

Texte zu den geplanten neuen EU-Regelungen zur umweltgerechten Produktgestaltung und zur Energieverbrauchs-kennzeichnung in der Beleuchtung – Zusammenstellung * des Umweltbundesamtes (UBA), Deutschland



Diskussion

Offenes Forums EU-Regelungen zur Beleuchtung:

Fachgespräch am 20. Oktober 2016 zur Stromeffizienz

– Kurzvortrag II. von Herrn Christoph Mordziol, Umweltbundesamt „Ansätze zur Formulierung von Stromeffizienzanforderungen“ –

EN: Information on the coming EU Lighting Regulations – Ecodesign and Energy Labelling – Compilation * of the Federal Environment Agency (UBA), Germany

Discussion

Open Forum EU Policies on Lighting – Expert discussion on 20 October 2016 on Energy Efficiency

– Short presentation no. II by Mr. Christoph Mordziol, Umweltbundesamt “Approaches for the formulation of requirements on energy efficiency” –

Please notice: This document contains a text in German language, only.

FR: Informations sur les futures réglementations de l’UE concernant l’éclairage – l’écoconception et l’étiquetage énergétique – Compilation * de l’Agence Fédérale de l’Environnement (UBA), Allemagne

Discussion

Forum ouvert sur le politique européenne de l'éclairage – Discussion technique du 20 octobre 2016 sur l'efficacité énergétique

– Bref exposé n° II de M. Christoph Mordziol, Umweltbundesamt « Approches pour formuler exigences d'efficacité énergétique » –

Indication: Veuillez noter que le présent document contient un texte allemand.

* <http://www.eup-network.de/de/eup-netzwerk-deutschland/offenes-forum-eu-regelungen-beleuchtung/dokumente/texte/>

Dokumente zu dem Fachgespräch vom 20. Oktober 2016 ◇ Documents on the expert discussion on 20 October 2016 ◇ Documents sur la discussion technique du 20 octobre 2016

- ▷ **Programm und Teilnehmerliste** ◇ **EN:** Programme and list of participants ◇ **FR:** Programme et liste des participants

- ▷ **Begrüßung und Einführung** ◇ **EN:** Welcome address and introduction ◇ **FR:** Allocution de bienvenue et introduction

- Verfahrensstand der kommenden Regelung
- Ziel des Offenen Forums und des Fachgespräches

Anja Betker, BMUB und Ines Oehme, Umweltbundesamt (UBA)

Grundsatzfragen zum Geltungsbereich und zur Technik(un)abhängigkeit von Stromeffizienzanforderungen ◇ **EN:** Questions of principle about the scope and about technological (non-)neutrality of requirements on energy efficiency ◇ **FR:** Questions fondamentales concernant le champ d'application et concernant la (non-)neutralité technique des exigences d'efficacité énergétique:

- ▷ • Ausdehnung des Geltungsbereiches auf LED-Leuchten?
• Einsatzgrenzen der LED-Technik – Ergebnisse aus dem Fachgespräch am 8. Juni 2016
• Die LED-Technik als Mittel der Wahl für die Allgemeinbeleuchtung?
- ▷ • Wann sind nicht technikneutrale Stromeffizienzanforderungen angemessen?
• Zu diesen Themen Gegenüberstellung der zur Diskussion stehenden Bewertungsansätze von EU-Kommission, Lighting Europe und UBA

Laura Spengler, Ökopol und ...

Christoph Mordziol, UBA

- ▷ **Stellungnahme aus Sicht der Hersteller** ◇ **EN:** Statement from manufacturers' perspective ◇ **FR:** Avis dans la perspective des fabricants

Otmar Franz, Lighting Europe

- **Ansätze zur Formulierung von Stromeffizienzanforderungen** ◇ **EN:** Approaches for the formulation of requirements on energy efficiency ◇ **FR:** Approches pour formuler exigences d'efficacité énergétique

- Beziehungen zwischen Produkteigenschaften (Farbwiedergabe, Lichtbündelung usw.) und Stromeffizienzanforderungen
- Lichtausbeute, „Wurzelfunktion“ und andere Ansätze
- Zu diesen Themen Gegenüberstellung der o.g., zur Diskussion stehenden Bewertungsansätze

Christoph Mordziol, UBA

▷ **Niveau der Stromeffizienzanforderungen** ◇ **EN:** Level of requirements on energy efficiency ◇ **FR:** Niveau d'exigences d'efficacité énergétique

- Datenauswertung des Umweltbundesamtes zu den zur Diskussion stehenden Bewertungsansätzen: Wie anspruchsvoll sind die einzelnen Ansätze? Wie gut berücksichtigen die Ansätze den Mehrbedarf an Elektroleistung bei einzelnen Produkteigenschaften?

Christoph Mordziol, UBA

▷ **Ergebnisse** ◇ **EN:** Results ◇ **FR:** Résultats

- ▷ Hinweis: Als Vorbereitungshilfe für dieses Fachgespräch wurde ein Text des Umweltbundesamtes an die Teilnehmer versandt. Dieser Text, einschließlich einer eingefügten vollständigen Übersetzung ins Englische sowie Teilübersetzungen ins Französische, kann hier heruntergeladen werden: ... ◇ **EN:** Mention: In front of that meeting a document of the UBA was distributed to the participants as a preparatory aid. The document, including a translation into English, can be downloaded here : ... ◇ **FR:** Mention: Avant le discussion technique, une texte de l'UBA été envoyé à les participants (comme assistance de préadhésion). Le texte (la traduction en français se limite aux titres et à quelques indications) peut être téléchargé sous:

http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Lichtquellen_UBA_Hintergrundtext_04h.pdf

Es folgt ein unveränderter Originaltext.

EN: The following is an unmodified original text.

FR: Ce qui suit est un texte original.

Offenes Forum EU-Regelungen zur Beleuchtung

Fachgespräch am 20. Oktober 2016

Ansätze zur Formulierung von Stromeffizienzanforderungen

2. Vortrag Christoph Mordziol, Umweltbundesamt

Die vorliegende Datei umfaßt die bei dem Vortrag gezeigten Bilder sowie Erläuterungen und andere Ergänzungen.

1. Thema des Vortrages: Beziehungen zwischen Produkteigenschaften und Stromeffizienzanforderungen

Es gibt eine Reihe von Produkteigenschaften, die einen Einfluß auf den Stromverbrauch haben (können), weshalb darüber diskutiert werden sollte, ob Produkten, die solche Eigenschaften aufweisen, ein höherer Stromverbrauch oder eine höhere Elektroleistung zugestanden werden sollte.

Produkteigenschaften: Übersicht

Welche Produkteigenschaften können einen Einfluß auf den Elektrizitätsbedarf (Watt) haben?

- Helligkeit des Lichtes
- Spektrum des Lichtes
 - Farbwiedergabe
 - Lichtfarbe
 - tageslaufabhängige Beleuchtung
- Lichtverteilung
 - Bündelung u. ä.
 - Minderung der Blendung
 - Mattierung
 - Blendschutzkappen
 - UGR o.ä. bei Leuchten
- Kompaktheit des Leuchtmittels

Bild 1

Produkteigenschaften: Helligkeit

1. Helligkeit:

Maß für die Helligkeit ist der Lichtstrom Φ mit der Einheit Lumen (lm).

Mit steigendem Lichtstrom nimmt auch der Elektrizitätsbedarf zu.

Der Zusammenhang ist im allgemeinen nicht linear.

Bild 2

- Daß für die Erzeugung eines höheren Lichtstromes eine höhere Elektroleistung erforderlich ist, ist unstrittig und wird in dem Vorentwurf der EU-Kommission vom November 2015, dem Gegenentwurf von Lighting Europe vom Februar 2016 und dem UBA-Ansatz vom Juni 2016 berücksichtigt ^[1].

¹ Zu den Bezugsquellen dieser Texte siehe die Liste auf Seite 28.

Eine Anforderung, die neben der Helligkeit wichtig ist, die die Wiedergabe von Farben.

Produkteigenschaften: Farbwiedergabe I.

2. Lichtspektrum

2.1 Farbwiedergabe

Bezogen auf den allgemeinen Farbwiedergabeindex R_a nimmt der Bedarf an Elektrizität (Watt) in der Tendenz mit dem R_a -Wert zu.



Bild 3

Üblicherweise wird der allgemeine **Farbwiedergabeindex R_a** verwendet. Dieser ist der Mittelwert aus den Werten einiger, für bestimmte Farben ermittelter sogenannter spezieller Farbwiedergabeindizes. Der R_a ist eine dimensionslose Kennzahl und kann Wert von kleiner 0 bis 100 annehmen.

Der Farbwiedergabeindex für eine einzelne dieser Farben wird bestimmt, indem die Farbwiedergabe, die sich in dem Licht der betrachteten Lichtquelle ergibt, mit der Farbwiedergabe verglichen wird, die sich im Licht einer Bezugslichtquelle ergibt ^[2]. Für den allgemeinen Farbwiedergabeindex R_a werden die speziellen Farbwiedergabeindizes der im Bild 4 dargestellten 8 Farben #1 bis #8 herangezogen.

² Je nachdem welches Spektrum die betrachtete Lichtquelle aufweist, wird als Vergleichslichtquelle eine Glühlampe, siehe beispielsweise Bild 5, oder ein genormtes, tageslichtähnliches Spektrum verwendet.

Begriffe und Bezeichnungen: Farbwiedergabe

Die 14 Testfarben nach DIN 6169

# 1 Altrosa	
# 2 Senfgelb	
# 3 Gelbgrün	
# 4 Hellgrün	
# 5 Türkisblau	
# 6 Himmelblau	
# 7 Asterviolett	
# 8 Fliepreviolett	



SPANNUNG
50/60 Hz

220 -240 V

Ra
(min)

> 80

LEBENSDAUER
(L70)

25.000 h

Grundlage für die Berechnung des
allgemeinen Farbwiedergabeindex Ra
mit Werten < 0 bis 100



Bild 4

Die Farbwiedergabe für andere Farben, beispielsweise gesättigtes Rot – im Bild 4 rechts #9 –, oder gar die Güte der Weißwiedergabe gehen nicht in den allgemeinen Farbwiedergabeindex Ra ein. Darauf beruht ein Teil der Kritik an diesem Kennwert. Zudem haben Untersuchungen gezeigt, daß der Farbwiedergabeindex Ra die wahrgenommene Farbwiedergabeeigenschaft der Lichtquellen nicht einwandfrei beschreibt ^[3].

Dennoch ist die Verwendung des Ra-Wertes üblich und es ist sein Wert, der im allgemeinen auf der Lampenverpackung oder in Datenblättern zu finden ist, wie beispielsweise rechts oben im Bild 4.

Entwickelt wurde der allgemeine Farbwiedergabeindex Ra, nachdem Leuchtstofflampen auf den Markt gekommen waren und deren Farbwiedergabe bewertet werden können sollte. Mit dem Aufkommen der Leuchtdiodentechnik wurde weitere Kritik laut: Dieser Index sei nicht geeignet, die Farbwiedergabequalität der ALED-Lampen ^[4] angemessen zu beschreiben.

Die folgenden Bilder zeigen die Spektren und was als Lichtstrom bewertet wird: Bild 5 für eine herkömmliche Glühlampe, ...

³ „Farbwiedergabe für moderne Lichtquellen“; LiTG Fachgebiet Farben, Schrift Nr. 28

⁴ ALED = Anorganische LED (Leuchtdiode), im Gegensatz zur OLED = Organischen LED

Begriffe und Bezeichnungen: Licht III, weiteres Beispiel

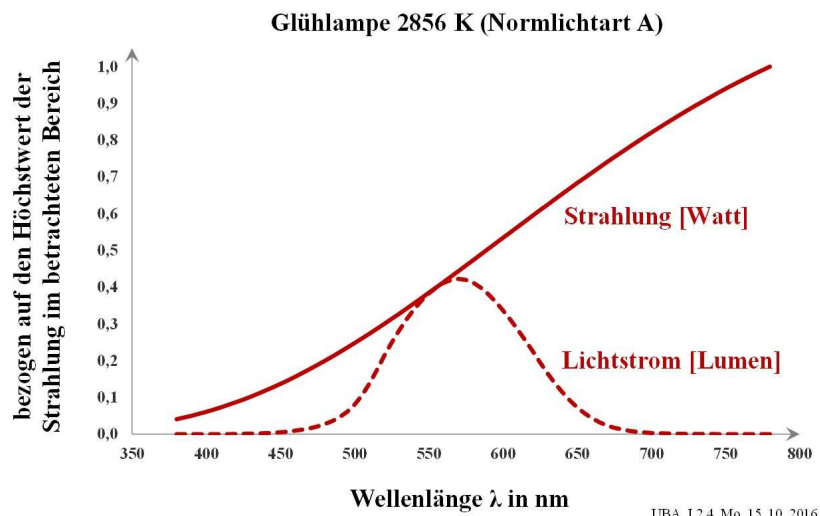


Bild 5

... sowie Bild 6 für eine Kompaktleuchtstofflampe (KLL) ...

Begriffe und Bezeichnungen: Licht III, weiteres Beispiel

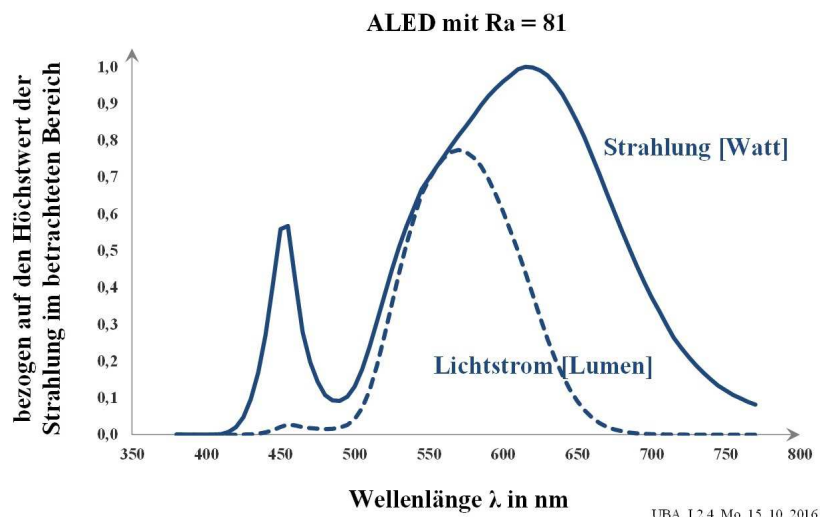


Bild 6

... und Bild 7 für eine ALED-Lampe.

Begriffe und Bezeichnungen: Licht III, weiteres Beispiel

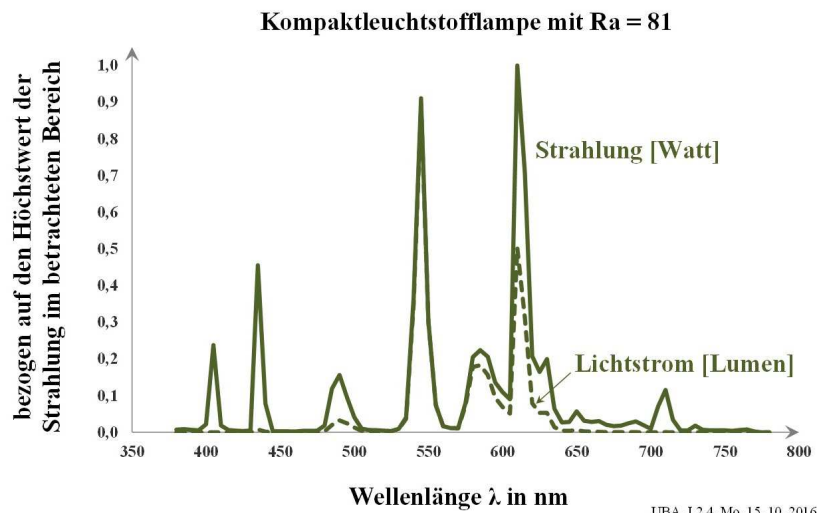


Bild 7

Die KLL und die ALED zeigen recht unterschiedliche Spektren, woraus man auf recht unterschiedlich gute Farbwiedergabe schließen könnte. Der Farbwiedergabeindex R_a ist aber für beide gleich: 81.

Der allgemeine Farbwiedergabeindex R_a als Maßstab für die Farbwiedergabe ist verständlicherweise nicht unumstritten. Solange keine Alternative zur Verfügung steht, bleibt freilich nur er als Maßstab ^[5].

- Sowohl der Vorentwurf der EU-Kommission als auch der Gegenentwurf von Lighting Europe und der UBA-Ansatz berücksichtigen den Einfluß der Farbwiedergabe R_a ; wenn auch auf unterschiedliche Weise.

⁵ Seit Januar 2017 arbeitet das Fachgebiet Lichttechnik der TU Darmstadt unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh im Auftrag des Umweltbundesamtes an einem Ansatz, mittels dem der von Beleuchtungsprodukten erbrachte Nutzen bei der Bewertung der Stromeffizienz besser berücksichtigt werden können soll. Dies schließt eine bessere Bewertung der Farbwiedergabe ein.

Produkteigenschaften: Farbwiedergabe I.

Weitere Einflüsse:

- Index R9
- Weißwiedergabe

Bild 8

Näher untersucht werden sollte der Einfluß des R9-Wertes und der Weißwiedergabe auf die Stromeffizienz.

Produkteigenschaften: Lichtfarbe

2.1 Lichtfarbe

Bezogen auf die ähnliche Farbtemperatur T_c (in Kelvin [K]) nimmt der Bedarf an Elektrizität (Watt) in der Tendenz zu, wenn der T_c -Wert über 3000 K steigt oder unter 3000 K sinkt.

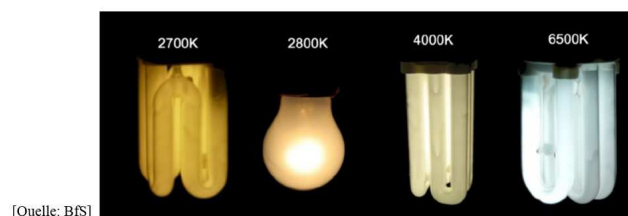


Bild 9

Daß ein Zusammenhang zwischen Farbtemperatur und Bedarf an Elektroleistung besteht, ist hinlänglich bekannt. Die Verordnungen 244/2009/EG und 245/2009/EG sehen deshalb in einzelnen Fällen Zuschläge vor ^[6].

- ▶ Der Vorentwurf der EU-Kommission und der Gegenentwurf von Lighting Europe berücksichtigen dies nicht; wohl aber der UBA-Ansatz.

⁶ Zu den Bezugsquellen dieser Texte siehe die Liste auf Seite 28.

2.2 Tageslaufabhängige Beleuchtung

Produkte für tageslaufabhängige Beleuchtung müssen zeitweise ein Spektrum liefern, das über die Lichtstrombestimmung schlecht bewertet wird, woraus für diese Betriebspunkte der Elektrizitätsbedarf steigt.

Derzeit fehlt noch eine eindeutige Bewertung dieses Nutzens.

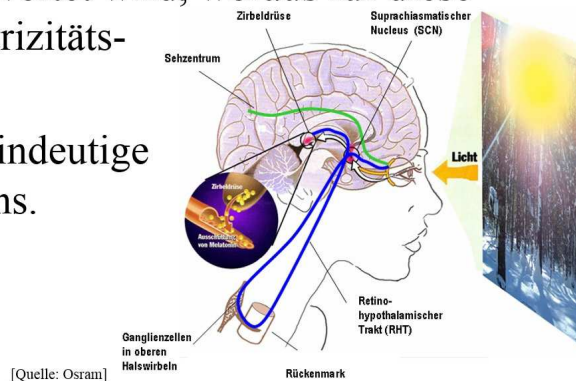


Bild 10

Die Wirkung des Lichtes auf den Menschen (Tageslauf, auch circadianer Rhythmus genannt) ist ein verhältnismäßig junges Forschungsgebiet ^[7]. Lichtquellen, die einen positiven Einfluß auf den Menschen ausüben können (über der Zeit Veränderung der Intensität und der Farbe des Lichtes), brauchen teilweise deutlich mehr Energie. Stromeffizienzanforderungen, die sich nur an den bestmöglichen Werten orientieren, würden hier wahrscheinlich nahezu alle Ansätze zunichte machen.

- ▶ Keiner der drei Ansätze – EU-Kommission, Lighting Europe und Umweltbundesamt – berücksichtigt dies. Aus Mangel an einem geeigneten Maßstab scheint dies derzeit noch unmöglich. Deutschland hat sich in seiner Stellungnahme vom 1. Februar 2016 deshalb dafür ausgesprochen, Produkte für die tageslaufabhängige Beleuchtung von den Anforderungen an die Stromeffizienz auszunehmen.

⁷ Siehe zu diesem Thema beispielsweise die Veröffentlichung unter http://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/1403_lw19_Wirkung_auf_Mensch_web.pdf.

3. Lichtverteilung

3.1 Bündelung u. ä.

a) Bündelung:

Bezogen auf den Halbwertswinkel (in °) nimmt der Bedarf an Elektrizität (Watt) bei Winkeln $< \text{etwa } 90^\circ$ mit kleiner werdendem Winkel zu.

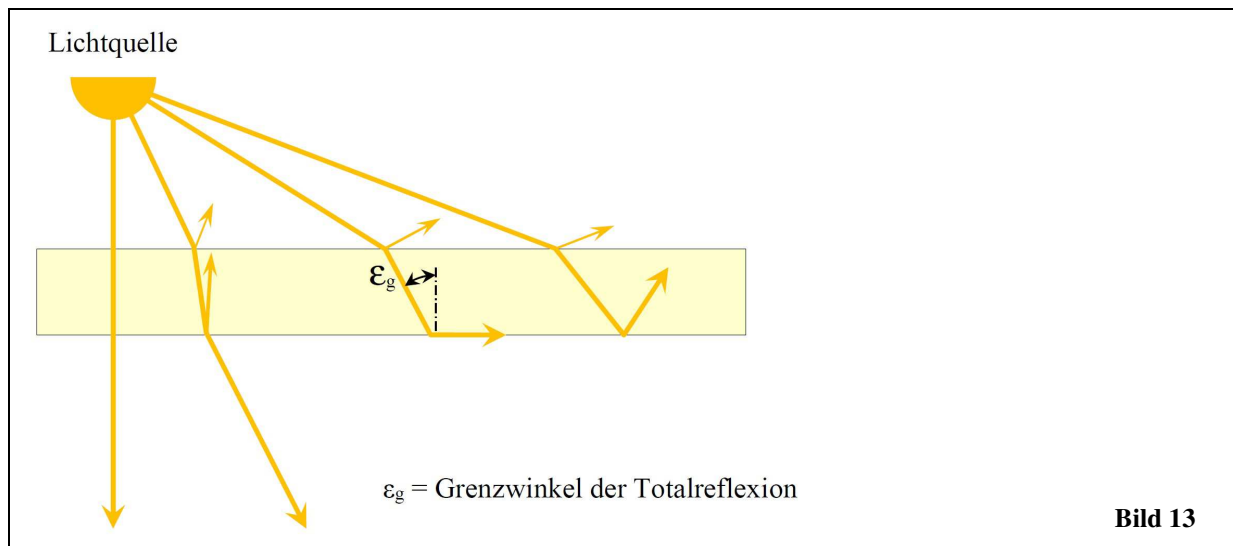
Bild 11

Es scheint einzelne ALED-Typenreihen oder -Bauweisen zu geben, bei denen der Grad an Lichtbündelung, hilfsweise beschrieben durch den Halbwertswinkel, keinen Einfluß auf die erforderliche Elektroleistung hat. Betrachtet man eine große Zahl an Lampen, zeigt sich, daß bei gleichem Lichtstrom die erforderliche Elektroleistung mit abnehmendem Halbwertswinkel (= zunehmender Lichtbündelung) steigt ^[8].

- ▶ Bei den bestehenden Verordnungen ist dies dadurch berücksichtigt, daß die Stromeffizienzanforderungen für Lampen mit gebündeltem Licht in der Verordnung 1194/201/EU ^[9] insgesamt weniger streng sind als die Anforderungen für Lampen mit ungebündeltem Licht in den anderen Verordnungen.
- ▶ Der Vorentwurf der EU-Kommission berücksichtigt diesen Einfluß nicht, der Gegenvorschlag von Lighting Europe sieht einen pauschalen Zuschlag für Lichtquellen mit gebündeltem Licht vor und der UBA-Ansatz einen Zuschlag, dessen Höhe von dem Grad der Lichtbündelung abhängt.

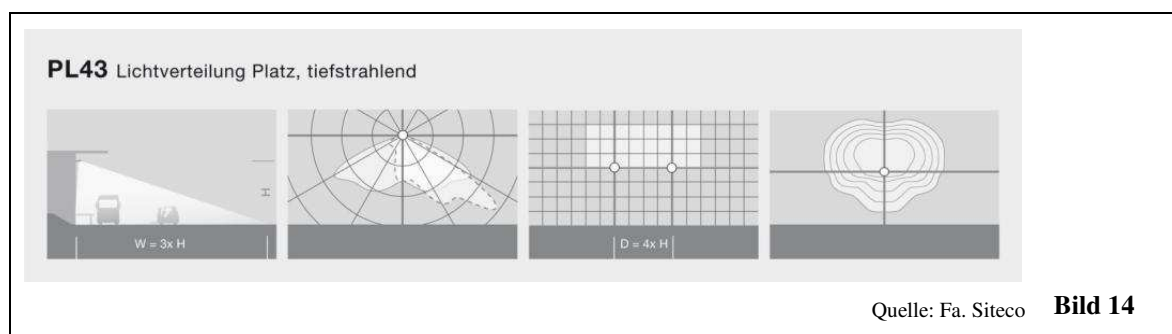
⁸ Siehe hierzu die Ergebnisse einer Auswertung des Umweltbundesamtes, nachzulesen im Abschnitt 2 der UBA-Anmerkungen vom Juli 2015 zu Anforderungen an Lampen mit gebündeltem Licht vor dem Hintergrund der Diskussion über die 3. Stufe der Stromeffizienzanforderungen der Verordnung 1194/2012/EU. Heruntergeladen werden kann der Text unter der entsprechenden Netzadresse in der Liste auf Seite 28.

⁹ Zu der Bezugsquelle dieses Textes siehe die Liste auf Seite 28.



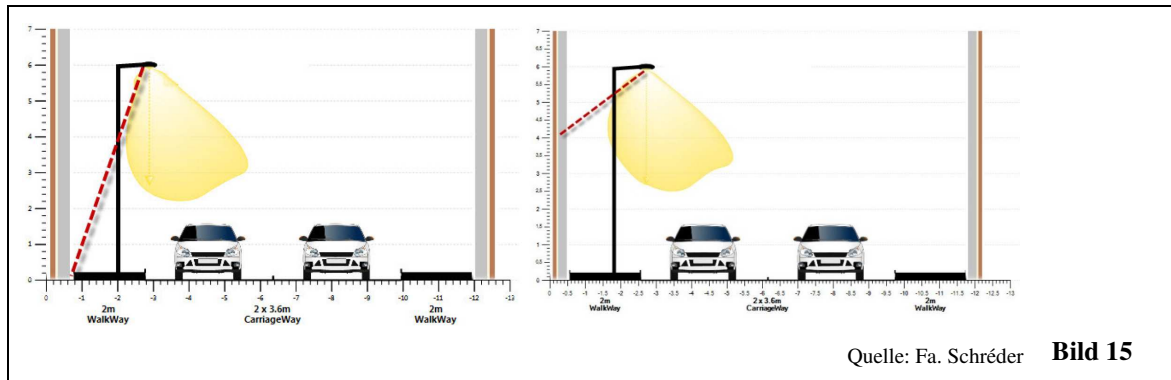
Drei Beispiele für die Ursachen von Verlusten bei Leuchten:

- Bei Straßenbeleuchtungsanlagen erfolgt bei einer Erneuerung vielfach aus Gründen der Geldknappheit nur eine Ertüchtigung bestehender Anlagen unter Nutzung vorhandener Masten und damit unter Beibehaltung gegebener Mastabstände. Häufig sind Mastabstände bestehender Anlagen größer als dies nach heutigem Wissen zuträglich wäre. Damit muß das Licht vielfach unter recht flachen Winkeln abgestrahlt werden, so daß Totalreflexion auftritt.
- Ein anderes Beispiel ist die Beleuchtung von Großflächen, bei denen keine Masten auf der Nutzfläche stehen dürfen; siehe Bild 14. Hier muß das Licht vielfach unter recht flachen Winkeln abgestrahlt werden. Eine mögliche Abhilfe- oder Minderungsmaßnahme ist die Aufneigung der Leuchten, was aber zu einer Lichtemission in den oberen Halbraum führt, die im Normalfall jedoch unerwünscht ist. Das gleiche tritt auf, wenn eine Leuchte mit Wanne ausgeführt wird.



- Eine Minderung der Effizienz kann auch dann vorkommen, wenn bei Straßenleuchten eine Abschirmung erfolgt, um zu verhindern, daß Licht in die Wohn- oder Schlafräume angrenzender Häuser gelangt und dadurch deren Bewohner stört; siehe hierzu in Bild 15 die Lichtverteilung links gegenüber der, ohne Abschirmung, rechts. Durch diese Abschirmung wird aber nur ungewünschtes Licht verringert. Die Effizienz der Beleuchtung der Straße leidet dadurch nicht, und da durch die Abschirmung ein Teil des Lichtes zur Straße reflektiert wird, steigt das dortige Beleuchtungsniveau. Was sich verschlechtert, ist nur das Ver-

hältnis zwischen aufgenommener Elektroleistung und abgegebenem Gesamtlichtstrom, also die Lumeneffizienz, auf deren Grundlage aber die Stromeffizienz üblicherweise bewertet wird. Nach einer ersten Auswertung beträgt die Minderung des Leuchtenlichtstromes durch die beschriebene Abschirmung 8,5 bis 17 v.H.



- ▶ Keiner der drei Ansätze – EU-Kommission, Lighting Europe und Umweltbundesamt – berücksichtigt den Einfluß der Lichtverteilung bei Leuchten auf die Stromeffizienz. Hierzu ist eine Diskussion erforderlich.

Produkteigenschaften: Blendungsminderung I.

3.2 Blendungsminderung

a) Mattierung:

Die mattierte Fläche absorbiert einen Teil des Lichtstromes (5 ... 7 v.H.).

Es gibt Lichtquellen (Lampen, Leuchten), bei denen die gesamte Lichtabgabefläche mattiert ist oder nur ein Teil.



[Quelle: Sigor]

Bild 16

Die im Bild 16 zu sehende Teilmattierung hat sicherlich einen Einfluß auf die Stromeffizienz. Dem Umweltbundesamt liegen jedoch keine Daten vor, aus denen die Höhe dieses Einflusses beziffert und daraus ein Vorschlag für eine mögliche Berücksichtigung entwickelt werden könnte.

- ▶ Keiner der drei hier verglichenen Ansätze berücksichtigt diesen Einfluß.

Über den Einfluß einer Mattierung der gesamten Lichtabgabefläche wurde bereits während der Entwicklung der Verordnung 244/2009/EG ^[10] diskutiert. Die Endfassung dieser Verordnung berücksichtigt den Mehrbedarf an Elektroleistung.

- Von den drei hier verglichenen Ansätzen berücksichtigt nur der UBA-Ansatz die Gesamtmattierung.

Produkteigenschaften: Blendungsminderung II.

a) Blendschutzkappen



[Quelle: Philips]

b) UGR



[Quelle: www.licht.de]

Bild 17

Blendschutzkappen sind von bestimmten Halogenleuchtungen bekannt; siehe im Bild 17. Die Kappe absorbiert einen Teil des Lichtes, es treten also Lichtstromverluste auf. In der Verordnung 1194/2012/EU ist dies durch einen Faktor für Halogenleuchtungen berücksichtigt ^[11]. Es gibt aber auch ALED-Reflektorlampen mit Blendschutzkappe, deren Befestigungssteg zusätzlich der Wärmeabfuhr dienen kann.

- Keiner der drei hier verglichenen Ansätze berücksichtigt diesen Einfluß.

Je nach Anwendung ist in der Innenbeleuchtung eine Blendungsbegrenzung wichtig. In der Lichtplanung wird der UGR-Wert als Kenngröße verwendet. Je niedriger der UGR-Wert, desto geringer ist die Blendung, aber um so höher ist in der Tendenz der Bedarf an Elektroleistung. Während bei einer Flurleuchte die Blendungsbegrenzung keine große Rolle spielt, ist diese bei einer Arbeitsplatzleuchte um so wichtiger.

- Keiner der drei, in dem vorliegenden Text verglichenen Ansätze berücksichtigt den Einfluß der Lichtverteilung bei Leuchten auf die Stromeffizienz. Aus den bisherigen

¹⁰ Zu der Bezugsquelle dieses Textes siehe die Liste auf Seite 28.

¹¹ Siehe dort im Anhang III, Tafel 1. Zu der Bezugsquelle dieses Textes siehe die Liste auf Seite 28.

Auswertungen des Umweltbundesamtes kann noch kein Vorschlag für die Berücksichtigung des UGR-Wertes durch einen Zuschlag abgeleitet werden. Die Berücksichtigung dieser Produkteigenschaft sollte diskutiert werden.

Produkteigenschaften: Kompaktheit I.

4 Kompaktheit des Leuchtmittels

Stromeffizientere Lichterzeugungstechniken benötigen für die Abgabe des gleichen Lichtstromes in der Tendenz mehr Raum.

Bild 18

Das Verhältnis zwischen den Abmessungen einer Lichtquelle und dem von ihr abgegebenen Lichtstrom kann die Stromeffizienz beeinflussen.

- So kann beispielsweise bei ALED-Lichtquellen der auf das Volumen der Lichtquelle bezogene Lichtstrom dadurch erhöht werden, daß die einzelnen ALEDs dichter gepackt werden und/oder der Strom durch die Leuchtdioden erhöht werden. In beiden Fällen steigt aber die Temperatur und damit sinkt der Wirkungsgrad.
- Ein weiteres Beispiel zeigt der Vergleich von Lampen mit R7s-Sockel: Für Lampen mit einer Länge von rund 118 mm können – dies zeigt zumindest die UBA-Datenauswertung vom Juni 2016 – folgende Lichtstromwerte erreicht werden ^[12]:

Halogenglühlampen: 30 000 lm \triangleq 254 lm/mm \triangleq 0,04 cm/lm

Kompaktleuchtstofflampen: 1 520 lm \triangleq 13 lm/mm \triangleq 0,78 cm/lm

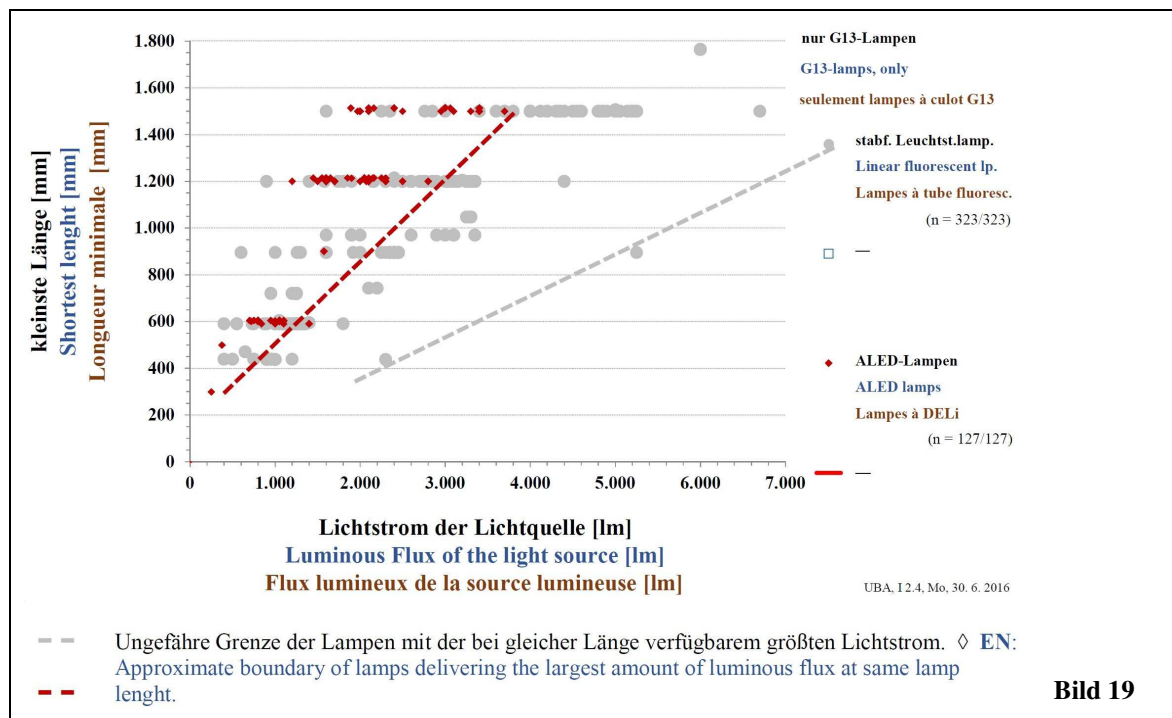
ALED-Lampen: 600 lm \triangleq 4 lm/mm \triangleq 1,97 cm/lm

Es dürfte unmöglich sein, Lichtstromwerte wie bei Halogenglühlampen mit der ALED-Technik zu erreichen. Ähnliche Ergebnisse kann man für andere Sockel/Bauformen erwarten.

- ALED-Leuchten scheinen gegenüber Leuchten mit herkömmlichen Lichtquellen, bei gleichem abgegebenem Lichtstrom, in der Tendenz größere Abmessungen zu benötigen und ein höheres Gewicht zu haben. Bei Außenleuchten führt dies, je nach Witterungsverhältnissen, zu größeren Wind- und Schneelasten und zusammen mit dem höheren Gewicht zu einer größeren Belastung des Leuchtenmastes. Im Falle der Erneuerung einer bestehenden Beleuchtungsanlage unter weiterer Nutzung der vorhandenen Maste könnte dies zu Schwierigkeiten führen.

¹² Siehe auch die Bilder im Abschnitt 5.2.3 der Datenauswertung des Umweltbundesamtes vom Juni 2016. Zu der Bezugsquelle dieses Textes siehe die Liste auf Seite 28.

- Stabförmige Leuchtstofflampen mit G13-Sockel liefern Lichtströme bis 7 000 lm, ALED-Lampen mit gleichem Sockel aber nur bis rund 3 500 lm. Das folgende Bild 19 zeigt den Zusammenhang zwischen der Länge einer Lampe und dem von ihr abgegebenen Lichtstrom. Es wird deutlich: Bei den zum Zeitpunkt der UBA-Datenauswertung, 2015, angebotenen Lampen mit G13-Sockel decken die ALED-Lampen bei gleicher Baulänge einen deutlich kleineren Lichtstrombereich ab. Das heißt: Führt eine gesetzliche Regelung zu einem Aus für stabförmige Leuchtstofflampen mit G13-Sockel und würden diese deshalb in installierten Leuchten durch ALED-Lampen ersetzt werden, könnte in Einzelfällen der Lichtstrom nicht mehr in der zuvor gelieferter Höhe bereitgestellt werden.



- Eine Diskussion über die bisher nicht sehr beachtete Produkteigenschaft Kompaktheit erscheint vor diesem Hintergrund angebracht.

Eine erste Auswertung des Umweltbundesamtes legt nahe, daß für die Betrachtung der Stromeffizienz die Kompaktheit, ausgedrückt in lm/mm Länge, besser geeignet ist als in lm/mm³ Raum. Dies ist aber nur als allererster Ansatz für eine Diskussion zu verstehen.

- Von den drei hier verglichenen Ansätzen berücksichtigt nur der des Umweltbundesamtes den Einfluß der Kompaktheit auf die Stromeffizienz.

Das folgende Bild 20 zeigt in einer Übersicht welche Produkteigenschaften mit möglichem Einfluß auf die Stromeffizienz bei welchen der drei hier verglichenen Ansätze berücksichtigt werden.

Produkteigenschaften: Gegenüberstellung Bewertungsansätze

		EU-Komm.	Lighting Europe	UBA 6/2016
Helligkeit	Lichtstrom [lm]	●	●	●
Lichtspektrum				
- Farbwiedergabe				
- Ra	[-]	●	●	●
- R9	[-]	○	○	○
- Weißwiedergabe	[-]	○	○	○
- Farbtemperatur	Tc [K]	○	○	●
- Tageslaufabhäng. Bel.		○	○	○
Lichtverteilung				
- Bündelung	Halbwertswinkel [°]	○	●	●
- Lichtverteilungskurven		○	siehe Mod.	○
- Blendungsbegrenzung				
- Gesamtmattierung		○	○	●
- Teilmattierung		○	○	○
- Blendschutzkappen		○	○	○
- UGR o. ä.		○	○	○
Kompaktheit	[lm/mm]	○	○	●

Bild 20

2. Thema des Vortrages: Lichtausbeute, „Wurzelfunktion“ und andere Ansätze

Die Anforderungen an die Stromeffizienz von Beleuchtungsprodukten werden unterschiedlich formuliert. Das folgende Bild 21 zeigt drei Beispiele, die hier zum Zweck des Vergleiches als Höchstwerte der Elektroleistung (Watt) formuliert sind:

1. Die traditionelle verwendete Lichtausbeute, die in einem Teil der bestehenden Verordnungen verwendet wird.
2. Der in einem Teil der bestehenden Verordnungen verwendeter Kennwert EEI, dort als Energieeffizienzindex bezeichnet, obwohl ein höherer EEI-Wert eine geringe Energieeffizienz anzeigt, er also eigentlich ein Energie~~ine~~ffizienzindex ist.
3. Die in dem Vorentwurf der EU-Kommission und im Gegenentwurf von Lighting Europe vom November 2015 verwendete Gleichung.

Formeln und Gleichungen: Gegenüberstellung I.

$$1. \quad P \leq \frac{\Phi}{\eta_{\min}}$$

$$2. \quad P \leq \text{EEI}_{\max} \times (0,88 \times \sqrt{\Phi} + 0,049 \times \Phi)$$

↳ UBA 6/2016 (ähnl.)

$$3. \quad P \leq \left(2 + \frac{\Phi}{\lambda}\right) \times \frac{Ra + 240}{320}$$

↳ EU-Komm. und Lighting Eur.

Bild 21

Die Elemente, anhand deren das Anforderungsniveau im wesentlichen verändert werden kann, sind im Bild 21 durch blaue, fette Schrift hervorgehoben. Im ersten Falle ist es der Werte der Mindestlichtausbeute, im zweiten Falle der Mindestwert für den sogenannten Energieeffizienzindex ^[13] und im dritten Falle der hier λ genannte Faktor, der beispielsweise in dem Vorentwurf der EU-Kommission in den dort vorgeschlagenen drei Stufen die Werte 60, 80 und 120 annimmt.

¹³ Bei sinkender Elektroleistung (Watt) und damit steigender Energieeffizienz sinkt auch der EEI. Damit ist dieser kein Energieeffizienzindex, sondern ein Aufwandskennwert.

Der Diskussionsvorschlag des Umweltbundesamtes vom Juni 2016 verwendet eine Weiterentwicklung der unter 2. aufgeführten Gleichung. Die Weiterentwicklung ist die dimensionslose LBAP-Zahl.

Ihr Ausgangspunkt ist die von der Richtlinie 98/11/EG bekannte Gleichung

$$0,88 \times \sqrt{\Phi} + 0,049 \times \Phi,$$

die dort bei Lampen mit einem Lichtstrom >34 lm für die Obergrenzen der Energieklassen B ... F verwendet wurde. In der Verordnung 244/2009/EG wird die Gleichung für die Formulierung von Höchstwerten verwendet und in der Verordnung 874/2015/EU ^[14] für die Bestimmung der Energieklassen A⁺⁺ ... E bei einem Lichtstrom bis 1 300 lm.

Es gibt eine Reihe von Überlegungen, auf deren Grundlage das Umweltbundesamt für die Verwendung dieser Gleichung anstelle der Lichtausbeute η plädiert: nicht nur für bestimmte Energieklassen wie bei der RL 98/11/EG oder für einen bestimmten Lichtstrombereich wie in der VO 874/2012/EU, sondern durchgehend.

Eine wesentliche Weiterentwicklung gegenüber der in den genannten Gesetztestexten verwendeten Gleichung besteht in dem Bezug auf andere Bilanzgrenzen; siehe den Text zum 1. Vortrag von Herrn Mordziol am 20. Oktober 2016 ^[15].

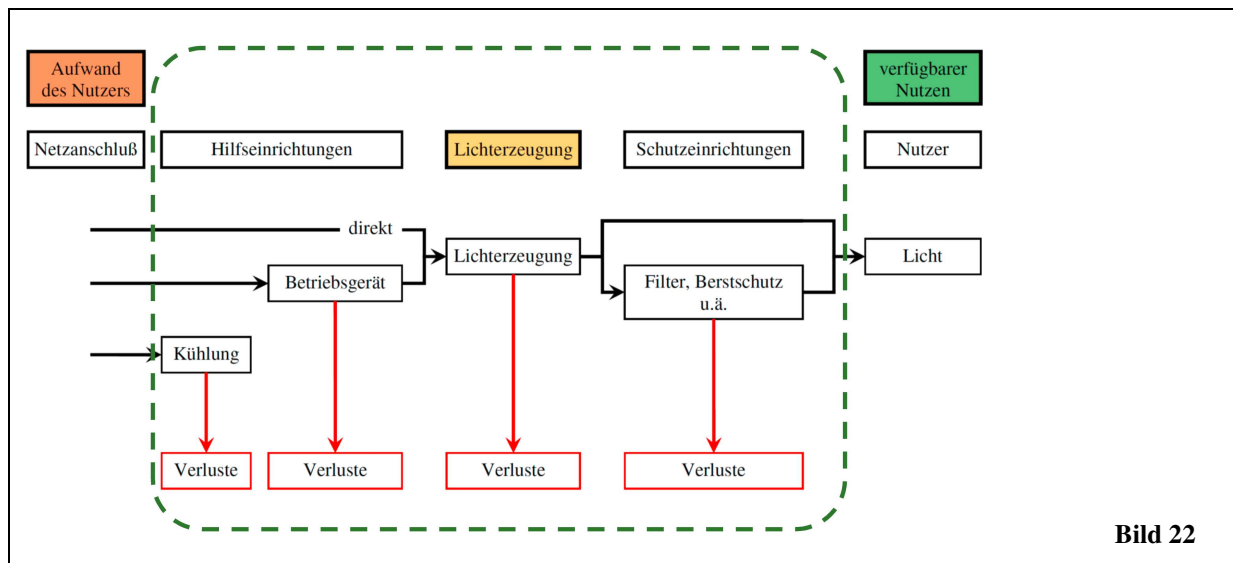


Bild 22

¹⁴ Zu der Bezugsquelle dieses Textes siehe die Liste auf Seite 28.

¹⁵ Zu der Bezugsquelle dieses Textes siehe die Liste auf Seite 28.

Dies sind die folgenden Bilanzgrenzen:

- Die Bilanzgrenze des Aufwandes:
Es wird der gesamte Aufwand berücksichtigt, der betrieben werden muß, um die von der Lichtquelle erbrachte Lichtdienstleistung zu ermöglichen: also die gesamte eingesetzte Elektroleistung, einschließlich Betriebsgerät, Kühlung usw.
- Die Bilanzgrenze des Nutzens:
Es wird nur der Lichtstrom berücksichtigt, wie er in seiner Höhe (Lumen) und seinem Spektrum (T_C , R_a usw.) dem Nutzer zur Verfügung steht. Dies ist der Lichtstrom der eigentlichen Lichtquelle nach Passieren einer Leuchtstoffschicht und/oder einer Filterschicht, einer Schicht zur Lichtlenkung, nach der Spiegelung an einer Reflektorschicht oder nach dem Passieren eines Berstsches oder der Hülle einer Leuchte oder ähnlichem.

Statt der Elektroleistung P_{LP} der Lampe/Lichtquelle oder der Elektroleistung an der Steckdose L_{St} geht die Elektroleistung P_{Bil} an der Bilanzgrenze des Aufwandes in die LBAP-Zahl ein ...

Formeln und Gleichungen: LBAP-Zahl.

$$LBAP = \frac{P_{Bil}}{0,01029 \times [0,88 \times \sqrt{\Phi_{Bil}} + 0,049 \times \Phi_{Bil}]}$$

mit:

P_{Bil} = Elektroleistung an der Bilanzgrenze des Aufwandes [Watt]

Φ_{Bil} = Lichtstrom an der Bilanzgrenze des Nutzens [Lumen]

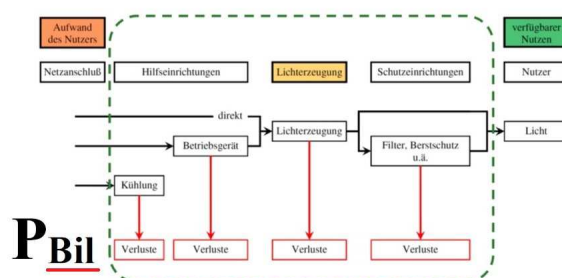


Bild 23

... und statt des von der Lichtquelle abgegebenen Lichtstromes Φ_{LP} der Lampe/Lichtquelle geht der dem Nutzer tatsächlich zur Verfügung stehende Lichtstrom Φ_{BIL} an der Bilanzgrenze des Nutzens in die LBAP-Zahl ein:

Formeln und Gleichungen: LBAP-Zahl.

$$LBAP = \frac{P_{Bil}}{0,01029 \times [0,88 \times \sqrt{\Phi_{Bil}} + 0,049 \times \Phi_{Bil}]}$$

mit:

P_{Bil} = Elektroleistung an der Bilanzgrenze des Aufwandes [Watt]

Φ_{Bil} = Lichtstrom an der Bilanzgrenze des Nutzens [Lumen]

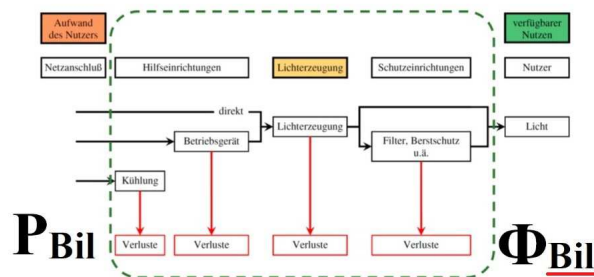


Bild 24

Kennwerte, die sich unmittelbar aus der in den genannten Gesetztestexten verwendeten Gleichung $0,88 \times \sqrt{\Phi} + 0,049 \times \Phi$ ableiten, liegen vielfach im Nachkommabereich, sind also unhandlich.

Zudem ist die Verwendung einer Kennzahl, die in Teilen mit einer anderen übereinstimmt, beispielsweise dem Energieeffizienzindex EEI der VO 874/2012/EU, kritisch. Zu leicht kann es zu einer versehentlichen Gleichsetzung kommen, was bei der Auslegung von Anforderungen fatal sein kann.

Aus diesen beiden Gründen hat die LBAP-Zahl ^[16] eine andere Größenordnung; sie hat etwa den hundertfachen Wert dessen, was der EEI im Bereich bis 1 300 lm aufweist:

Formeln und Gleichungen: LBAP-Zahl.

$$\text{LBAP} = \frac{P_{\text{Bil}}}{\underline{0,01029} \times [0,88 \times \sqrt{\Phi_{\text{Bil}}} + 0,049 \times \Phi_{\text{Bil}}]}$$

mit:

P_{Bil} = Elektroleistung an der Bilanzgrenze des Aufwandes [Watt]

Φ_{Bil} = Lichtstrom an der Bilanzgrenze des Nutzens [Lumen]

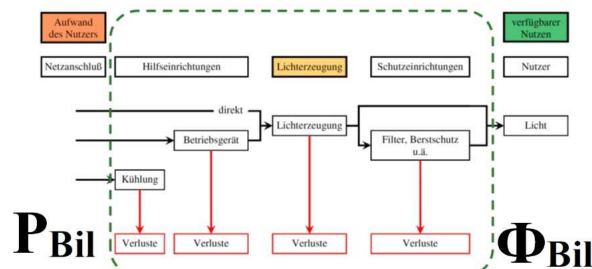


Bild 25

Das Verhältnis beträgt nicht genau 1:100 (oder 0,01), sondern 97,18 (oder 0,01029). Dieser Wert ist so gewählt, daß bei einer 60-Watt-Standardglühlampe ^[17] die LBAP-Zahl 100 beträgt. Auch wenn aufgrund der Verordnung 244/2009/EG diese Lampen längst nicht mehr in Verkehr gebracht werden dürfen, werden sie noch zu hunderttausenden verkauft und viele Menschen haben noch eine Vorstellung von diesem Leuchtmittel. Damit sind für eine gewisse Zeit einfache Vergleiche möglich. Beispiel:

Die (...) LED-Lampe hat eine LBAP-Zahl von 12. Durch Ihren Einsatz können Sie $(100 - 12 =)$ 88 % Strom einsparen.

Der traditionelle Maßstab für die Bewertung der Stromeffizienz von Beleuchtungsprodukten ist die Lichtausbeute. Der Vorentwurf der EU-Kommission sowie der Gegenentwurf von Lighting Europe verwenden eine andere Gleichung und die LBAP-Zahl wird ebenfalls über

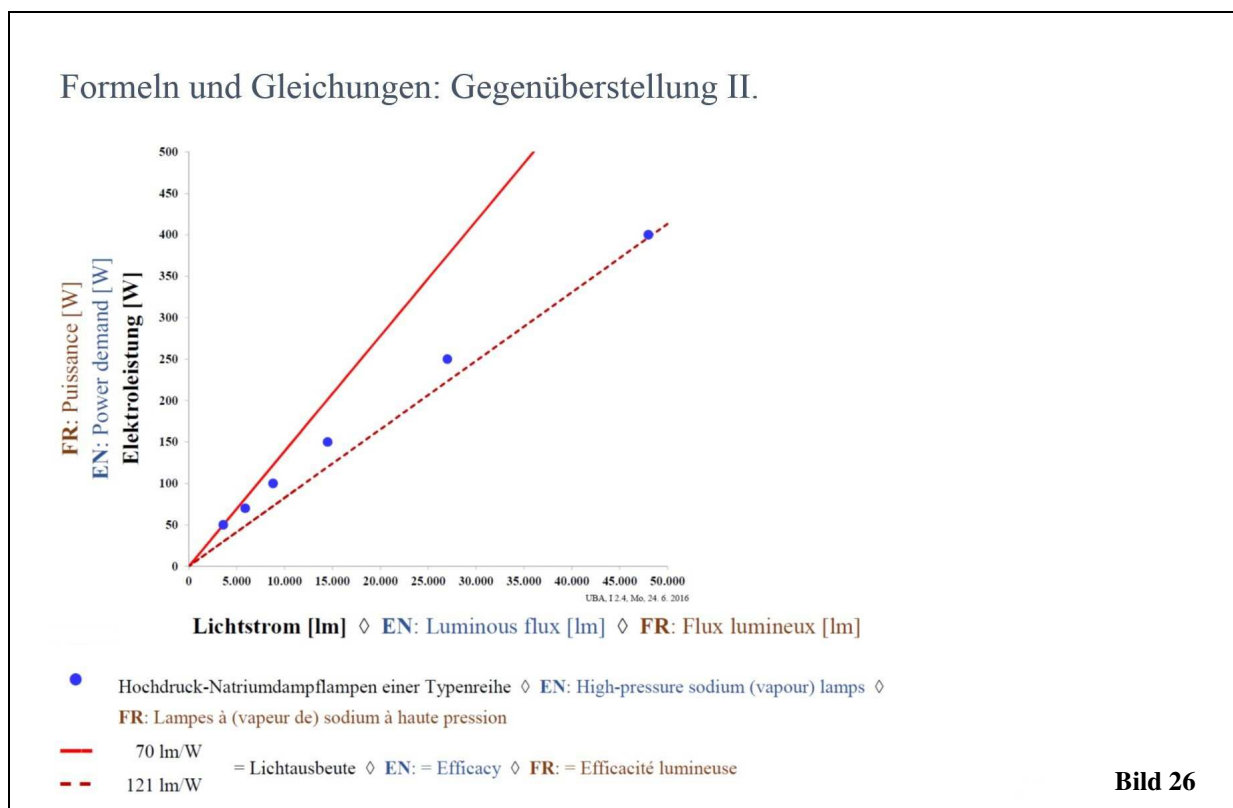
¹⁶ **LBAP-Zahl:** Kennzahl zur Bewertung des Elektrizitätsaufwandes für den Betrieb von **L**ichtquellen, bewertet auf Grundlage der für die **B**ilanzgrenze ermittelten Werte von **A**nfangslichtstrom Φ_i und Elektroleistung **P** der Lichtquelle.

daneben: **LBMP-Zahl:** desgleichen bei Bewertung des auf die erwartete Lebensdauer bezogenen **m**ittleren Lichtstromes

¹⁷ Standardglühlampen sind herkömmliche Glühlampen mit einem E27-Sockel und einen klaren Kolben der Form A (Birnenform) in Standardgröße. Dieser ist mit einem Stickstoff-Argon-Gemisch als Schutzgas gefüllt. Die Lebensdauer beträgt rund 1'000 Stunden.

eine andere Gleichung errechnet. Deshalb zeigen die Bilder 27 ... 29 die einzelnen Bewertungsmaßstäbe zum Vergleich. Dargestellt sind in allen diesen Bildern zunächst die Daten einer bestimmten Lampentypenreihe – hier: Hochdruck-Natriumdampflampen eines großen Herstellers –, aufgetragen über dem Lichtstrom. Als zweites sind in jedem Bild die Linien dargestellt, die den Bereich begrenzen, in dem sich die Stromeffizienz der Lampenreihe bei dem jeweiligen Ansatz bewegt. Grund: Bei keinem der drei Bewertungsmaßstäbe kann die Stromeffizienz dieser Lampenreihe durch einen einzelnen Wert annnehmbar genau beschrieben werden. In allen Fällen liegt die Stromeffizienz zwischen einem niedrigen und einem hohen Wert. Es gibt aber deutliche Unterschiede in der Breite zwischen niedrigem und hohem Wert, also Unterschiede in der Genauigkeit eines vermeintlich repräsentativen Mittelwertes.

Zunächst zeigt Bild 26 den Verlauf der Elektroleistung über dem Lichtstrom.

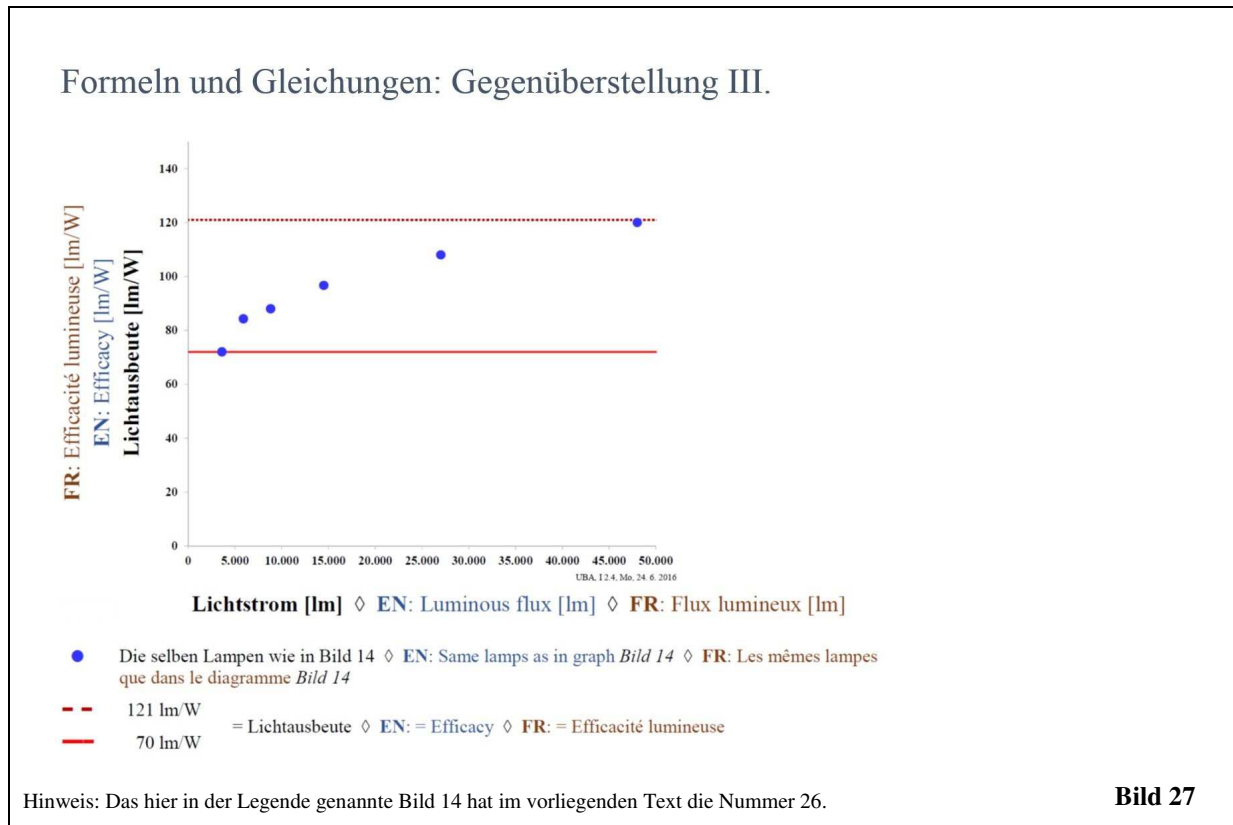


Der Zusammenhang zwischen Elektroleistung und Lichtstrom ist bei weitem nicht linear.

Immer wieder ist zu hören, daß die aus den Daten von Standardglühlampen abgeleitete Wurzelfunktion $0,88 \times \sqrt{\Phi} + 0,049 \times \Phi$ für herkömmliche Lichterzeugungstechnik gelten mag, nicht aber für ALED-Lichtquellen, weil diese aus einer Vielzahl einzelner ALED bestehen und die Stromeffizienz der gesamten ALED-Lichtquelle die gleiche sei wie die der einzelnen ALED. Wenn die einzelne ALED eine Lichtausbeute von $A \text{ lm/B W} = C \text{ lm/W}$ habe, ergäbe sich für eine Leuchte mit n ALEDs die Lichtausbeute zu $(n \times A \text{ lm}) / (n \times B \text{ W}) = n/n \times A/B = 1 \times A/B = C \text{ lm/W}$. Dieses Modell vernachlässigt, daß die Bedingungen für den Betrieb einer einzelnen ALED nicht die selben sind wie die für den Betrieb einer Gruppe zusammengepackter ALED, die sich vor allem bezüglich der Wärmeabfuhr gegenseitig beeinflussen können. Zudem ergeben sich die Unterschiede im Gesamtlichtstrom der ALED-Leuchten

nicht allein aus der Zahl der eingesetzten Einzel-ALED, sondern auch aus der Bestromung. Bei ALED-Leuchten, die aus gleichen Einzel-ALEDs zusammengesetzt sind, kann der Zusammenhang zwischen Lichtstrom und Elektroleistung je nach Konstruktion und Betriebsweise einem linearen Verlauf ähneln oder von diesem stärker abweichen ^[18].

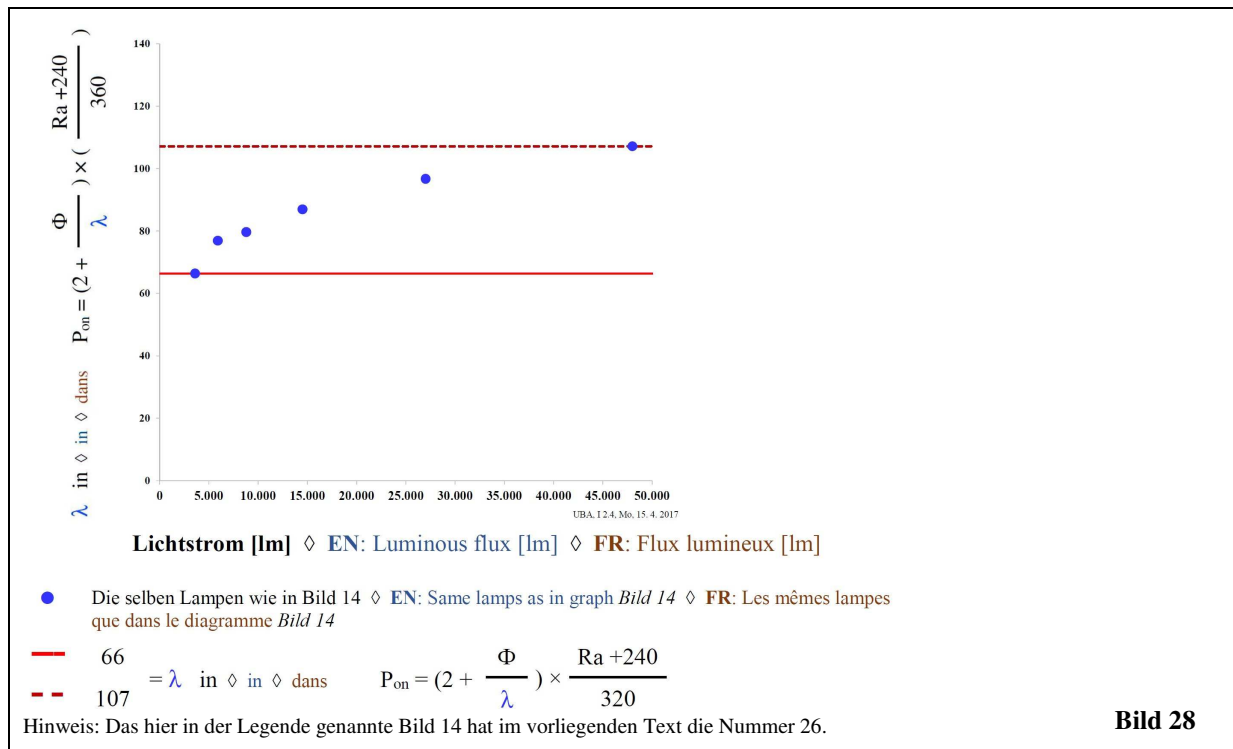
Lichtausbeute: Wie das folgende Bild 27 zeigt, liegt der niedrigere Wert 42 v.H. unter dem höheren. Die Werte der einzelnen Lampen weichen also rund 20 v.H. vom Mittelwert ^[19] ab.



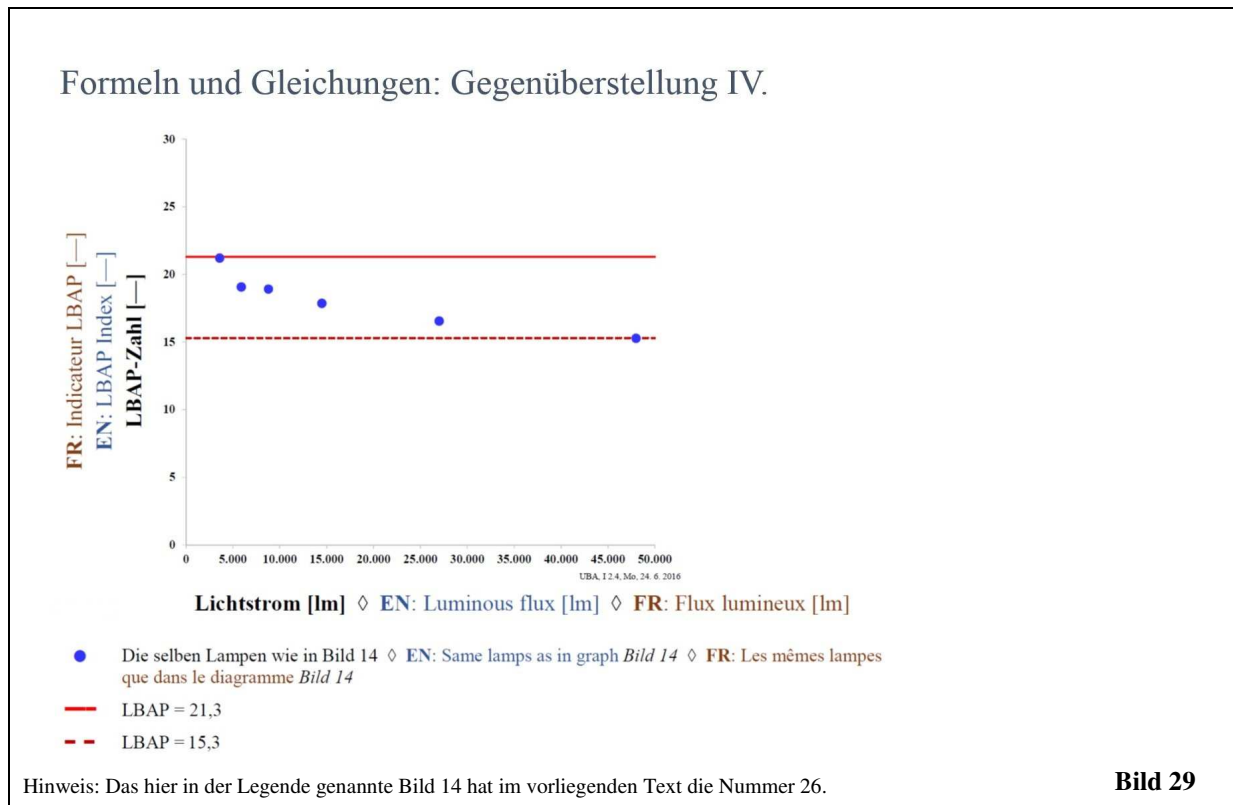
¹⁸ vorausgesetzt man betrachtet Meßwerte der Leuchten und nicht etwa Werte aus Datenblättern von Anbietern, die die Werte für ihre Leuchten einfach dadurch bestimmen, indem sie die Werte der Einzel-ALED mit der Zahl der eingebauten ALED malnehmen

¹⁹ hier: Median

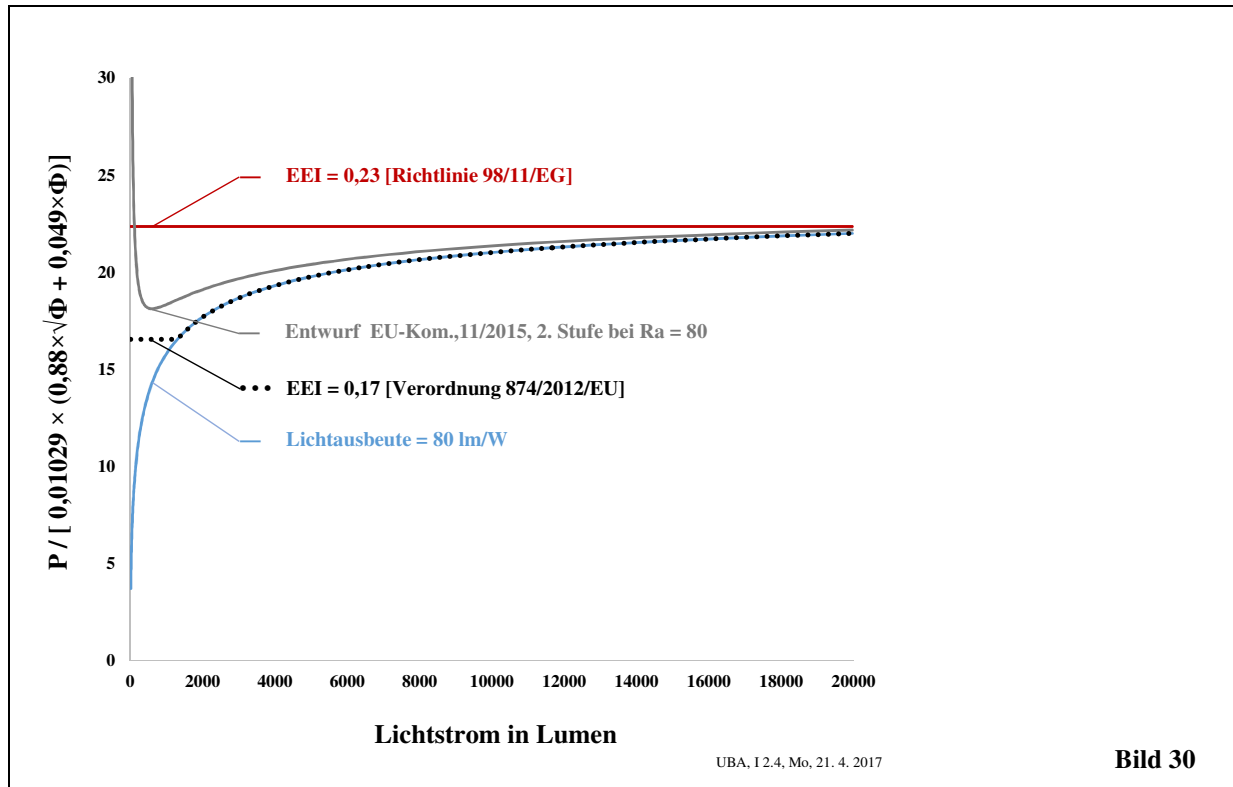
Von EU-Kommission und Lighting Europe verwendete Gleichung (Bild 28): Der niedrigere Werte liegt hier 38 v.H. unter dem höheren; die Einzelwerte weichen auch hier um rund 19 v.H. vom Mittelwert ab.



LBAP-Zahl (Bild 29): Der niedrigere Wert liegt rund 28 v.H. unter dem höheren. Für die Einzelwerte ergibt sich damit noch eine Abweichung vom Mittelwert um rund 15 v.H.



Das folgende Bild 30 zeigt den Verlauf der drei hier verglichenen Ansatz/Gleichungen über dem Lichtstrom. Ergänzt ist der Verlauf für den sogenannten Energieeffizienzindex EEI gemäß der Verordnung 874/2012/EU für die Energieverbrauchsetikettierung. Dieser folgt bis zu einem Lichtstrom von 1 300 lm der Wurfelfunktion und danach der Lichtausbeute.



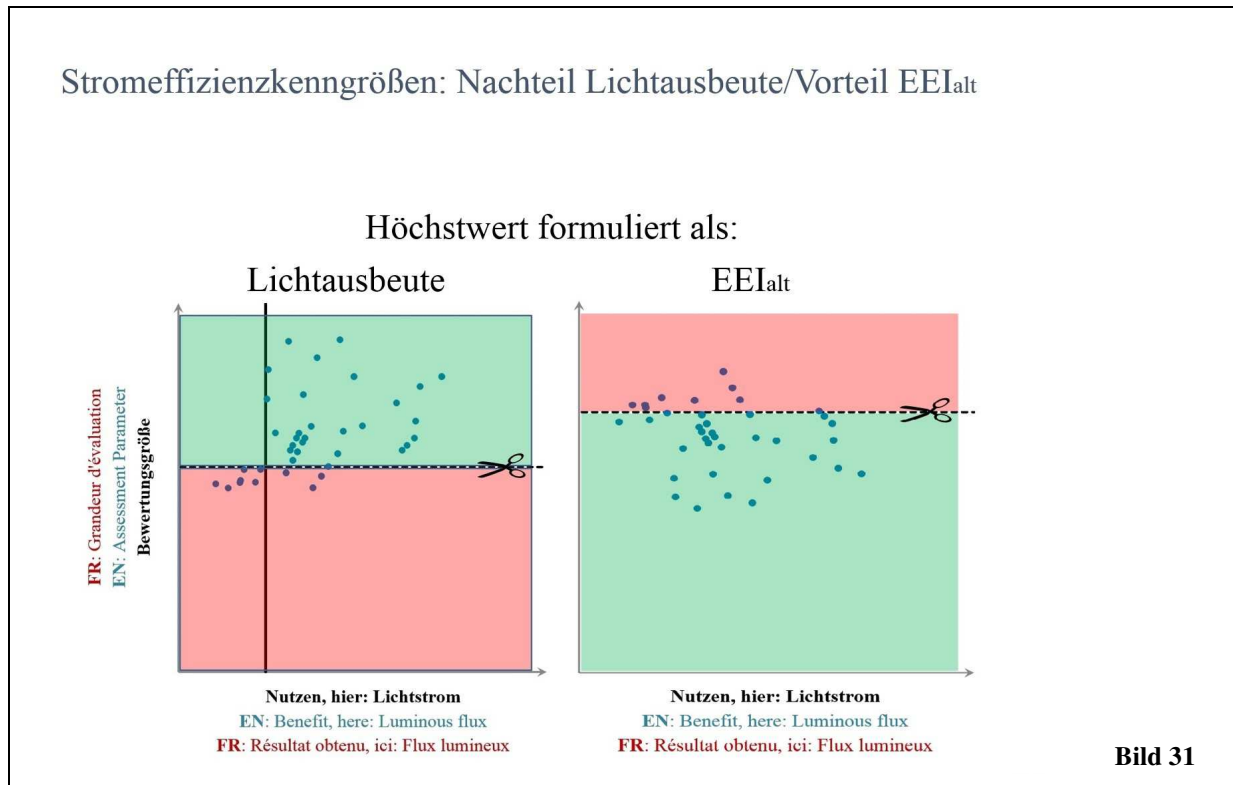
Die drei Ansätze weichen in ihrem Verlauf vor allem bei „kleineren“ Lichtstromwerten voneinander ab. Ab grob 10 000 lm ähneln die Verläufe einander. Da die Mehrzahl der eingesetzten Lichtquellen unterhalb dieses Wertes liegt, kann es erhebliche Auswirkungen haben, wenn bei der Festlegung von Stromeffizienzwerten eine ungeeignete Gleichung verwendet wird. Das folgende Bild 31 zeigt hierfür ein Beispiel. Verwendet wurden hier die Daten von Pendelleuchten, die Ende 2014 mit dem Schweizer Minergie-Siegel versehen waren ^[20]. Dargestellt sind mögliche Anforderungen an die Stromeffizienz dieser Leuchten.

Links ist eine Grenze als Lichtausbeute formuliert: ein über dem Lichtstrom konstanter Wert: 75 lm/W ^[21]. Diese Grenze ist ein Mindestwert. Leuchten, deren Wert oberhalb dieser Grenze liegt, haben eine ausreichend hohe Lichtausbeute (grüner Bereich). Leuchten, deren Wert unter der Grenze liegt, liegen im roten Bereich. Die Daten der hier betrachteten Leuchten zeigen über dem Lichtstrom steigende Lichtausbeutewerte. Während bei hohen Lichtstromwerten alle Leuchten den Grenzwert einhalten, schaffen dies bei den kleineren Lichtstromwerten keine Leuchte. Wäre dies ein gesetzlicher Grenzwert, müßten alle Leuchten mit geringen Lichtstromwerten vom Markt weichen; siehe die senkrechte Linie im Bild 31.

²⁰ <https://www.toplicht.ch/minergie/leuchtenliste/>, n = 47

²¹ Dieser Wert ist beispielsweise in dem Beleuchtungserlaß des Bundesbauministeriums vom Juli 2013 festgeschrieben (damals BMVBS = Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung).

Rechts ist die Grenze als Aufwandskennwert formuliert, hier als EEI in Höhe von 0,21 ($EEI = P / [0,88 \times \sqrt{\Phi} + 0,049 \times \Phi]$). Diese Grenze stellt einen Höchstwert dar. Leuchten, deren Werte kleiner als der Grenzwert sind, liegen im grünen Bereich. Bei dem mittels EEI („Wurzelfunktion“) formulierten Grenzwert bleibt bezüglich des Lichtstromes die gesamte Bandbreite erhalten.



Die Wurzelgleichung wird bei diesen Leuchten dem Zusammenhang zwischen Elektroleistung und Lichtstrom offensichtlich besser gerecht als die Lichtausbeute.

Es ist auch bei anderen Lichtquellen, nicht nur Leuchten zu beobachten, daß die Lichtausbeute bei kleineren Lichtströmen geringer ist als bei größeren.

- Stromeffizienzanforderungen, die als konstanter Wert formuliert sind, das heißt als ein über der gesamten Lichtstrombreite gleichbleibender Wert, sind für Lichtquellen mit kleineren Lichtstromwerten schwerer einzuhalten. Sie bergen die Gefahr einer kritischen Ausdünnung oder gar Leerung des Marktangebotes in diesem Lichtstrombereich.

Die in dem Vorentwurf der EU-Kommission verwendete und im Grundsatz von Lighting Europe übernommene Gleichung ...

$$P \leq \left(2 + \frac{\Phi}{\lambda} \right) \times \left(\frac{Ra + 240}{360} \right)$$

Φ = Lichtstrom in Lumen
 λ = Faktor, der je nach Anforderungsniveau unterschiedlich hoch ausfällt
 Ra = allgemeiner Farbwiedergabeindex

... berücksichtigt diesen Umstand zum Teil durch den Wert 2 Watt, der vor allem bei Lichtquellen mit geringem Lichtstrom die zulässige Elektroleistung erhöht; vergleiche auch Bild 30.

- ▶ Welcher Ansatz/welche Gleichung die für die kommende Regelung am besten geeignet ist – sei es eine der drei hier verglichenen oder eine andere –, hängt auch davon ab, wie weit diese Regelung technikenabhängig sein soll; siehe die Diskussion in dem Fachgespräch am 20. Oktober zur Frage der Technikenabhängigkeit und der Folge möglicher technikenabhängiger Anforderungen auf das Marktangebot an Lichtquellen, die für Anwendungen mit schwierigen Bedingungen benötigt werden ^[22].

²² Siehe Punkt 2.2 Diskussion in dem Protokoll zu dem Fachgespräch, herunterzuladen unter http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Lichtquellen_Forum_FG_2016_10_20h_Ergebnisse.pdf sowie beispielsweise Bild 25 in dem 1. Vortrag von Herrn Mordziol bei dem selben Fachgespräch, herunterzuladen unter der auf Seite 28 genannten Netzadresse.

Bezugsquellen für Dokumente, auf die im vorliegenden Text verwiesen wurde:

EG- und EU-Verordnungen:

a) 244/2009/EG:

http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Lichtquellen_V0_0244_2009_EG_DE.pdf

b) 245/2009/EG:

http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Lichtquellen_V0_0245_2009_EG_DE.pdf

c) 1194/2012/EU:

http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Lichtquellen_V0_1194_2012_EU_DE.pdf

d) 874/2012/EU:

http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Lichtquellen_V0_0874_2012_EU_DE.pdf

Regelungsentwürfe:

a) Vorentwurf der EU-Kommission vom November 2015:

http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Lichtquellen_EK_2015_11_06_Ew_Produktgestaltung.pdf

b) Gegenentwurf von Lighting Europe vom Februar 2016:

http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Lichtquellen_Stellungnahme_LE_2016_02_01_Produktgestaltung.pdf

Zusammenfassung der UBA-Auswertung vom Juni 2016 und Beschreibung des UBA-Ansatzes zur Stromeffizienzbewertung:

http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Lichtquellen_UBA_Hintergrundtext_04d.pdf

Sonstiges:

a) Anforderungen an Lampen mit gebündeltem Licht – UBA-Anmerkungen vom Juli 2015:

http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Lichtquellen_UBA_Hintergrundtext_04c.pdf

b) 1. Vortrag Mordziol am 20. Oktober 2016:

http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Lichtquellen_Forum_FG_2016_10_20d_Vortrag_Mordziol_1.pdf