende Farbreiz.

Ähnlichste Farbtemperatur T_n [Kelvin]^[6]

ist die Temperatur des Planckschen Strahlers, bei der dessen Farbe der des zu kennzeichnenden Farbreizes bei gleicher Helligkeit und unter festgelegten Beobachtungsbedingungen am ähnlichsten ist.

Farbtemperatur am Ende der Einbrennzeit $T_{n,\text{Bil},i}$ [Kelvin]

ist die $\uparrow$ ähnlichste Farbtemperatur T_n , bestimmt an der $\uparrow$ Bilanzgrenze des Nutzens, zum Ende der Einbrennzeit ($\uparrow t_i$).

1.6 Farbwiedergabe

Festlegung:

Allgemeiner Farbwiedergabeindex R_a

ist der Mittelwert der speziellen Farbwiedergabe-Indizes CIE 1974 für einen festgelegten Satz von acht Testfarben^[7], bestimmt nach CIE 13:3:1995.

Farbwiedergabe am Ende der Einbrennzeit $R_{a,\text{Bil},i}$

ist der $\uparrow$ allgemeine Farbwiedergabeindex R_a , gemessen an der $\uparrow$ Bilanzgrenze des Nutzens, zum Ende der Einbrennzeit $\uparrow t_i$.

Farbwiedergabe nach 6'000 Brennstunden $R_{a,\text{Bil},1.6'000\text{h}}$

ist der $\uparrow$ allgemeine Farbwiedergabeindex R_a , gemessen an der $\uparrow$ Bilanzgrenze des Nutzens, zum Zeitpunkt nach 6'000 Stunden Brenndauer ($\uparrow t_{1.6'000\text{h}}$).

⁵ nach EN 12665:2002; dort mit Bezug auf IEC 50 (845)/CIE 17.4; 845-03-49

⁶ nach EN 12665:2002; dort mit Bezug auf IEC 50 (845)/CIE 17.4; 845-03-50

⁷ nach EN 12665:2002, dort als „Allgemeiner Farbwiedergabe-Index CIE 1974“ bezeichnet mit Bezug auf IEC 50 (845)/CIE 17.4; 845-02-631

1.7 Wirkleistung

Festlegung:

Bilanz-Wirkleistung P_{Bil} [Watt]

ist die Wirkleistung an der Bilanzgrenze, das heißt die Summe aller Wirkleistungen, gemessen an der Bilanzgrenze, die erforderlich sind, damit die Lampe einen Lichtstrom der geforderten Menge und Güte abgeben kann. Dies kann auch die Wirkleistung von Elementen einschließen, die nicht in die Lampen eingebaut sind.

Die Wirkleistung P_{Bil} einer Lampe ist der Durchschnittswert einer Gruppe von Lampen. Sie ist zu unterscheiden von dem Nennwert der Wirkleistung, den der Hersteller beispielsweise auf der Verpackung angibt und der gerundet sein kann.

Anfangswert der Wirkleistung $P_{\text{Bil},i}$ [Watt]

bezeichnet den Wert der $\uparrow$ Bilanz-Wirkleistung P_{Bil} , den die Lampe zum $\uparrow$ Ende der Einbrennzeit t_i hat.

Wirkleistung nach 3'000 Brennstunden $P_{\text{Bil},1.3'000\text{h}}$ [Watt]

bezeichnet den Wert der $\uparrow$ Bilanz-Wirkleistung P_{Bil} , den die Lampe zum Zeitpunkt nach 3'000 Stunden Brenndauer ($\uparrow t_{1.3'000\text{h}}$) abgibt.

Wirkleistung nach 6'000 Brennstunden $P_{\text{Bil},1.6'000\text{h}}$ [Watt]

bezeichnet den Wert der $\uparrow$ Bilanz-Wirkleistung P_{Bil} , den die Lampe zum Zeitpunkt nach 6'000 Stunden Brenndauer ($\uparrow t_{1.6'000\text{h}}$) abgibt.

1.8 Beständigkeit

1.8.1 Lampenüberlebensrate ^[8]

Festlegung:

Lampenüberlebensrate LSF [v.H.] ^[9]

beschreibt die Wahrscheinlichkeit, daß eine Lampe nach einer gegebenen Betriebsdauer noch funktionsfähig ist. Er gibt den v.H.-Satz einer großen repräsentativen Menge eines Lampentypes an, der nach einer bestimmten Zeit noch funktionsfähig ist.

⁸ In der Vergabegrundlage des Blauen Engels wird dies Lampenlebensdauerfaktor genannt.

⁹ nach CIE 97 D:2005; englisch Lamp Survival Factor

Lampenüberlebensrate $LSF_{t1.400h}$ [v.H.]

ist die $\uparrow$ Lampenüberlebensrate LSF zum Zeitpunkt nach 400 Stunden Brenndauer ($\uparrow t_{1.400h}$) im Schaltzyklus S.165.15.

Lampenüberlebensrate $LSF_{t1.3'000h}$ [v.H.]

ist die $\uparrow$ Lampenüberlebensrate LSF zum Zeitpunkt nach 3'000 Stunden Brenndauer ($\uparrow t_{1.3'000h}$) im Schaltzyklus S.165.15.

Lampenüberlebensrate $LSF_{t1.6'000h}$ [v.H.]

ist die $\uparrow$ Lampenüberlebensrate LSF zum Zeitpunkt nach 6'000 Stunden Brenndauer ($\uparrow t_{1.6'000h}$) im Schaltzyklus S.165.15.

Lampenüberlebensrate $LSF_{t2.20'000s}$ [v.H.]

ist die $\uparrow$ Lampenüberlebensrate LSF zum Zeitpunkt nach 20'000 Schaltungen ($\uparrow t_{2.20'000s}$) im Schaltzyklus S.05.45.

1.8.2 Lampenlichtstromerhalt

Festlegung:

Lampenlichtstromerhalt $LLMF$ [v.H.] ^[10]

beschreibt den Lichtstrom einer Lampe im Betrieb über die Lebensdauer im Vergleich zu einer neuen Lampe. Der Lichtstrom von Lampen aller Art nimmt mit der Zahl der Brennstunden ab.

1.8.3 Nutzlebensdauer

Festlegung:

Nutzlebensdauer $LD_{N,1}$ [Stunden]

bezeichnet die Brennzeit, die beim Schaltzyklus S.165.15 von dem Ende der Einbrennzeit ($\uparrow t_i$) an vergeht, bis der Mindestwert des Lampenlichtstromerhaltes $LLMF_{\min}$ und/oder der Mindestwert der Lampenüberlebensrate $LSF_{\min}$ unterschritten wird.

¹⁰ nach CIE 97 D:2005; dort „Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor“ genannt und nicht als v.H.-Angabe sondern als Zahl < 1 ; englisch Lamp Lumen Maintenance Factor

2 Anforderungen des Blauen Engels für Lampen (RAL-UZ 151)

2.1 Zu Punkt 3.1.1 der Vergabegrundlage: Aufwandskennzahl

Erklärung: Die Verordnung 244/20096/EG und die Richtlinie 98/11/EG arbeiten mit der Gleichung » $0,88 \times \sqrt{\Phi} + 0,049 \times \Phi$ «. Diese Gleichung wird auch hier benutzt, und sie bildet, wie bei der Richtlinie 98/11/EG, einen Bezugswert. Allerdings wird nicht der Anfangwert des Lichtstromes Φ_i , sondern der über der Mindest-Nutzlebensdauer gemittelte Wert des Lichtstromes $\Phi_{\text{Bil.N1}}$ verwendet. Daraus wird eine Aufwandskennzahl errechnet.

Festlegung:

Mittlerer Nutzlichtstrom $\Phi_{\text{Bil.N1}}$ [Lumen]

bezeichnet den $\uparrow$ Bilanzlichtstrom Φ_{Bil} , der wie folgt über der $\uparrow$ Mindest-Nutzlebensdauer $\text{LD}_{\text{N1.min.BE}}$ ^[11] gemittelt wird:

$$\Phi_{\text{Bil.N1}} = (0,5 \times \Phi_{\text{Bil.i}} + \Phi_{\text{Bil.1.3'000h}} + 0,5 \times \Phi_{\text{Bil.1.6'000h}}) / 2 \quad [12]$$

Bezugswert $P_{\text{BGN.1}}$ [Watt]

bezeichnet einen Bezugswert, der sich aus dem mittleren Nutzlichtstrom $\Phi_{\text{Bil.N1}}$ wie folgt ergibt:

$$P_{\text{BGN.1}} = 0,01029 \times (0,88 \times \sqrt{\Phi_{\text{Bil.N1}}} + 0,049 \times \Phi_{\text{Bil.N1}})$$

Mittlere Wirkleistung $P_{\text{Bil.N1}}$ [Watt]

ist die $\uparrow$ Bilanzwirkleistung P_{Bil} , die wie folgt über der $\uparrow$ Mindest-Nutzlebensdauer $\text{LD}_{\text{N1.min}}$ gemittelt wird:

$$P_{\text{Bil.N1}} = (0,5 \times P_{\text{Bil.i}} + P_{\text{Bil.1.3'000h}} + 0,5 \times P_{\text{Bil.1.6'000h}}) / 2$$

Aufwandskennzahl PGN_1

bezeichnet die dimensionslose Kennzahl, die sich als Verhältnis aus Wirkleistung $P_{\text{Bil.N1}}$ zum Bezugswert $P_{\text{BGN.1}}$ wie folgt ergibt:

$$\text{PGN}_1 = P_{\text{Bil.N1}} / P_{\text{BGN.1}}$$

¹¹ Siehe im Abschnitt 2.2.2.1 auf Seite 15.

¹² Das führt zu dem selben Ergebnis wie wenn man für jeweils einen Abschnitt von rund 3'000 Brennstunden Φ_{Bil} arithmetisch mittelt und dann die Summe dieser Mittelwerte durch die Zahl der Abschnitte (= 2) teilt.

Erklärung: In einer späteren Erweiterungsstufe soll die Vergabegrundlage auf Produkte der Beleuchtungstechnik ausgeweitet werden, die den gelieferten Lichtstrom an einen wechselnden Bedarf anpassen können. Eine angemessene Bewertung dieser Produkte erfordert, für einen als typisch anzusehenden Nutzungszyklus das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen, also Elektroenergie zur Lichtmenge zu betrachten.

Für Haushaltslampen sind derzeit noch keine Nutzungszyklen festgelegt. Deshalb wird beim Blauen Engel vorläufig ein Nutzungszyklus angenommen, bei dem die Höhe des Lichtstrombedarfes unverändert bleibt: der Nutzungszyklus Z85.

Dies bringt zwar für den Augenblick keinen Nutzen, erleichtert aber die spätere Weiterentwicklung der Anforderungen, da bereits jetzt die Verwendung von Nutzungszyklen eingeführt wird. Eine spätere Anpassung des „Anforderungssystems“ entfällt.

Festlegung:

Nutzungszyklus Z85

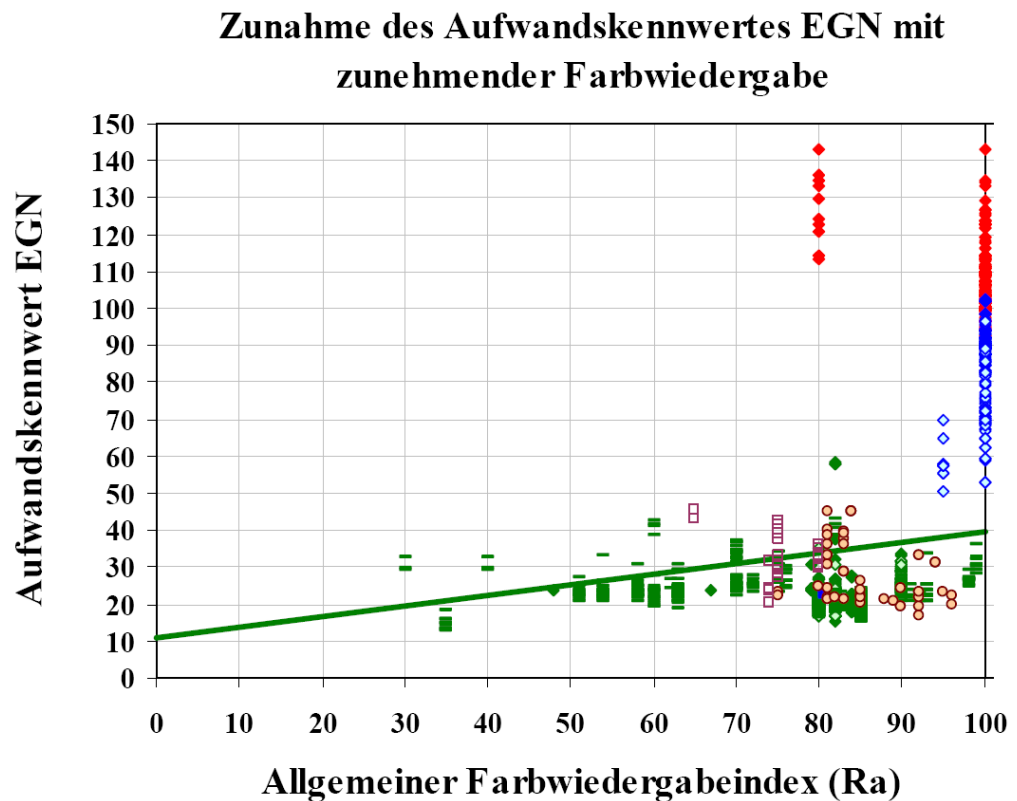
bezeichnet einen Nutzungszyklus, bei dem die Höhe des Lichtstrombedarfes dauerhaft 85 v.H. des Anfangswertes $\Phi_{\text{Bil},i}$ beträgt.

Aufwandskennzahl EGN_{Z85}

bezeichnet die dimensionslose Aufwandskennzahl der Elektroenergie, die sich für den Nutzungszyklus Z85 ergibt. Aufgrund der Besonderheit des Zyklus Z85 gilt:

$$EGN_{Z85} = PGN_1$$

Erklärung: Eine wesentliche Abhängigkeit des Bedarfes an Wirkleistung und damit Elektroenergie ergibt sich bei Lampen aus der Höhe des ↑ Farbwiedergabeindex Ra.



Die farbigen Punkte stehen für verschiedene Lampentechniken, zum Beispiel rot für herkömmliche Glühlampen.

Deshalb setzt der Blaue Engel einen Höchstwert, der sich aus einem Grundwert und einem Zuschlag zusammensetzt, wobei der Zuschlag von der Höhe des allgemeinen Farbwiedergabeindex abhängt.

Festlegung:

Farbwiedergabeindex $Ra_{Bil,N1,M}$

ist der ↑ allgemeine Farbwiedergabeindex Ra, gemessen an der ↑ Bilanzgrenze des Nutzens und wie folgt für die ↑ Nutzlebensdauer LD_{N1} aus den Werten der ↑ Farbwiedergabe am Ende der Einbrennzeit $Ra_{Bil,i}$ und der ↑ Farbwiedergabe nach 6'000 Brennstunden $Ra_{Bil,1.6'000h}$ gemittelt:

$$Ra_{Bil,N1,M} = (Ra_{Bil,i} + Ra_{Bil,1.6'000h}) / 2$$

Anforderung:

Höchstwert des Blauen Engels für die Aufwandskennzahl $EGN_{Z85,max,BE}$

$$EGN_{Z85,max,BE} = 10,697 + 0,291 \times Ra_{Bil,N1,M}$$

2.2 Qualität und Gebrauchstauglichkeit

2.2.1 Zu Punkt 3.2.1 der Vergabegrundlage: Qualität des Lampenlichtes – Farbwiedergabe

Erklärung: Bei manchen Lampen ändert sich die Farbwiedergabe während der Lebensdauer.

Festlegung:

Farbwiedergabeindex $Ra_{Bil.NI.T}$

ist der niedrigste Wert des $\uparrow$ allgemeinen Farbwiedergabeindex Ra , gemessen an der $\uparrow$ Bilanzgrenze des Nutzens, der während der $\uparrow$ Nutzlebensdauer LD_{N1} auftritt. Er ist gleich dem niedrigsten Wert von $Ra_{Bil.i}$ und $Ra_{Bil.1.6'000h}$.

Anforderung:

Mindestwert des Blauen Engels für den Farbwiedergabeindex $Ra_{Bil.NI.T}$

$Ra_{Bil.NI.T,min.BE} = 80$

2.2.2 Zu Punkt 3.2.3 der Vergabegrundlage: Beständigkeit der Lampe

2.2.2.1 Nutzlebensdauer

Festlegung:

Mindestwert des Blauen Engels für den Lampenlichtstromerhalt $LLMF_{min.BE}$ [v.H.]

$LLMF_{min.BE} = 85 \text{ v.H.}$

Mindestwert des Blauen Engels für die Lampenüberlebensrate

$LSF_{t1.6'000h,min.BE}$ [v.H.]

ist der Mindestwert für die $\uparrow$ Lampenüberlebensrate $LSF_{t1.6'000h}$ und beträgt

$LSF_{t1.6'000h,min.BE} = 50 \text{ v.H.}$

Anforderung:

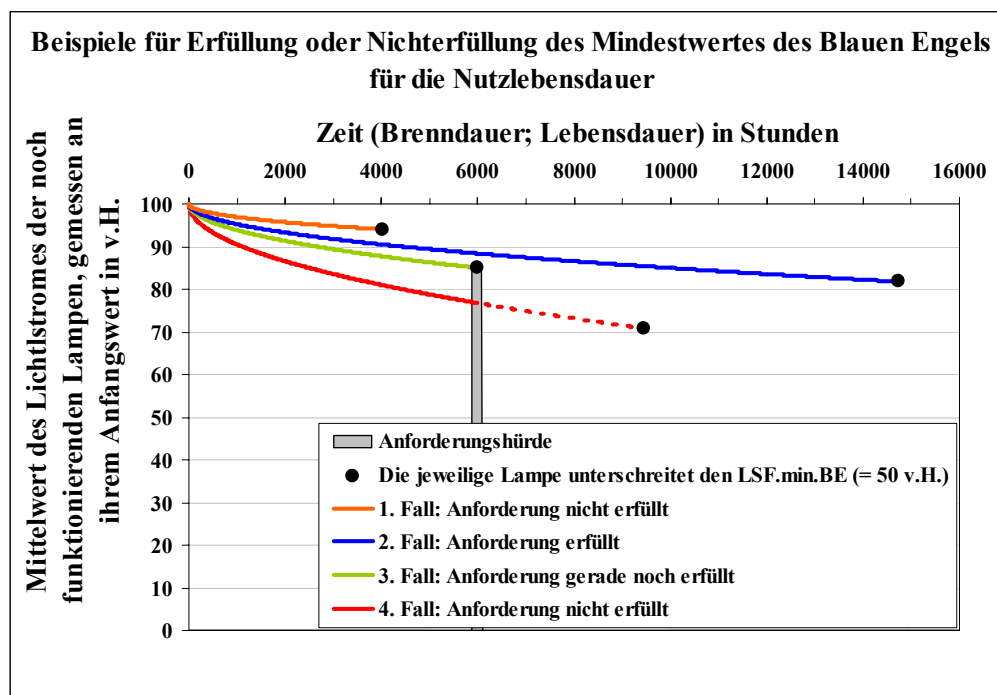
Mindestwert des Blauen Engels für die Nutzlebensdauer $LD_{N1,min.BE}$ [Stunden]

Die $\uparrow$ Nutzlebensdauer LD_{N1} der Lampe^[13] muß mindestens den folgenden Wert haben:

$LD_{N1,min.BE} = 6'000 \text{ Stunden}$

¹³ Siehe hierzu die Festlegung im Abschnitt 1.8.

Erklärung: Das folgende Bild zeigt Beispiele für vier theoretische Fälle, in denen der Rückgang des Lichtstromes unterschiedlich ausfällt, inwieweit der Mindestwert der Nutzlebensdauer $LD_{N.1.min.BE}$ eingehalten wird:



- Fall 1: Die Anforderung ist nicht erfüllt, weil die Lampenüberlebensrate der Lampe den Wert von $LSF_{min.BE}$ (= 50 v.H.) vor dem Ende der geforderten 6'000 Stunden erreicht.
- Fall 4: Die Anforderung ist nicht erfüllt, weil der Lampenlichtstromerhalt der Lampe vor Ende der geforderten 6'000 Stunden den Mindestwert $LLMF_{min.BE}$ (= 80 v.H.) unterschreitet.

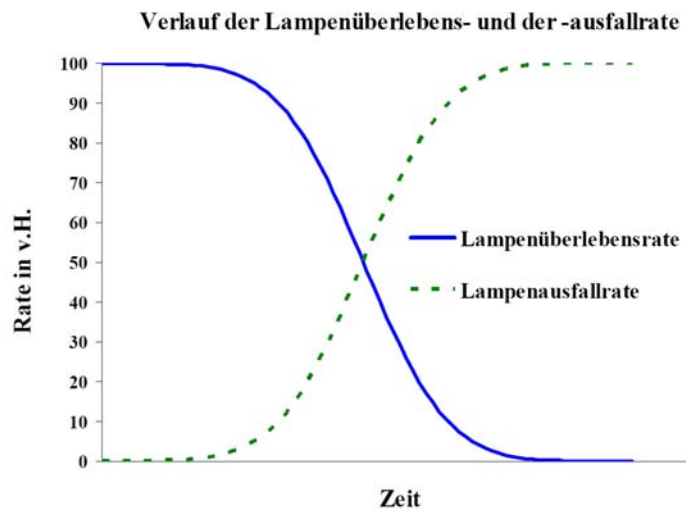
2.2.2.2 Sogenannte Schaltfestigkeit

Anforderung:

Mindestwert des Blauen Engels für die Lampenüberlebensrate
 $LSF_{t2.20'000S.min.BE}$ [v.H.]
 $LSF_{t2.20'000S.min.BE} = 50 \text{ v.H.}$

2.2.2.3 Sogenannte Frühausfallrate

Erklärung: Die $\uparrow$ Lampenüberlebensrate beschreibt den Anteil der Lampen, die zu einer bestimmten Zeit noch funktionsfähig ist, also überlebt hat. Die Ausfallrate hingegen beschreibt den Anteil der Lampen, die zu einer bestimmten Zeit nicht mehr funktionsfähig ist, also ausgefallen ist. Das heißt: Die Summe aus Lampenüberlebensrate und Ausfallrate ist immer gleich. Eine dieser beiden Kenngrößen ergibt sich jeweils aus der anderen.



Beispiel: Eine Frühausfallrate von 2 v.H. entspricht einer Lampenüberlebensrate von 98 v.H.

Anforderung:

Mindestwert des Blauen Engels für die Lampenüberlebensrate
 $LSF_{t1.400h.min.BE}$ [v.H.]

$LSF_{t1.400h.min.BE} = 98$ v.H.

3 Verzeichnis der Begriffsbestimmungen/Index

Hinweis: Zur leichteren Suche ist zu jeder einzelnen Begriffsbestimmung sowohl die **Bezeichnung** als auch die **Abkürzung** aufgeführt. Teilweise sind auch Teile der Bezeichnungen noch einmal aufgeführt.

Ähnlichste Farbtemperatur T_n	9	Brenndauer , Zeitpunkt nach 3'000 Stunden $\sim t_{1.3'000h}$	7
Allgemeiner Farbwiedergabeindex Ra	9	Brenndauer, Zeitpunkt nach 400 Stunden $\sim t_{1.400h}$	7
Anfangswert des Lichtstromes $\Phi_{\text{Bil.i}}$	8	Brenndauer, Zeitpunkt nach 6'000 Stunden $\sim t_{1.6'000h}$	7
Aufwandskennzahl	13	Brennstunden , Bilanzlichtstrom nach 3'000 $\sim \Phi_{\text{Bil.1.3'000h}}$	8
Aufwandskennzahl EGN_{Z85} , Höchstwert des Blauen Engels für den $\sim$	14	Brennstunden, Bilanzlichtstrom nach 6'000 $\sim \Phi_{\text{Bil.1.6'000h}}$	9
Aufwandskennzahl PGN_1	12	Brennstunden, Farbwiedergabe nach 6'000 $\sim \text{Ra}_{\text{Bil.1.6'000h}}$	9
Bezugswert $P_{\text{BGN.1}}$	12	Brennstunden, Wirkleistung nach 3'000 $\sim P_{\text{Bil.1.3'000h}}$	10
Bilanzgrenze des Aufwandes	5	Brennstunden, Wirkleistung nach 6'000 $\sim P_{\text{Bil.1.6'000h}}$	10
Bilanzgrenze des Nutzens	5	EGN $_{Z85.\text{max.BE}}$, Höchstwert des Blauen Engels für den Aufwandskennzahl $\sim$	14
Bilanzlichtstrom nach 3'000 Brennstunden $\Phi_{\text{Bil.1.3'000h}}$	8	Einbrennzeit	7
Bilanzlichtstrom nach 6'000 Brennstunden $\Phi_{\text{Bil.1.6'000h}}$	9	Einbrennzeit, Ende der $\sim t_i$	7
Bilanzlichtstrom Φ_{Bil}	8	Einbrennzeit, Farbtemperatur am Ende der $\sim T_{\text{C.Bil.i}}$	9
Bilanz-Wirkleistung P_{Bil}	10	Einbrennzeit, Farbwiedergabeindex am Ende der $\sim \text{Ra}_{\text{Bil.i}}$	9
Blauer Engel , Höchstwert für den Aufwandskennzahl $\text{EGN}_{Z85.\text{max.BE}}$	14	Ende der Einbrennzeit t_i	7
Blauer Engel, Mindestwert für den Farbwiedergabeindex $\text{Ra}_{\text{Bil.N1.T}}$	15	Farbtemperatur am Ende der Einbrennzeit $T_{\text{C.Bil.i}}$	9
Blauer Engel, Mindestwert für den Lampenlichtstromerhalt $\text{LLMF}_{\text{mim.BE}}$	15	Farbtemperatur T_{C}	9
Blauer Engel, Mindestwert für die Lampenüberlebensrate $\text{LSF}_{t1.400h.\text{min.BE}}$	17	Farbtemperatur, Ähnlichste $\sim T_n$	9
Blauer Engel, Mindestwert für die Lampenüberlebensrate $\text{LSF}_{t1.6'000h.\text{mim.BE}}$	15	Farbwiedergabe nach 6'000 Brennstunden $\text{Ra}_{\text{Bil.1.6'000h}}$	9
Blauer Engel, Mindestwert für die Lampenüberlebensrate $\text{LSF}_{t2.20'000S.\text{min.BE}}$	16	Farbwiedergabeindex am Ende der Einbrennzeit $\text{Ra}_{\text{Bil.i}}$	9
Blauer Engel, Mindestwert für die Nutzlebensdauer $\text{LD}_{\text{N.1.min.BE}}$	15	Farbwiedergabeindex $\text{Ra}_{\text{Bil.N1.M}}$	14
		Farbwiedergabeindex $\text{Ra}_{\text{Bil.N1.T}}$	15

Farbwiedergabeindex $Ra_{\text{Bil.N1.T}}$, Mindestwert des Blauen Engels für den ~	15	LSF _{t2.20'000S} , Lampenüberlebensrate ~	11
Höchstwert des Blauen Engels für den Aufwandskennzahl EGN _{Z85.max.BE}	14	LSF _{t2.20'000S.min.BE} , Mindestwert des Blauen Engels für die Lampenüberlebensrate ~	16
Lampenlichtstromerhalt LLMF	11	Mindestwert des Blauen Engels für den Farbwiedergabeindex $Ra_{\text{Bil.N1.T}}$	15
Lampenlichtstromerhalt LLMF _{mim.BE} , Mindestwert des Blauen Engels für den ~	15	Mindestwert des Blauen Engels für den Lampenlichtstromerhalt LLMF _{mim.BE}	15
Lampenüberlebensrate LSF	10	Mindestwert des Blauen Engels für die Lampenüberlebensrate LSF _{t1.6'000h.min.BE}	15
Lampenüberlebensrate LSF _{t1.3'000h}	11	Mindestwert des Blauen Engels für die Nutzlebensdauer LD _{N.1.min.BE}	15
Lampenüberlebensrate LSF _{t1.400h}	11	Mindestwert für die Lampenüberlebensrate LSF _{t2.20'000S.min.BE}	16
Lampenüberlebensrate LSF _{t1.6'000h}	11	Mindestwert für doe Lampenüberlebensrate LSF _{t1.400h.min.BE}	17
Lampenüberlebensrate LSF _{t1.6'000h} , Mindestwert des Blauen Engels für die ~	15	Mittlere Wirkleistung $P_{\text{Bil.N1}}$	12
Lampenüberlebensrate LSF _{t2.20'000S}	11	Mittlerer Nutzlichtstrom $\Phi_{\text{Bil.N1}}$	12
Lampenüberlebensrate $t_{2.20'000S.min.BE}$, Mindestwert des Blauen Engels für die ~ LSF	16	Nutzlebensdauer LD _{N.1}	11
Lampenüberlebensrate, Mindestwert des Blauen Engels für die ~ LSF _{t1.400h.min.BE}	17	Nutzlebensdauer LD _{N.1.min.BE} , Mindestwert des Blauen Engels für die ~	15
LD_{N.1} , Nutzlebensdauer ~	11	Nutzungszyklus Z85	13
LD _{N.1.min.BE} , Mindestwert des Blauen Engels für die Nutzlebensdauer ~	15	P_{BGN.1} , Bezugswert ~	12
Lichtstrom Φ	8	P_{Bil} , Wirkleistung ~	10
Lichtstrom, Anfangswert des ~es $\Phi_{\text{Bil.i}}$	8	P _{Bil.1.3'000h} , Wirkleistung nach 3'000 Brennstunden ~	10
lichtstrom, Lampen~erhalt LLMF	11	P _{Bil.1.6'000h} , Wirkleistung nach 6'000 Brennstunden ~	10
LLMF , Lampenlichtstromerhalt ~	11	P _{Bil.N1} , Wirkleistung ~	12
LLMF _{mim.BE} , Mindestwert des Blauen Engels für den Lampenlichtstromerhalt ~	15	PGN₁ , Aufwandskennwert ~	12
LLMF _{t1.6'000h.min.BE} , Mindestwert des Blauen Engels für die Lampenüberlebensrate ~	15	Ra , Allgemeiner Farbwiedergabeindex ~	9
LSF , Lampenüberlebensrate	10	$Ra_{\text{Bil.1.6'000h}}$, Farbwiedergabe nach 6'000 Brennstunden ~	9
LSF _{t1.3'000h} , Lampenüberlebensrate ~	11	$Ra_{\text{Bil.i}}$, Farbwiedergabeindex am Ende der Einbrennzeit ~	9
LSF _{t1.400h} , Lampenüberlebensrate ~	11	$Ra_{\text{Bil.N1.M}}$, Farbwiedergabeindex ~	14
LSF _{t1.400h.min.BE} , Mindestwert des Blauen Engels für die Lampenüberlebensrate ~	17	$Ra_{\text{Bil.N1.T}}$, Farbwiedergabeindex ~	15
LSF _{t1.6'000h} , Lampenüberlebensrate ~	11		

$R_{\text{Bil.N1.T}}$, Mindestwert des Blauen Engels für den Farbwiedergabeindex ~	15
S.05.45 , Schaltzyklus ~	6
S.165.15 , Schaltzyklus ~	6
Schaltungen , Zeitpunkt nach 20'000 ~ $t_{2.20'000\text{S}}$	7
Schaltzyklus S	6
Schaltzyklus S.05.45	6
Schaltzyklus S.165.15	6
$t_{1.3'000\text{h}}$, Zeitpunkt nach 3'000 Stunden Brenndauer ~	7
$t_{1.6'000\text{h}}$, Zeitpunkt nach 6'000 Stunden Brenndauer ~	7
$t_{2.20'000\text{S}}$, Zeitpunkt nach 20'000 Schaltungen ~	7
$t_{400\text{h}}$, Zeitpunkt nach 400 Stunden Brenndauer.....	7
T_{C} , Farbtemperatur ~	9
$T_{\text{C.Bil.i}}$, Farbtemperatur am Ende der Einbrennzeit ~	9
t_{i} , Ende der Einbrennzeit	7
T_{n} , Ähnlichste Farbtemperatur ~	9

Wirkleistung nach 3'000 Brennstunden $P_{\text{Bil.1.3'000h}}$	10
Wirkleistung nach 6'000 Brennstunden $P_{\text{Bil.1.6'000h}}$	10
Wirkleistung , Bilanz-~ P_{Bil}	10
Wirkleistung , Mittlere ~ $P_{\text{Bil.N1}}$	12
Z85 , Nutzungszyklus ~	13
Zeitpunkt nach 20'000 Schaltungen $t_{2.20'000\text{S}}$	7
Zeitpunkt nach 3'000 Stunden Brenndauer $t_{1.3'000\text{h}}$	7
Zeitpunkt nach 400 Stunden Brenndauer $t_{1.400\text{h}}$	7
Zeitpunkt nach 6'000 Stunden Brenndauer $t_{1.6'000\text{h}}$	7
Φ , Lichtstrom ~	8
Φ_{Bil} , Bilanzlichtstrom ~	8
$\Phi_{\text{Bil.1.3'000h}}$, Bilanzlichtstrom nach 3'000 Brennstunden ~	8
$\Phi_{\text{Bil.1.6'000h}}$, Bilanzlichtstrom nach 6'000 Brennstunden ~	9
$\Phi_{\text{Bil.i}}$, Anfangswert des Lichtstromes ~	8
$\Phi_{\text{Bil.N1}}$, Mittlerer Nutzlichtstrom	12