



Wie umweltfreundlich sind Energiesparlampen?

Eine Studie zur Überprüfung des Glühlampenverbots

Dr. Ahmet Çakir

Mai 2010

Wie umweltfreundlich sind Energiesparlampen?

1. Begrifflichkeiten	3
2. Zum Thema - Energieverbrauch oder Ökobilanz?	3
3. Zum Energieaufwand bei der Lichterzeugung	4
3.1. Mitverbraucher	4
3.2. Umwandlung von Energie in Licht	4
3.3. Verlustquellen	7
3.4. Umgebungsabhängigkeit	7
3.5. Bestimmungsunsicherheit für den Lichtstrom	8
3.6. Relevanz der Bestimmungsunsicherheit der Lichtausbeute	9
3.7. Fazit	11
4. Zur Qualitätsfrage	12
4.1. Spektrum und Farbwiedergabe	12
4.2. Glanz und Brillanz	17
4.3. Flimmern	20
5. Zur Lebensdauerproblematik	22
5.1. Bedeutung	22
5.2. 1.000 Stunden - Optimum für wen?	22
5.3. Technische Daten - oder schleierhafte Methoden	23
5.4. Daten von der Industrie	23
5.5. Testergebnisse Stiftung Warentest 2010	25
6. Zum Herstellungsaufwand	25
7. Zur Quecksilberproblematik	26
8. Zur Problematik elektromagnetischer Felder	28
9. Zur Gesundheitsproblematik	30
10. Zur Problematik von Ökobilanzen	31
11. Gesamtwertung	33
12. Literatur	35

Wie umweltfreundlich sind Energiesparlampen?

1. Begrifflichkeiten

Unter dem Begriff „Energiesparlampe“ werden im Folgenden künstliche Lichtquellen verstanden, die einen wesentlich höheren Lichtstrom aus der gleichen Menge Energie erzeugen als vergleichbare Lampen. Im Fachgebrauch bezeichnet man dies als einen höheren Lampenwirkungsgrad oder eine bessere Lichtausbeute.

Häufig werden lediglich sogenannte „Kompaktleuchtstofflampen“ als Energiesparlampen verstanden. Aber auch Halogenleuchtstofflampen bestimmter Bauart sowie LEDs können dieser Rubrik zugeordnet werden. Der Spareffekt wird an der üblichen Glühlampe, der „Allgebrauchslampe“, gemessen.

In den Katalogen der Lampenhersteller scheint die Sache klar: Energiesparlampe = Kompaktleuchtstofflampe, so im OSRAM-Katalog. [1]

Das allen Betrachtungen in der Lichttechnik zu Grunde liegende „Licht“ ist etwas anders als das, was sich andere Menschen, insbesondere Mediziner, vorstellen: Während Licht im Allgemeinen so verstanden wird, dass es sichtbare Strahlung und die Infrarot- und Ultraviolettstrahlung einschließt, wird in der Lichttechnik lediglich die sichtbare Strahlung als Licht bezeichnet. Dieser Unterschied ist für das Thema Ausschlag gebend.

2. Zum Thema - Energieverbrauch oder Ökobilanz?

Die sogenannte „Energiesparlampe“ folgt dem Wunschdenken, möglichst viel Licht aus möglichst wenig Energie zu erzeugen. Der Anspruch an sich ist nichts Neues. Und nichts, was man in Abrede stellen dürfte. Seit Ewigkeiten versuchen Ingenieure, möglichst viel Produkt aus möglichst wenig Ressource herauszuholen. Sie verfeinern ihre Methoden ständig, um immer bessere Geräte und Einrichtungen mit möglichst geringem Aufwand an Arbeit, Material und Energie zu erstellen. Ob sie ihren Zielen wirklich näher kommen, hängt davon ab, ob das Neue wirklich besser ist als das Alte.

Das könnte bei der „Energiesparlampe“ der Fall sein, wenn man ihren Erfolg an dem ultimativen Ziel der Umweltschonung bewertet. Dieses besteht allerdings nicht darin, dass ein Objekt im Betrieb weniger Energie als Vergleichbares verbraucht. Vielmehr muss die Ökobilanz überzeugen, die von der Idee eines Produkts bis hin zu dessen endgültiger Wiedereingliederung in die Natur reicht, d.h. auch die Entsorgung und Zersetzung mit einschließt. Während man viele Gutachten über den Betrieb der Lampen finden kann, ist es wohl bislang niemandem gelungen, eine fachgerechte Ökobilanz der sogenannten „Energiesparlampe“ zu finden.

Allein die Tatsache, dass sich keine Ökobilanz für die „Energiesparlampe“ finden lässt, ist Grund genug, nachzubohren. Denn es hat bisher nie an Gutachtern gefehlt, die eine begründete Behauptung überzeugend nachweisen helfen. Mal mit, mal ohne monetäre Hilfen ... Schon gar nicht bei scheinbar so offensichtlichen Verhältnissen, wie sie die Lam-

penindustrie darstellt. Wenn sie denn das allein tun würde. Die EU-Kommission, zwei deutsche Umweltminister (Gabriel und sein Vorgänger Trittin), Politiker der Grünen u.v.a.m. Wieso muss man dann sich die Informationen mühsam zusammensuchen, bzw. erhält sie gar nicht erst?

3. Zum Energieaufwand bei der Lichterzeugung

3.1. Mitverbraucher

Um Licht zu erzeugen, muss man bekanntlich Energie aufwenden. Diese wird je nach Art des leuchtenden Körpers entweder fast ausschließlich in diesem Körper umgewandelt oder zu einem erheblichen Teil von Zusatzeinrichtungen „verbraucht“, die zum Betrieb benötigt werden. So wird z.B. jede Leuchtstofflampe an einem Vorschaltgerät betrieben. Dieses kann bis zu 30 % der „Systemleistung“ verbrauchen, wobei Wärme entsteht. D.h., beim Betrieb einer solchen Lampe wird nur 70% der Energie in die Lampe eingespeist.

Andere Lampen benötigen Zusatzeinrichtungen, die auch ohne den Betrieb des Leuchtmittels Energie verbrauchen. So wird die Halogenniedervoltlampe häufig mit einem Transformator betrieben. Wird dieser nicht mit abgeschaltet, verbraucht er ständig Strom. In solchen Fällen ist es schwierig, eine sogenannte „Systemleistung“ zu berechnen, weil man den Trafo auch mit der Lampe zusammen abschalten kann.

Noch undurchsichtiger wird die Sache bei den sogenannten Lichtmanagementsystemen, weil diese selbst ohne eine einzige betriebene Lampe Energie verbrauchen. Das Ergebnis einer Energiebetrachtung hängt daher sehr stark von der Betriebsweise ab. Zudem werden die Lampen durch solche Systeme häufig außerhalb ihrer bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen eingesetzt, „z.B. „gedimmt“, wodurch sich ihre wichtigsten Merkmale wie Lichtstrom und Farbwiedergabe erheblich ändern.

Die CELMA, Federation of National Manufacturers Associations for Luminaires and Electrotechnical Components for Luminaires in the European Union, hat die Forderung erhoben, dass nicht einzelne Komponenten wie Lampen berücksichtigt werden sollten, sondern die sog. „Systemeffizienz“ [2]. Da Europapolitiker diesen Aspekt im Jahre 2010 diskutieren - das zitierte Interview ist vom 15. Februar 2010 -, kann man davon ausgehen, dass dieser seit langer Zeit bekannte Grundsatz beim Glühlampenverbot nicht berücksichtigt worden ist.

3.2. Umwandlung von Energie in Licht

Die Umwandlung der eingespeisten Energie in Licht kann auf mehreren Wegen erfolgen. Der älteste bekannte Weg ist die Temperaturstrahlung (Feuer). Hierbei wird Materie erhitzt und gibt Licht ab. Da die Temperaturstrahlung dem Planckschen Gesetz gehorcht, entstehen dabei je nach Temperatur des Strahlers auch unsichtbare Strahlen (Infrarot, UV).

Wie man der Darstellung in Bild 1 entnehmen kann, erzeugt ein Körper mit einer Temperatur von 1000 K sehr wenig Licht und strahlt den größten Teil der Energie als Infrarot aus. Erst bei 3000 K rückt das Maximum der Strahlung in die Nähe des sichtbaren Bereichs. Auch bei dieser Tem-

peratur wird ein Temperaturstrahler einen Großteil der eingespeisten Energie in nicht sichtbare Strahlung umwandeln.

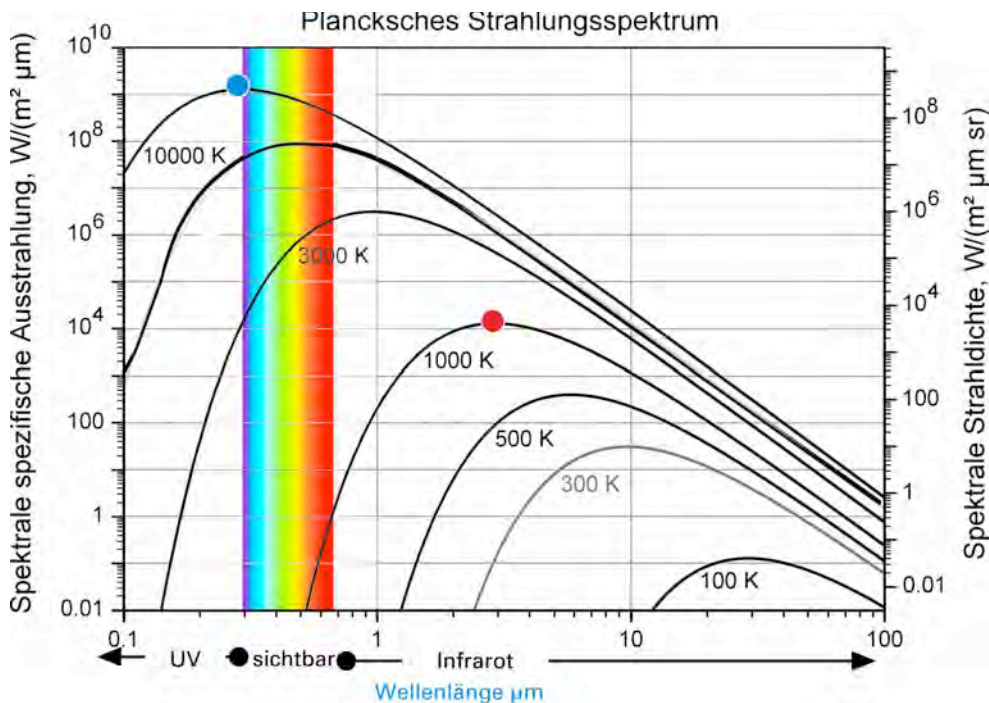


Bild 1 Strahlungsspektren von Temperaturstrahlern (rot = 1000 K, etwa glühendes Eisen, blau = 10000 K, etwa blauer Himmel) in doppellogarithmischer Darstellung (nach http://de.wikipedia.org/wiki/Plancksches_Strahlungsgesetz)

Um das Maximum der Strahlung in das Maximum der Empfindlichkeit des Auges zu legen, müsste der Strahler etwa 6000 K erreichen. Da aber das Metall mit der höchsten Schmelztemperatur, Wolfram, bei dieser Temperatur bereits seinen Siedepunkt hinter sich gelassen hat, wird man verständlicherweise eine Lampe auf dieser Basis nicht realisieren können. Übliche Glühlampen, alle mit Wolfram bestückt, arbeiten bei Temperaturen weit unter der Schmelztemperatur, weil Metalle auch in festem Zustand verdampfen. Man kann die Lichtausbeute zwar durch eine Erhöhung der Temperatur der Lampe steigern, muss aber erstens eine kürzere Lebensdauer in Kauf nehmen, und zweitens eine schnellere Schwärzung des Kolbens.

Das letztere wird weitgehend vermieden bei Halogen(glüh)lampen. Allerdings muss bei diesen Lampen der Kolben erheblich verkleinert werden, was nur durch Verwendung von Quarzglas möglich war. Dieses hat aber die Eigenschaft, UV durchzulassen. Bei der Berechnung der Lichtausbeute müsste der Effekt des erforderlichen Schutzes berücksichtigt werden, wenn Menschen direkt der Strahlung der Lampe ausgesetzt sein sollten. Da dies häufig nicht der Fall ist, wurde der Wert ohne den Schutz berechnet. (Anm.: Neuere Lampen werden aus Hartglas hergestellt.)

Durch eine weitere Maßnahme kann man die Lichtausbeute noch einmal vergrößern: Der Kolben wird mit einem Infrarotreflektor versehen, der Licht durchlässt, aber die IR-Strahlung zurück auf die Wendel reflektiert. Die sogenannte „IRC“-Lampe (**I**nfra **R**ed **C**oating) ist vorerst die letzte

Antwort auf die Herausforderung, möglichst Licht aus möglichst wenig Energie mit einem Temperaturstrahler zu erzeugen. [3]

Die Vorstellung, dass die in IR umgewandelte Energie einen Verlust darstellt, ist nur teilweise richtig. Im Heizungsfall, in Mitteleuropa ein erheblicher Teil des Jahres, müsste die Heizung höher gedreht werden, wenn die Lampen „sparsamer“ werden.

Was mit einem Temperaturstrahler nicht möglich scheint, eine viel größere Lichtausbeute zu erzeugen, lässt sich mit Gasentladungen bewerkstelligen. Während sich die einst dominierende Form, die Kohlebogenlampe, aus der praktischen Welt der Beleuchtung verabschieden musste, dominiert die Leuchtstofflampe seit Langem große Teile der Beleuchtung von Arbeitsstätten sowie im öffentlichen Bereich. Nun soll sukzessive die als „Energiesparlampe“ propagierte Lampe, die ja auch eine Leuchtstofflampe ist, Einzug in den privaten Bereich erhalten.

Leuchtstofflampen funktionieren auf der Basis von Quecksilber, das sich mit einer relativ geringen Energie zum Leuchten anregen lässt. Dafür muss es erst einmal verdampfen und wird somit zu einem Gas. Und Gase haben die unliebsame Eigenschaft, nur bestimmte Spektrallinien zu emittieren, und das häufig im unsichtbaren Bereich. Die sichtbaren Spektren von zwei Gasen (Wasserstoff und Helium) in Vergleich zu dem von Quecksilber zeigt Bild 2. Wenn man Licht mit solchen Spektren zum Beleuchten benutzt, kann man allerlei Effekte erzielen, nur nicht das, was man meistens möchte, alle Farben der Umwelt „natürlich“ wieder geben. (Anm.: Eine natürliche Farbwiedergabe kann es nicht geben. Auch keine „farbgetreue“.) Zudem liegt der Schwerpunkt des Quecksilberspektrums im UV-Bereich (254 nm).

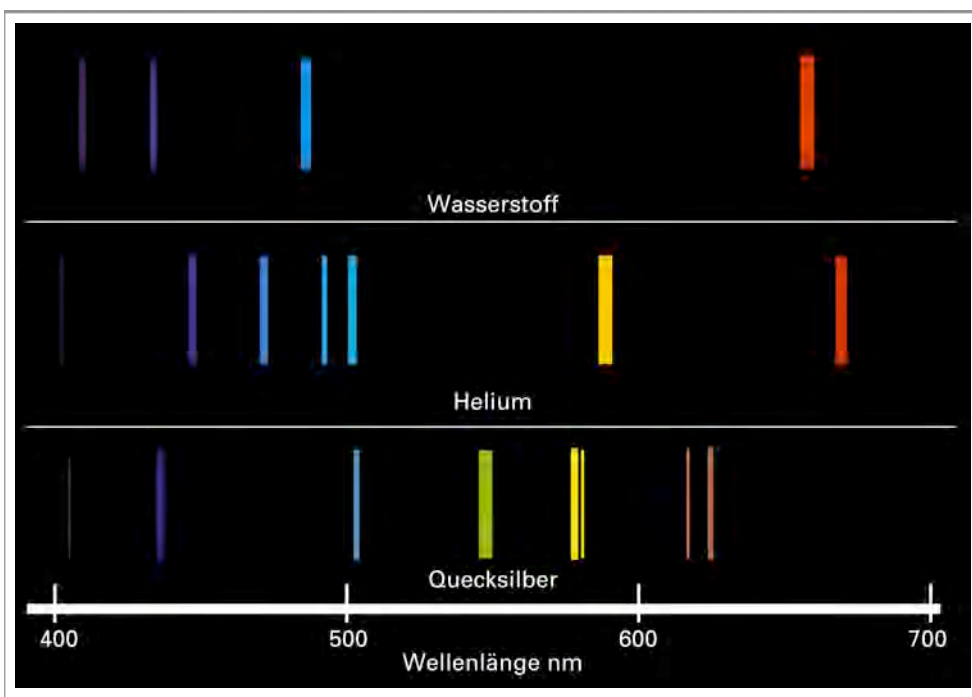


Bild 2 Spektren von zwei Gasen und Quecksilber (Niederdruck) (gezeichnet nach Spektren von Gasentladungen)

Um eine halbwegs vernünftige Spektralverteilung zu erzeugen, muss man die Chemie und die Strahlungsphysik zur Hilfe nehmen. Man kann den Druck in der Lampe erhöhen, was zu breiteren Linien („Banden“) führt. Dies reicht im Allgemeinen nicht aus, so dass man noch so genannte „Phosphore“, also Leuchtstoffe, zu Hilfe nehmen muss. Je nach Leuchtstoff strahlt die Lampe anstelle der Linien des Quecksilbers ein mehr oder weniger „kontinuierliches“ Spektrum aus. Allerdings weisen auch die besten Leuchtstofflampenspektren Spitzen auf. In der Praxis bedeutet dies, dass ein Gegenstand, der genau solch eine Wellenlänge gut reflektiert, besser beleuchtet erscheint. Er hat einen „Farbstich“.

3.3. Verlustquellen

Das von der Lampe erzeugte Licht strahlt selten unmittelbar und ungenutzt in die Umwelt, weil Lampen es selten dorthin senden, wo man es benötigt. Zudem muss die Lampe häufig abgeschirmt werden, um Blendungen zu vermeiden. Lichtlenkung und Lichtabschirmung erfolgt durch technische Einrichtungen von Leuchten. Diese verursachen einen mehr oder weniger großen Verlust, so dass es häufig wenig Sinn macht, allein die Lichtausbeute einer Lampe zum Wertmaßstab einer Energieberechnung zu machen.

Für die Leuchten lässt der Verlust aus dem „Leuchtenwirkungsgrad“ ableiten. Das ist das Verhältnis des Lichtes, das die Leuchte verlässt, zu dem Licht, das in der Leuchte erzeugt wird. Allerdings produziert eine Lampe in einer Leuchte nicht immer so viel Licht wie es unter optimalen Bedingungen möglich ist. D.h., ihre Lichtausbeute ist weitaus geringer [4] (s. unten Umgebungsabhängigkeit).

Eine Gesamtbilanz der Energieumwandlung durch eine Lichtquelle muss berücksichtigen, ob und ggf. was für eine Leuchte für eine Lampe benötigt wird. Während man die in der EU schrittweise verbotene „Glühbirne“ mit geringer Leistung einfach in eine Fassung drehen kann, die nur wenig Licht schluckt, kann man weder eine Halogenlampe noch eine „Energiesparlampe“ ungeschützt in der Umwelt präsentieren. Allein deswegen ist es wenig sinnvoll, die Lichtausbeute dieser Lichtquellen miteinander zu vergleichen. Genau darauf zielt die Forderung von CELMA, des europäischen Verbandes der Lieferanten ab, zu dem nicht nur alle großen Hersteller für Lichttechnik gehören. (s. [2]) Wieso dies aber erst im Jahre 2010 erfolgte, wäre eine Untersuchung wert.

3.4. Umgebungsabhängigkeit

Anders als die Temperaturstrahler erzeugen Leuchtstofflampen Licht durch die Ionisation eines Gases oder Elements. Dieser Prozess ist in der Regel extrem umgebungsabhängig. Der wichtigste Umgebungsparameter ist die Temperatur.

Es ist davon auszugehen, dass die Angaben der Hersteller für die optimale Umgebung gelten, die sie zugrunde legen. Andernfalls müsste sich diese wahrlich geschäftsschädigend verhalten.

Häufig sind diese Bedingungen aber nicht erfüllbar, so z.B. wenn die Lampe in eine geschlossene Leuchte eingebaut ist. Oder, der Benutzer setzt die Lampe

im Außenraum ein, kein seltener Fall in Privathaushalten. So wird eine „Energiesparlampe“ in der Garage im Winter und auch im Sommer (wenn in eine geschlossene Leuchte eingebaut) ihre optimale Lichtausbeute nicht erreichen.

Wenn Leuchtstofflampen nicht optimal betrieben werden, verlieren sie drastisch an Leistungsfähigkeit und an Lebensdauer. Beim Lichtstrom kann dies eine Einbuße von etwa 50 % bedeuten (s. Bild 3). Und das beim Erreichen des stabilen Zustands. Vorher glimmt die Lampe lange vor sich hin. Deswegen sieht man heutzutage immer seltener Leuchtstofflampen in der Straßenbeleuchtung.

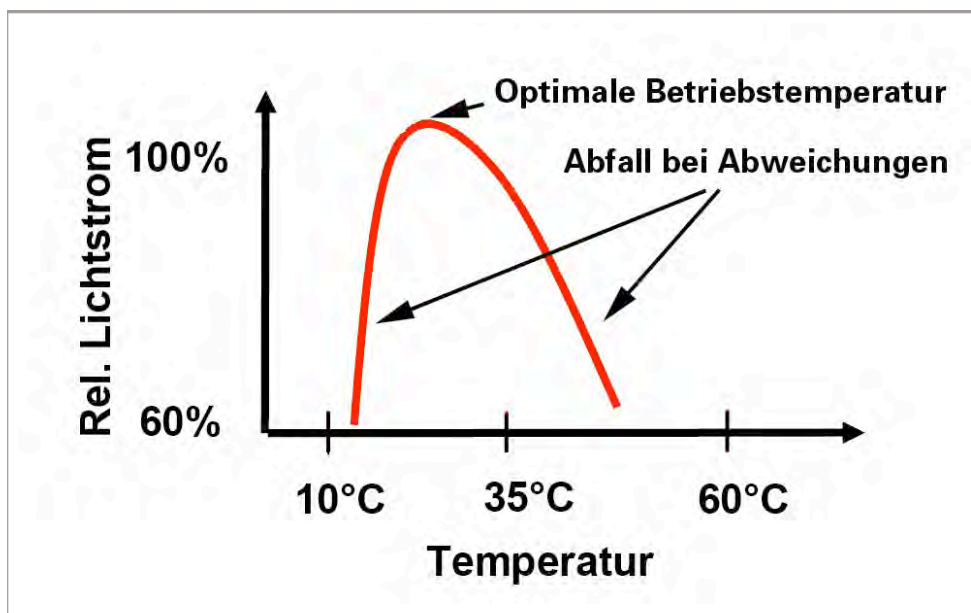


Bild 3 Beispiel für den Abfall des Lichtstroms einer Lampe bei Abweichungen von der optimalen Betriebstemperatur, gezeichnet nach Angaben eines Herstellers

Darüber, wie dieser Umstand in die Feststellung der Einsparung durch den Einsatz der „Energiesparlampe“ eingegangen sein mag, darf spekuliert werden. Man wird keine schlüssige Antwort darauf finden. Die Sache wird schlicht und einfach unbeantwortet bleiben.

Allerdings kann man von einer Kommission, die eines der wichtigsten Kulturgüter in ganz Europa verbietet, erwarten, dass sie sich darüber informiert hat, bevor sie ihr Urteil verfasst. Bis heute konnten wir keine Anzeichen dafür finden. Vielleicht gibt es sie ...

3.5. Bestimmungsunsicherheit für den Lichtstrom

Die Kompaktleuchtstofflampe benötigt eine gewisse Anlaufzeit bis zum Erreichen der vollen Leistung und der bestimmungsgemäßen Eigenschaften wie Lichtfarbe oder Farbwiedergabe. Dieser Anlauf dauerte bei den ersten Lampen dieser Art so lange, dass man den Lichtstrom erst nach 24 Stunden Brenndauer messen durfte. In der Zwischenzeit ist die Anlaufperiode viel kürzer geworden. Die Dauer ist aber noch messbar lang und betrug in einem Test [13] 18 Sekunden bis 5 Minuten für das Erreichen von 95 % des Lichtstroms. Für viele Benutzer bleibt das Licht recht lange trüb und dunkel. Auch die Flimmerneigung ist stark ausgeprägt.

Wann man den Lichtstrom misst, der für die Bestimmung der Lichtausbeute zugrunde gelegt wird, wird nicht öffentlich mitgeteilt. Wer eine ordnungsgemäße Messung durchführt, muss abwarten, bis die Lampe einen stabilen Betriebszustand erreicht hat. (Anm.: Dies hat wenig mit praktischen Anwendungen gemein, weil eine Lampe durchaus innerhalb einer Minute brauchbare Werte erreichen kann, aber sich der stabile Zustand erst nach Stunden einstellt.)

Für viele Anwendungen im Privathaushalt scheint die Anlaufzeit zu lang, z.B. für die Beleuchtung von Toiletten, Kellerräumen etc. Hingegen fällt sie bei anderen Anwendungen (z.B. Beleuchten von Hausnummern) überhaupt nicht ins Gewicht. Dort, wo die Anlaufzeit relevant ist, ist der Spareffekt drastisch geringer. D.h., Angaben wie Lichtstrom, die für den stabilen, stationären Zustand ermittelt werden, besitzen für viele reale Anwendungen eine eingeschränkte bzw. keine Aussagekraft.

3.6. Relevanz der Bestimmungsunsicherheit der Lichtausbeute

Wie im Folgenden dargestellt, wird der Lichtstrom aus der Energieabstrahlung der Lampe über die sogenannte $V(\lambda)$ -Kurve berechnet, die die spektrale Verteilung der visuellen Augenempfindlichkeit (photopisch) darstellen soll. Sämtliche lichttechnische Grundgrößen beruhen auf dieser Kurve.

Nun ist seit längerem bekannt, dass die $V(\lambda)$ -Kurve nur für junge Menschen gilt und auch bei diesen zu falschen Schlussfolgerungen führt, weil sie zum einen nur das Zentrum des Auges (2°) berücksichtigt und zum anderen das blaue Ende des sichtbaren Spektrums nicht richtig berücksichtigt. Trotz vielfacher Bemühungen ist die Funktion bisher unverändert geblieben, d.h. genauso falsch wie 1924.

Während die längst fällige Korrektur der Kurve nicht zu sensationellen Änderungen führen würde, lässt sich berechnen, dass die Funktionsweise der Pupille, die nicht nach den Größen gemäß $V(\lambda)$ -Kurve erfolgt, sondern eher vom Blauanteil des Spektrums gesteuert wird, sowie die Empfindlichkeitsfunktion des alternden Auges (z.B. Gelbtrübung der Linse) zu erheblich anderen Schlussfolgerungen bei der Energieeffizienz führen würde.

So berechnen Experten in den USA (s. [5]) z.B. den Lichtstrom nach der Empfindlichkeit der Stäbchen ($V'(\lambda)$ -Kurve, skotopisch) und ermitteln andere Werte. Nach dieser Vorstellung reagiert die Pupille nach dieser Funktion und lässt weniger Licht ins Auge, wenn der Blauanteil stärker ist. D.h., Lampen mit einem höheren Blauanteil bewirken durch diesen eine Verkleinerung der Pupille, wodurch man einen geringeren Lichtstrom berechnen müsste, der für das Auge wirksam ist. Kurz gesagt, das Spektrum der „Energiesparlampe“ vernichtet einen Teil der Effizienz.

Wie unterschiedlich sich das Spektrum von verschiedenen Lichtquellen auswirken kann, die mit der gleichen Lichtfarbe (ähnlichste Farbtemperatur = 5000 K) gekennzeichnet sind, zeigt Bild 4 (Schierz [6]). In diesem Bild sind zwei Wirkungen von Licht (visuelle Wirkung für das Sehen und nichtvisuelle (Melatoninunterdrückung)) in Abhängigkeit vom Alter dargestellt. Obwohl beide Lichtquellen die gleiche ähnlichste Farbtempe-

ratur aufweisen, sind starke Unterschiede in beiden Wirkungen vorhanden. Das bedeutet, dass eine der wichtigsten summativen Größen, mit der in der Lichttechnik argumentiert wird, schlicht nicht aussagefähig ist. Das gleiche gilt übrigens für die $V(\lambda)$ -Kurve, die allen lichttechnischen Größen zu Grunde liegt: „Zusammenfassend kann formuliert werden, dass die bisherige $V(\lambda)$ -Funktion ... keinen visuellen Effekt repräsentiert.“ [7] Dass man immer die Gesamtheit der Größen in der Lichttechnik auf der Basis dieser Funktion berechnet, sagt einiges über das Beharrungsvermögen dieser Technik aus.

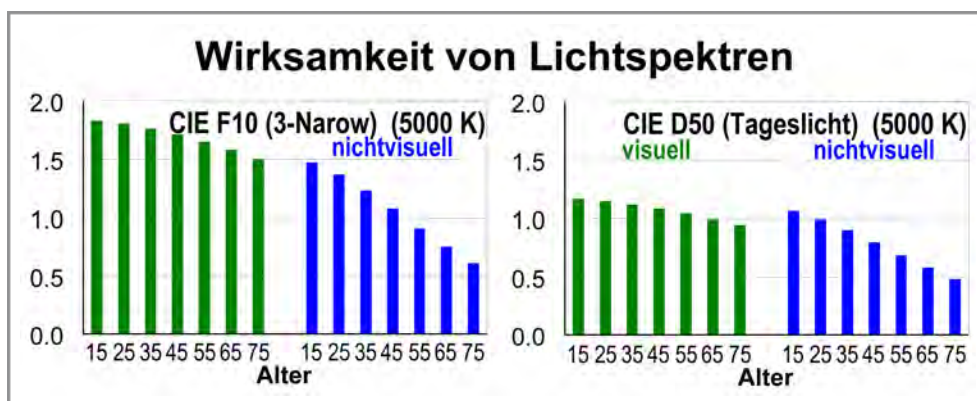


Bild 4 Visuelle und nicht-visuelle Wirksamkeit von Lichtspektren bei gleicher ähnlichster Farbtemperatur in Abhängigkeit vom Alter (gezeichnet nach Schierz [6])

Ein Teil der angeblichen Energieeffizienz der „Energiesparlampe“ beruht also auf einer falschen Denkweise über die Funktion des Auges. Sie existiert nur auf dem Papier. Zudem muss berücksichtigt werden, dass die lichttechnische Betrachtungsweise die IR- und UV-Strahlung außer Betracht lässt, weil sie dem Sehen nicht beitragen. Beide Strahlungsarten besitzen aber eine große Bedeutung für Leben und Gesundheit.

Wesentlich größer ist die Abweichung zwischen dem Lichtstrom der Glühlampe und der Kompaktleuchtstofflampe, wenn man die Gelbfärbung der Linse berücksichtigt. Hierdurch wird der blaue Teil des Spektrums teilweise weggefiltert, während der gelb-rötliche, wo die Glühlampe mehr Licht abstrahlt, weitgehend unbehelligt bleibt.

Würde die Bestimmung des Lichtstroms nicht nur für junge Menschen vorgenommen, wäre die Relation der beiden Lampen anders. Die reale Bevölkerung hat eben eine andere Altersstruktur als Testpersonen von Experimenten, wo i.A. die „üblichen Verdächtigen“ beschäftigt werden, z.B. Studenten und Rekruten. Als Grundlage für staatliche und gar EU-weite Regelungen sind solche Umstände ungeeignet.

Wenn man in der Analyse der Randbedingungen für die Bestimmung der Lichtausbeute weiter in die Tiefe geht, ergeben sich weitere Überraschungen. Beispielsweise wird als mittlere Lebensdauer häufig der güns-

tigste angegeben (Warmstart EVG), und als Lichtstrom unerklärlicherweise ein zu hoher Wert, sodass man bei der Lichtplanung einen Zuschlag ansetzen muss. Daraus darf man schlussfolgern, dass auch die Bestimmung des Lichtstroms unter günstigsten Bedingungen erfolgt, die aber in der Praxis häufig nicht vorkommen. Ohne eine verlässliche Angabe des Lichtstroms kann man aber keine Lichtausbeute berechnen.

Wenn man weiter nachforscht, findet man heraus, dass selbst die Leistungsaufnahme einer Lampe nachgefragt werden muss: Die auch als „Energiesparlampe“ propagierten Lampen mit integriertem Vorschaltgerät erzeugen einen Blindstrom im Netz, der bei der Angabe der Leistungsaufnahme nicht berücksichtigt wird. Blindstrom bedeutet aber „Blindenergie“, die zwischen dem Erzeuger und Verbraucher hin und her pendelt, ohne einen Nutzen zu entfalten. Leitungen, Überträger, Schaltgeräte etc. müssen deshalb für den Transport von Wirk- und Blindenergie dimensioniert werden. Die Energieversorger berechnen daher den Blindstromanteil und empfehlen diesen möglichst zu senken. Nach ihren Angaben kann man sich so 15 % bis 20 % der Kosten sparen. D.h., bei Unternehmen, die auf Blindleistung nicht achten, wird etwa ein Fünftel der Energie auf der Leitung „verbrannt“. Wie viel dies bei den Lampen ist, geben die Hersteller nicht an. Sie nennen nicht einmal das Problem, weil ein Vorschaltgerät mit Blindstromkompensation die Lampe erheblich verteuern würde.

3.7. Fazit

Bei der Umwandlung von Energie in Licht ist nicht nur der Energieaufwand für die Lampe selbst bedeutsam, sondern auch der Verbrauch eventuell benötigter Transformatoren, Vorschaltgeräte etc. Diese werden zum Teil berücksichtigt (z.B. als Systemleistungsaufnahme bei Leuchtstofflampe + Vorschaltgerät), aber häufig nicht. Zuweilen liegt der Grund darin, dass man sie gar nicht berücksichtigen kann, weil der Aufwand von der Betriebsweise abhängt.

Die „Effizienz“ der Lampe, d.h. ihre Lichtausbeute, ist häufig aus folgenden Gründen nicht allein relevant:

- Zu ihrem Betrieb werden Leuchten benötigt, die unter Umständen einen Großteil des Lichts absorbieren. Dieser wird zwar im Leuchtenwirkungsgrad berücksichtigt, aber nicht in dem Sinne, dass man diesen Wert dann bei der Lampe ansetzt, wenn sie eine bestimmte Betriebsweise bedingt. Es wird auch nicht berücksichtigt, dass eine Leuchte die Lichtausbeute der Lampe reduzieren kann.
- Wie man den Lichtstrom für die Berechnung der Lichtausbeute ermittelt, ist nicht bekannt. Es ist davon auszugehen, dass der so berechnete Wert irrelevant ist, weil die Lampe zu viel Zeit braucht, um im üblichen Betrieb auf die volle Leistung zu kommen.
- Die Ermittlung des Lichtstroms beruht auf einer seit langem als falsch anerkannten Kurve. Dies führt dazu, dass die „Energiesparlampe“ im Hinblick auf die visuelle Wirkung günstiger bewertet wird gegenüber der Glühlampe.

- Eine Entladungslampe ist extrem abhängig von Betriebsbedingungen, die Leuchtstofflampe insbesondere von der Umgebungstemperatur. Die Glühlampe hingegen ist weitgehend davon unabhängig. Bei ungeeigneter Umgebung (z.B. Außeneinsatz, geschlossene Leuchte) nimmt der Lichtstrom von Leuchtstofflampen (bei LEDs sogar auch die Lichtfarbe), und damit die Lichtausbeute drastisch ab. Es gibt keine Anzeichen dafür, dass dies im Prozess des Glühlampenverbots berücksichtigt worden ist. Es gibt im Gegenteil Anzeichen dafür, dass auch honoräre Umweltorganisationen solche Betrachtungen im Rahmen von Studien, die sie selbst in Auftrag gegeben haben, versucht haben, in Misskredit zu bringen.

Erfolgt die Energieeffizienzbetrachtung nutzerbezogen, zeigen sich weitere Nachteile der Energiesparlampe.

Die vorberechnete Einsparung an Energie kann nicht nachvollzogen werden, weil zum einen die Angaben zum Lichtstrom nicht verlässlich sind, und zum anderen auch die Leistungsaufnahme der Lampe offenbar nicht korrekt angegeben wird.

Ein wichtiges Problem bestimmter „Energiesparlampen“ wird schlicht verschwiegen, die Blindleistung.

Den Verdacht, dass die hohe Lichtausbeute und somit die „Effizienz“ der Energiesparlampe auf vielerlei Art und Weise geschönten Werten beruht, könnte eine saubere Öko-Bilanz ausräumen. Wie gesagt, sie lässt sich nirgendwo finden.

4. Zur Qualitätsfrage

4.1. Spektrum und Farbwiedergabe

In der Lichttechnik wird, anders als z.B. in der Textilbranche, gerne mit summativen Größen gearbeitet, so auch bezüglich des Spektrums. Eine „summative“ Größe ist eine Größe, die man durch eine irgendwie gear-tete Vergrößerung erhält. So entsteht z.B. die „Beleuchtungsstärke“ aus der Summe der einfallenden Lichtstrahlen, die man mit Bezug zu einer Betrachtungsebene zu eben dieser Größe umrechnet. Für z.B. die Berechnung der Wärmeentwicklung durch die Beleuchtung an einem Punkt ist dies auch vollkommen ausreichend. Für die Helligkeit eines genau in der Betrachtungsebene liegenden vollkommen weißen und vollkommen matten Papiers ist die so ermittelte Größe auch hinreichend genau. Allerdings gibt es solche Bedingungen nur im Labor.

Eine wesentliche Summation, vielleicht die wichtigste, ergibt die Grundgröße der Lichttechnik, den Lichtstrom. Man stelle sich vor, ein Strahler sendet die gleiche Intensität über das ganze Spektrum hinweg. Das Auge bewertet diese aber nicht gleich, sondern gewichtet nach einer bestimmten Funktion, nach der sogenannten $V(\lambda)$ -Kurve. Diese hat ihr Maximum etwa bei Grün und geht gegen beide Enden des sichtbaren Bereichs gegen Null (Bild 5).

Sie ist, trotz Jahrzehnte langen Bemühungen aus wissenschaftlicher Seite, der Prüfstein für Alles geblieben, was in der Lichttechnik als Licht

betrachtet wird.

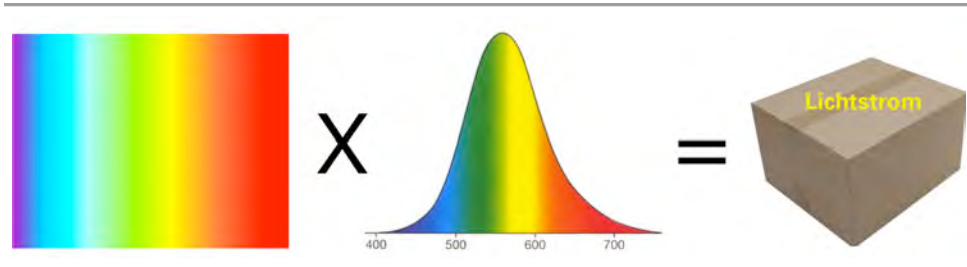


Bild 5 Ermittlung der lichttechnischen Größe „Lichtstrom“

Die so berechnete lichttechnische Größe weist keinen Bezug mehr zum Spektrum auf. Das Licht kann grün, blau oder rot sein oder aus beliebigen Teilen des Spektrums zusammen gesetzt. Der Lichtstrom bildet aber die Basis für die Berechnung der Lichtausbeute, die das Verhältnis vom Lichtstrom zum Energieaufwand darstellt. Somit hat die Größe Lichtausbeute auch keinen Bezug zum Spektrum.

Zwei weitere Größen berücksichtigen zwar das Spektrum, aber nicht ausreichend: Lichtfarbe und Farbwiedergabe. Als „Lichtfarbe“ erfährt man aus dem Katalog die „Farbtemperatur“ der Lampe (in Kelvin) in relativ grobe Bereiche aufgeteilt: warmweiß < 3300 K; 3300 K ≤ neutralweiß ≤ 5300 K; 5300 K < tageslichtweiß. Diese Angaben sind nicht nur grob, sondern auch teilweise irreführend, weil häufig die wahre Natur unterschlagen wird. Die Angabe einer Farbtemperatur ist nur bei Temperaturstrahlern möglich, bei Entladungslampen kann nur die „ähnlichste Farbtemperatur“ angegeben werden. Wie diese berechnet wird, ist ein Geheimnis der Lampenhersteller, das man zwar enträtseln kann, aber fast nie tut, weil mit Arbeit verbunden. So werden Lampen mit recht unterschiedlichen Spektren in die selbe Gruppe eingeordnet. Ein Disput etwa der Art, dass man bezweifelt, dass eine bestimmte Lampe eine andere ähnlichste Farbtemperatur verdienen würde, dürfte in der Literatur selten zu finden sein.

Die Farbwiedergabe einer Lampe kennzeichnet die Güte der Wiedergabe von 8 Referenzfarben bei Beleuchtung mit dieser Lampe (insgesamt definiert DIN 6169 14 Farben [8]). Es wird die Wiedergabe von Pastellfarben geprüft, aber nicht von gesättigten (Bild 6).

Das Spektrum hat eine besondere Bedeutung für Museen, z.B. bei der Beleuchtung von Gemälden alter Meister. Hierzu wird die „verbotene“ Pressglaslampe benutzt, deren Licht dem des Feuers nahe kommt, in dessen Schein die Werke vermutlich entstanden sind. Zudem sind die Strahler kompakter gebaut. Nunmehr haben die Museen keinen Ersatz. Dieses Beispiel zeigt keinen Einzelfall auf, sondern ein Symptom. Über 100 Jahre sind Leuchten, Kandelaber, Lüster u.v.a.m. entstanden, die nur mit Glühlampen vernünftig funktionieren.

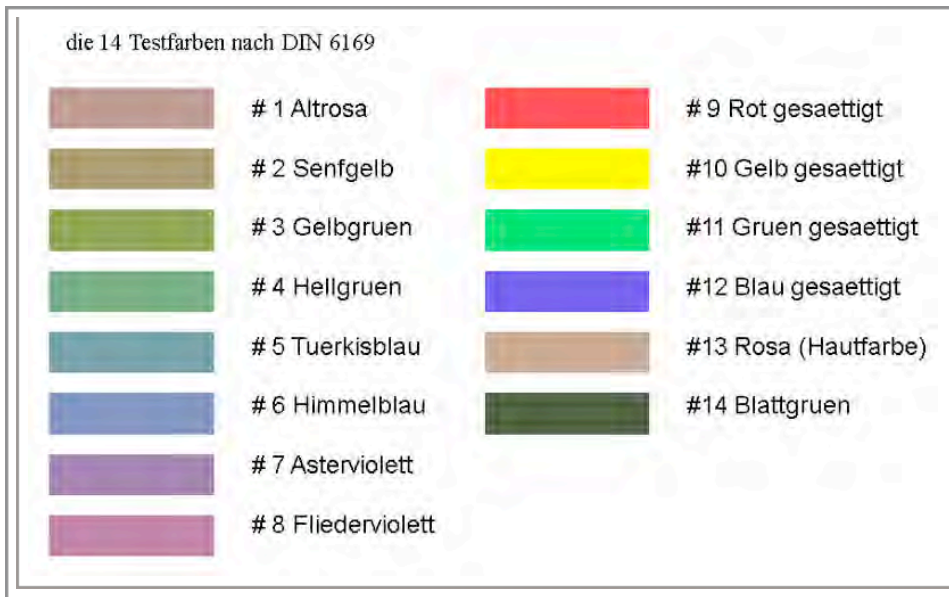


Bild 6 Die Referenzfarben von DIN 6169. Die ersten acht (links) werden bei der Ermittlung des allgemeinen Farbwiedergabeindex berücksichtigt, die weiteren sechs nicht.

(Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Farbwiedergabeindex>)

Der allgemeine Farbwiedergabeindex hält für viele einige Überraschungen bereit. Z.B. weist die Glühlampe den höchsten Index (=100) auf, obwohl man weiß, dass ihr Licht eher gelblich bzw. rötlich ist. Theoretisch ist es auch möglich, eine Lichtquelle zu synthetisieren (z. B. aus 5 verschiedenfarbigen LEDs), deren Spektralverlauf völlig von dem eines Temperaturstrahlers abweicht, die aber trotzdem einen Farbwiedergabeindex von 100 erreicht. Daran erkennt man die Achillesferse dieser Größe: Ob alle Farben wirklich gut wieder gegeben werden, sagt sie nicht aus. Sie ist eher eine Vergleichsgröße für gleichartige Lichtquellen mit einem „Normal“.

Dort, wo man mit Farben arbeitet, z.B. Druckvorstufe, Textildesign, Möbeldesign, ist dieser Index „Muster ohne Wert“. Man arbeitet mit dem echten Spektrum der Lichtquellen, wobei dieser Begriff für die gesamte Lichtquelle gilt und nicht nur für die Lampe.

Was käme heraus, wenn man die sogenannten Energiesparlampen nicht nach ihrem Farbwiedergabeindex, sondern nach ihrem Spektrum bewerten würde? Ein kurzer Vergleich mit einer Lichtquelle, die alle Menschen kennen, zeigt, was zu erwarten wäre (Bild 7).

Wie ist ein Spektrum wie das von der Energiesparlampe zu bewerten? Dazu eine Aussage von der Marketingorganisation der lichttechnischen Industrie: *„Die Farbwiedergabeeigenschaft einer Lampe gibt an, wie natürlich die Farben unserer Umgebung unter ihrem Licht wirken. Erscheinen Hautfarben zum Beispiel farblos, liegt dies nicht etwa an der kühlen Lichtfarbe einer Lampe, sondern an ihrer schlechten Farbwiedergabe.“* (aus [9]) Da das oben dargestellte Spektrum kaum in der Lage sein wird, eine natürliche Farbwiedergabe zu erreichen, ist eine Lichtquelle

mit dem Farbwiedergabeindex R_a 83 offensichtlich weit davon entfernt, ein vernünftiges Spektrum zu besitzen. Ist sie deswegen abzulehnen?

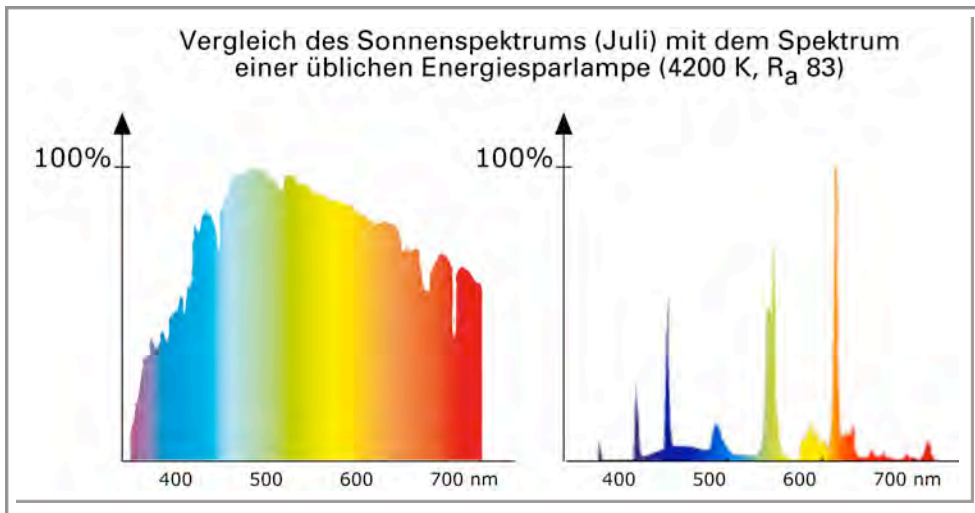


Bild 7 Verteilung der Strahlung im Sonnenspektrum an einem Sommertag mit der einer üblichen Energiesparlampe (neutralweiß, R_a 83)

Nein, sowohl für Wohnräume wie für Büroräume wird ein R_a von 80 als hinreichend erachtet. Die von der lichttechnischen Industrie maßgeblich bestimmte Beleuchtungsnorm DIN EN 12464-1:2003 empfiehlt für fast alle Arbeitsplätze diesen Wert als Mindestwert. Und zur Lichtfarbe sagt sie lediglich Folgendes aus: „Die Auswahl der Lichtfarbe ist eine Frage der Psychologie, der Ästhetik und dessen, was als natürlich angesehen wird. Die Wahl hängt von dem Beleuchtungsstärkeniveau, den Farben des Raums und der Möbel, vom Klima der Umgebung und dem Anwendungsfall ab. In warmen Klimazonen wird allgemein eine höhere Farbtemperatur bevorzugt, in kaltem Klima eher eine niedrigere.“ [10] Fertig!

Und was lernt der lichttechnische Nachwuchs, wenn er sich einen Kurs von einem Hersteller leistet? Hier ein Beispiel (Bild 8) (aus einer Online-Schulung „Leuchtstofflampen“, [11]). Eine Lampe, deren Farbwiedergabeindex kaum von dem obigen Beispiel abweicht, bekommt ein „sehr gut“, eine andere mit einem noch schlechteren Spektrum ist immer noch „gut“.

Wenn also die Kompaktleuchtstofflampe mit anderen Lampen verglichen und wegen der hohen Lichtausbeute als „Energiesparlampe“ bezeichnet wird, geschieht dies unter Ignorierung der wichtigsten Aufgabe des künstlichen Lichts in der Umwelt, Objekte mit ihren Farben wiederzugeben. Eine mangelhafte Qualität mit weniger Aufwand erreichen - Ist das etwa etwas Neues? Man denke nur an Perlon als Material für Oberhemden als Ersatz für Baumwolle.

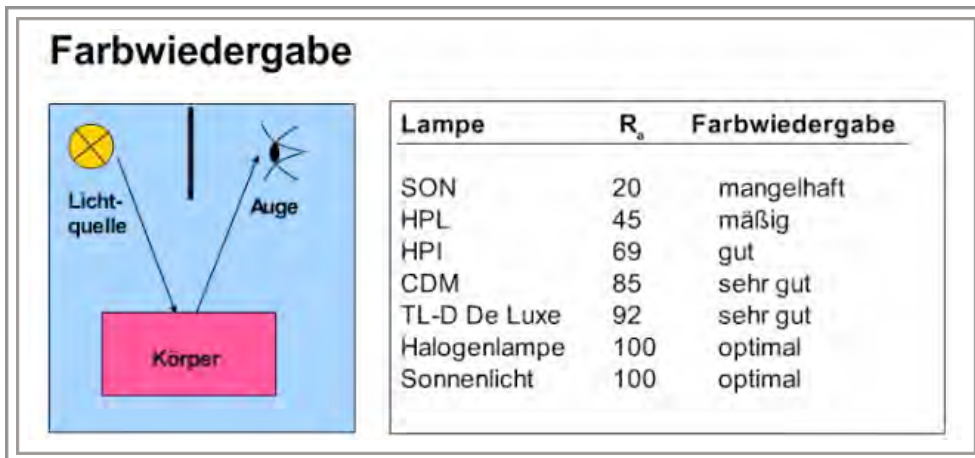


Bild 8 Information über Farbwiedergabe bei einer Herstellerschulung [11]

Es gibt zwar Kompaktleuchtstofflampen mit einem hinreichend guten Spektrum. Ob sie das Prädikat „Energiesparlampe“ verdienen, darf bezweifelt werden. Denn eine Verbesserung des Spektrums geht immer mit einer Verschlechterung der Lichtausbeute einher. An dieser Stelle wird auf die Angabe von Zahlenwerten verzichtet, weil verfügbare Angaben von Herstellern, gelinde gesagt, „nebulös“ sind. Das erkennt man nicht nur aus Bild 8, wo „optimal“ eine Steigerung von „sehr gut“ ist. In Lampenkatalogen finden sich anstelle von nüchternen Daten häufig eher Werbeaussagen oder vom Marketing vorbestimmte Angaben wie „Erfüllt die Anforderungen von EN 12464 (Beleuchtung von Arbeitsstätten)“. Lampen können nicht pauschal die Anforderungen einer Beleuchtungsnorm erfüllen. Sie bestimmen nicht einmal die Beschaffenheit des von einer Leuchte abgestrahlten Lichts vollständig.

Was man in der Qualitätsfrage vom Stand der Technik halten kann, zeigt eine in April 2010 veröffentlichte Testreihe von Stiftung Warentest [13]: Kein Lichtblick! Von 28 getesteten Lampen waren nur 3 „gut“, jede zweite Lampe büßte schon nach kurzer Zeit Helligkeit ein. „Viele „warmweiße“ Leuchtstofflampen verfälschen Farben, insbesondere Rottöne. Ein roter Teppich erscheint zum Beispiel etwas bräunlich. Wer eine möglichst natürliche Farbwiedergabe braucht, sollte zu „neutralweißen“ oder „tageslichtweißen“ Lampen mit Farbkennzahl 940 oder 965 greifen. Bei ihnen gibt es das Problem nicht.“ Ergo: Man kann die von der Glühlampe gelieferte Qualität mit der sog. „Energiesparlampe“ nicht bekommen. Es sei denn, man hält eine Wohnzimmerleuchte oder einen Lüster mit „tageslichtweiß“ für gemütlich.

Zusammenfassend kann Folgendes ausgesagt werden:

- „Energiesparlampen“ liefern in der Regel eine unzureichende Lichtqualität, was das Spektrum angeht.
- Auch im Jahre 2010 weisen „warmweiße“ Kompaktleuchtstofflampen eine ungenügende Farbwiedergabe auf. Dies betrifft nicht etwa „Billig-Lampen“, sondern den gesamten Markt.
- Das Spektrum, die mit wichtigste Eigenschaft für die Güte einer Beleuchtung fürs Sehen und für die gesundheitlichen Wirkungen von

Licht, spielt überhaupt eine untergeordnete Rolle in der Lichttechnik, und damit in der Energieeffizienz.

- Da die Lichtausbeute einer Lampe i.d.R. von der Spektralverteilung des Lichts abhängt, ist eine pauschale Behauptung einer bestimmten Lichtausbeute schlicht unseriös.

4.2. Glanz und Brillanz

Zur Qualität einer Lichtquelle gehören untrennbar solche Eigenschaften, die die Beleuchtungswirkung kennzeichnen. In der üblichen Betrachtung der Beleuchtungsstärke (Wirkung) und des Lichtstroms (Leistung) erscheinen Aspekte wie Glanz, Brillanz oder Reflexblendung überhaupt nicht. Wer gute Beleuchtung plant und nicht eine Elektroplanung für die Erzeugung von Lichtsoße, gleichmäßig über den Raum verteilt, legt in erster Linie Wert auf diese Aspekte, während die Beleuchtungsstärke und deren Gleichmäßigkeit eher zweitrangig oder vielleicht sogar dritt-rangig ist.

Glanz und Reflexblendung stellen zwei Begriffe dar, die den gleichen physikalischen Sachverhalt bezeichnen - die Überlagerung des Sehobjekts durch ein Abbild des leuchtenden Objekts. In vielen Fällen ist dies nicht nur erwünscht, sondern unbedingt erforderlich, um einen Gegenstand „Augen schmeichelnd“ darzustellen (Bild 9). In den heutigen virtuellen Darstellungen kommt Glanz eine extrem hohe Bedeutung zu.



Bild 9 Ein Alltagsgegenstand in glänzender und weitgehend matter Darstellung

Hingegen wirkt sich exakt der gleiche physikalische Vorgang störend aus, wenn das gespiegelte Bild des Objekts eine Nutzinformation verdeckt (Bild 10). In diesem Fall wird nicht nur ein Teil der Information ausgeblendet, sondern auch das Auge gezwungen, sich auf zwei Entfernungen einzustellen, weil sich das gespiegelte Objekt für das Auge in einer anderen Entfernung befindet als das Sehobjekt selbst.

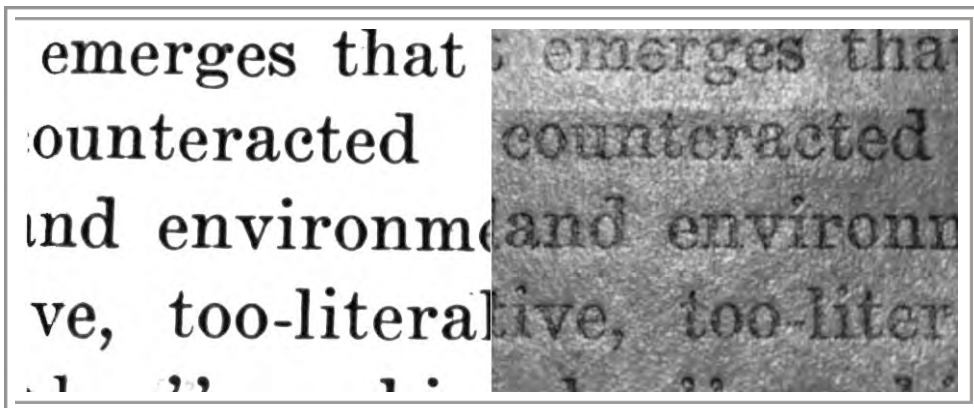


Bild 10 Beispielhafte Darstellung von bedrucktem Papier ohne und mit Glanz

Brillanz entsteht durch eine besonders raffinierte Art des Glanzes. Um zu verstehen, was dies bedeutet, muss man sich nur einen geschliffenen Diamanten auf schwarzem Samt vorstellen.

Ob man gewünschte Effekte wie Glanz und Brillanz hervorrufen kann oder unerwünschte Effekte wie Reflexblendung vermeiden, hängt im wesentlichen von der Größe des leuchtenden Objekts und von dessen Leuchtdichte ab. Kleine Lampen mit hoher Leuchtdichte (z.B. Halogenlampen) setzen Highlights, die das Erscheinungsbild lebendig gestalten, während große Lampenkörper bestenfalls tristen Glanz erzeugen (Bild 11).



Bild 11 Schaufensterdekoration mit Energiesparlampen in einem türkischen Geschäft in Istanbul (April 2009)

Bild 11 macht besonders deutlich, wie man im Bestreben um Energiesparen den Sinn der Beleuchtung ins Negative umkehren kann. Hier sehen die Schaufensterpuppen tot aus, und die Farben der Kleidung, die den Kunden interessieren, triste. Man kann nicht einmal dem vertrauen, was man sieht, weil Farben, die im Laden passend aussehen, unter anderer Beleuchtung überhaupt nicht zusammen passen (Metamerie). Dies war Hausfrauen, die Strickwolle kaufen und Schneidern, die Stoff, Faden und Knöpfe passend aussuchen wollten, schon vor mehr als 50 Jahren bekannt. Trotzdem werden auch heute noch Artikel darüber geschrieben, dass dies alles nicht stimmt. Wenn zwei Lampen nach ihren in der Lichttechnik gebräuchlichen Merkmalen gleich sind, seien sie eben gleich.

Wie man beim Energiesparen aber dennoch gut beleuchten kann, zeigt Bild 12 rechts. Hier haben Hochdrucklampen und Leuchtstofflampen, beide nur aus der Kameraperspektive sichtbar, die einst dominierenden Glühlampen abgelöst, die die Goldhändler einst für unerlässlich hielten, um Gold richtig glänzen zu lassen. Für Glanz sorgen immer noch Glühlampen, allerdings Halogenlampen, die man nicht sieht. Zudem wird die Wärme, die früher die Kunden wie die Mitarbeiter arg belästigt haben, direkt abgeführt.

Im gleichen Bild links kann man sehen, wie man sich durch eine falsche Beleuchtung das Geschäft ruinieren kann. Während sich das Geschäft rechts trotz der überfüllten Vitrine als Goldschmiede präsentiert, wird man auf der linken Seite des Bildes nur einen Ramschladen (oder zwei) wahrnehmen.



Bild 12 Erscheinungsbild von zwei Geschäften im Großen Basar, Istanbul

Lampen, die den gleichen Lichtstrom aus zwei unterschiedlich großen leuchtenden Flächen erzeugen, weisen eine unterschiedliche Leuchtdichte auf, wodurch sie auf den von ihnen beleuchteten Objekten einen unterschiedlichen „Eindruck“ bewirken. Kleine, sehr helle Lampen erzeugen Glanz, auch wenn dieser unerwünscht ist, große, dunklere Lampen können keinen Glanz erzeugen, auch wenn man dies unbedingt will. Daher haben beide ihre Berechtigung, allerdings in unterschiedlichen Einsatzgebieten. Daher unterscheiden sich Glühlampen, Halogenlampen und Kompaktleuchtstofflampen sehr wohl in der „Qualität“, auch wenn sie ansonsten gleich sein sollten.



Bild 13 Erscheinungsbild eines Restaurants in einem Luxushotel in Peking nach Ersatz von Glühlampen in Downlights durch Energiesparlampen (Sept. 2009)

Die Bilder 11 bis 13 demonstrieren, was die Kritik an dem Glühlampenverbot befürchtet: (Scheinbares) Energiesparen auf Kosten der Qualität. Der Hintergrund der Befürchtung ist real, weil sich etliche Beispiele aus der Vergangenheit anführen lassen. Das berühmteste davon ist sicherlich die Tomate aus Holland, wo Gewicht und Durchmesser den Bewertungsmaßstab hergaben, anstelle von etwa Geschmack und Geruch. Bei Licht muss man nur die Begriffe entsprechend austauschen. Die hier abgebildeten Beispiele stellen keineswegs Einzelfälle dar. Ähnliches kann man seit der Einführung der Kompaktleuchtstofflampe mit der Fassung von Glühlampen in jeder Stadt finden, und das weltweit!

4.3. Flimmern

Die Behauptung, dass Energiesparlampen „flimmern“, wird von den Befürwortern wie der frühere Bundesumweltminister Gabriel und sein Vorgänger Trittin vehement bestritten mit der Behauptung, das träfe nur für ganz frühe Modelle zu. Dazu sagt die „Deutsche Energie-Agentur“: „Im Prinzip sind Energiesparlampen zusammengefaltete, kompakte Leuchtstoffröhren. Sie sind oft mit einem integrierten elektronischen Vorschaltgerät ausgestattet: Flimmern ist damit kein Thema.“ [12] Oft?

Unter Flimmern versteht man eine Wahrnehmung eines leuchtenden Objekts mit wechselnder Helligkeit, die bei höheren Frequenzen stattfindet als bei solchen, die eine Wahrnehmung als „pulsierend“ bzw. „flackernd“ bewirken. Nach einstiger Weisheit sollte der Mensch künstliches Licht nicht als flimmernd wahrnehmen können, weil der Wechselstrom mit

100 Hz pulsiert, einer Frequenz weit oberhalb der sogenannten Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF) des Sehorgans. [14]

Auch die Computerbildschirme, seinerzeit mit 50 Hz betrieben, könnten nach Expertenansicht nicht flimmern, weil der FVF 47 Hz betrüge. [15]

Wer am Bildschirm saß und unter Leuchtstofflampenlicht arbeitete, war zwei Lichtquellen ausgesetzt, die beide pulsierten. Bereits frühzeitig wurde festgestellt, dass die Bildschirmarbeit vermehrte Kopfschmerzen verursacht [16]. Wie üblich wurden solche Ergebnisse von der betroffenen Industrie entweder komplett abgelehnt, oder anderen Faktoren zugeordnet, die andere Produkte betreffen. Im Falle der Bildschirmarbeit relativierte sogar eine Kommission der Nationalen Akademie der Wissenschaften der USA die Probleme [17].

Auch eindeutige Nachweise dafür, dass viel höhere Frequenzen von Menschen wahrgenommen werden [18] bzw. Kopfschmerzen verursachen [19], wurden so lange ignoriert, bis bessere Produkte zur Verfügung standen. Bei dem Bildschirmgerät waren es bessere Grafikkarten, bei den Leuchtstofflampen elektronische Vorschaltgeräte. Dann war das Problem, das man ja nun mit zusätzlichem Aufwand beseitigen konnte, plötzlich anerkannt und ein Marketing-Argument für das neue verbesserte Produkt.

Tatsächlich flimmern ausgereifte Lampentypen, an hochwertigen elektronischen Vorschaltgeräten betrieben, weder sichtbar, noch kann man nachweisen, dass sie Kopfschmerzen verursachen, die auf den Helligkeitswechsel der Lampe zurückgeführt werden könnten. Nun sind Energiesparlampen nicht immer ausgereifte Produkte, und die Vorschaltgeräte gerade der als „Energiesparlampe“ in den Vordergrund geschobenen Lampen mit integriertem Vorschaltgerät weisen häufig eine Qualität auf, die ein ehrlicher Elektroingenieur in gutem Deutsch schlecht beschreiben könnte.

Dass „Energiesparlampen“ flimmern, halten viele für ein Vorurteil. Man kann im Internet viele selbst ernannte Energieberater finden, die das eindeutig verneinen. Hersteller in Deutschland sind da vorsichtiger: *„Ja, das kann bei billigen Lampen passieren. Qualitätslampen von ... flimmern nicht!“* (gefunden am 3. August 2009, Webadresse wird aus verständlichen Gründen nicht angegeben). Zumindest eine Lampe genau dieses Herstellers soll aber „brummen“, wie man im Internet häufig lesen kann. Ein Hinweis auf eine ungeeignete Ausführung des Vorschaltgerätes. Wenn ein Hersteller Qualitätsmerkmale nicht einhalten kann, die seit Jahrzehnten selbstverständlich sind, und behauptet, das sei eine Preisfrage, muss er sich unangenehme Fragen gefallen lassen. Den Menschen ist es egal, ob ihre Kopfschmerzen von Flimmern oder von Brummen herrühren.

Es wäre falsch, alle „Energiesparlampen“ als flimmernd hinzustellen, es ist aber ebenso falsch, das „Flimmern“ zu leugnen, so in [20]. Zudem sind nicht alle Störungen „Flimmern“ zuzuordnen. Manchen Lampen kann man deutlich ansehen, wie ihr Licht durch die Instabilität der Entladung pulsiert oder flackert. Welcher Anteil der heute betriebenen bzw.

im Markt angebotenen Lampen nicht flimmern, ist schwer zu ermitteln, weil die Missetäter, „Billiglampen“ und „Chinaimporte“, mit vielerlei Marktanteilen durchs Internet geistern.

5. Zur Lebensdauerproblematik

5.1. Bedeutung

Die Lebensdauer eines technischen Produktes gehört sicherlich zu seinen prominenten Merkmalen. Bei Lampen wurde sie stets als sehr wichtig erachtet und wurde einst in DIN 5035-1 zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit einer Beleuchtung zugrunde gelegt. [21] Wieso muss man dann von einer Problematik sprechen?

Seitdem es die Leuchtstofflampe gibt, gibt es auch die Problematik der Bestimmung ihrer Lebensdauer. Dies kommt nicht von ungefähr. Denn zum ersten brennt eine Leuchtstofflampe nicht einfach durch wie eine Glühlampe, so dass man ihre Lebensdauer anhand der nicht mehr funktionsfähigen Lampen messen könnte. Zum anderen ist auch die Lebensdauer der Glühlampe keine verlässliche Zahl. Sie ist vielmehr ein Ergebnis eines Kartellbeschlusses von 1924 [22]. Wie verlässlich sie ist, kann man daran sehen, dass große Organisationen wie Bahn und Post seit jeher diese selbst gemessen haben, anstelle sich auf die Zahlen der Hersteller zu verlassen. Diese Unternehmen, einstige (legale) Monopolisten, wissen nämlich, wie solche handeln. Und Kartelle sind Vereinigungen, die sich trickreich und bis auf Ausnahmen illegal zum Monopolisten erheben.

5.2. 1.000 Stunden - Optimum für wen?

Der Kartellbeschluss von 1924 („Phöbus-Kartell“) betrifft die Lebensdauer der Glühlampe. Sie musste 1.000 Stunden betragen. Die Kartellmitglieder durften keine Lampen mit einer höheren Lebensdauer anbieten. Die Studenten der Elektrotechnik lernen aber etwas anderes. Etwa: Man hätte ein Optimum aus der möglichen Brenndauer, den Lampenherstellungskosten, den Energiekosten etc. gebildet. Und daraus wären 1.000 h als Ergebnis entstanden. Verwunderlich ist nur, wie ein „Optimum“ Weltkriege, Rezessionen, Energiekrisen und eine wahre Revolution in der Technik unverändert hat überleben können. Eine kleine Besonderheit am Rande. Im Jahre 2001 wurde in Kalifornien der hundertste Geburtstag einer dauerhaft betriebenen Glühlampe gefeiert, in ein paar Monaten soll der 109. gefeiert werden!

Wie dem auch sei, 1.000 h als Lebensdauer wurde angegeben als die Zeitspanne, nach der 50 % der Lampen durchgebrannt sind. Eine solche Bestimmung macht mit Leuchtstofflampen aus verschiedenen Gründen wenig Sinn. Daher wurde ihre Lebensdauer an den Lichtstrom gekoppelt, den die Lampe noch abgibt. Denn die Lampen können zuweilen auch 50.000 h brennen, wenn man sie nie ein- und ausschaltet. Ihre Lichtausbeute wird aber zunehmend schlechter. Wie viel und wie schnell, das bleibt häufig ein Geheimnis.

5.3. Technische Daten - oder schleierhafte Methoden

Nach diesem Prinzip, Geheimnis, verfuhr auch das langjährige „Handbuch für Beleuchtung“, das Standardwerk für deutschsprachige Länder. Dort steht unter Lebensdauer zu lesen: *„An dieser Stelle und im allgemeinen muß auf nähere Informationen über die Lampenlebensdauer verzichtet werden, weil die Betriebsbedingungen zu große Unterschiede aufweisen und starken Schwankungen unterliegen. Fehlschlüsse aus konkreten Angaben wären in der Praxis nicht zu vermeiden.“* [14]

Damit die eventuell von anderen Autoren ins Buch eingeschleusten Angaben nicht ernst genommen werden, wird gleich nachgeschoben: *„Vereinzelte Angaben in den vorstehenden Kapiteln sind mit diesem Vorbehalt zu versehen.“* (Anm.: In dieser Ausgabe des Buches hat es nur noch eine Stelle in den Index geschafft, an der recht unbrauchbare und zudem unpräzise Angaben gemacht werden.) [14]

In der neueren Version des Handbuchs, das sich zu einem Sammelband mit vielen Autoren und häufigen Ergänzungslieferungen entwickelt hat, taucht die Lebensdauer im Index nicht mehr auf. Zuweilen gibt es Kurven mit dem Verlauf von Lebensdauern, aber (vermutlich) keine Angabe darüber, wie man die Lebensdauer von Lampen bestimmt. Auch das viel umfangreichere Werk von IESNA „The IESNA Lighting Handbook“ [23] erwähnt zwar die Lampenlebensdauer über 100 Mal, und behandelt sie recht ausführlich, man muss aber viel Zeit darin investieren, um sich ein Bild davon machen zu können. Dort wird angegeben, dass die mittlere Lebensdauer (average rated lamp life) so definiert ist, dass noch 50 % einer großen Gruppe an Lampen noch funktionieren. Wenn man danach geht, kann man bei Leuchtstofflampen viele unterschiedliche Zahlen ernten, weil diese je nach Betriebsumgebung sehr unterschiedlich lang leben können.

5.4. Daten von der Industrie

Man kann in einem Schulungsangebot eines Herstellers die notwendige Information holen, um die Lebensdauerangaben über Leuchtstofflampen zu verstehen [24]. Danach gibt es drei unterschiedliche Angaben:

Nutzlebensdauer: Zeitintervall, nach dem der Lichtstrom einer Lichtanlage nur noch 80 % seines Anfangswertes beträgt, verursacht durch Lampenausfälle und Lichtstromrückgang der noch brennenden Leuchtmittel.

Mittlere Lebensdauer: Zeitintervall, nach dem der Ausfall einer einzelnen brennenden Lampe erwartet werden kann, bzw. nachdem 50 % der Lampen einer Lichtanlage ausgefallen sind.

5 % Ausfallrate: Zeitintervall, nach dem 5 % der Lampen einer Lichtanlage ausgefallen sind.

Die „Nutzlebensdauer“ gab es auch früher, allerdings gab man sie für 70 % des Anfangswertes an. Es war auch nicht die Rede von *Lichtanlage*, sondern von einer Auswahl Lampen. Die zweite Beschreibung wurde früher nur für Glühlampen benutzt. Die dritte Beschreibung ist relativ

neu und würde bei vielen Fachleuten ein Fragezeichen aufwerfen. Wieso 5 %?

Wer eine Antwort auf diese Frage sucht, wird zwar bei einem anderen Hersteller fündig, muss aber weitere Quellen ausfindig machen, um die Begriffe zu übersetzen: Dort gibt es die *Mindest-*, die *wirtschaftliche* die und *mittlere* Lebensdauer. „Die *Mindestlebensdauer* ist die *Lebensdauer der einzelnen Lampe, die unter genormten Bedingungen erreicht wird. Unter wirtschaftlicher Lebensdauer versteht man die Zahl der Brennstunden zwischen den Gruppenauswechslungen von Lampen einer Anlage, unter der Bedingung, daß die Betriebskosten am geringsten sind und der Anlagelichtstrom einen bestimmten Wert nicht unterschreitet. Die mittlere Lebensdauer ist der Mittelwert der Lebensdauern einzelner Lampen, die unter genormten Bedingungen betrieben werden (50% Ausfall = "Average rated life").*“ [25]

Wem das Ergebnis noch nicht klar ist, kann sich beim Dachverband der elektrotechnischen Industrie informieren [26]. Dort gibt es neben sehr aufschlussreichen Ausführungen wie „Lebensdauer, allgemeiner Begriff - Zeitspanne, während der eine Lampe betrieben wird, bevor sie unbrauchbar ist“ auch eine, die nur noch der damit beschäftigte Fachmann verstehen könnte: „Nennlebensdauer (nominal life) - Die vom Hersteller veröffentlichte Lebensdauer unter Angabe des zu Grunde liegenden Schaltrhythmus und der Ausfallrate; Kurzform z. B.: Lebensdauer 12B10 (12-Stunden-Schaltrhythmus / 10% Ausfälle)“.

Die Nennlebensdauer eine Lampe ist also die, die der Hersteller nennt. Nach welchen Gesichtspunkten er den Schaltrhythmus festlegt, darf man ihm zwar nicht vorschreiben, aber fragen sollte man sich doch, was ein 12-Stunden-Rhythmus bedeutet. Da es vermutlich solche Rhythmen in Privathaushalten nicht gibt, und auch nicht in üblichen Bürohäusern, kann man davon ausgehen, dass die echte Lebensdauer kürzer ist, da die Broschüre weiterhin ausführt: „Die nachfolgend angegebenen Werte gelten für den bestimmungsgemäßen Betrieb der Lampen. Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb können zu Änderungen im Lebensdauerverhalten führen.“ Eigentlich müsste hier stehen, dass die Lebensdauer in Wirklichkeit kürzer ist, oder sehr viel kürzer.

An dieser Stelle soll gar nicht auf die einzelnen Definitionen bzw. Umschreibungen abgehoben werden, sondern auf die Unterschiede der Vorstellungen zweier großer Lampenhersteller und deren Dachverbandes. Auf welche hat sich die Entscheidung der EU-Kommission gestützt? Welche Lebensdauer meinte der deutsche Umweltminister Sigmar Gabriel, als er die hohe Lebensdauer der „Energiesparlampe“ pries? (So geschehen z.B. am 3. August 2009 in den Heute-Nachrichten um 19.00 Uhr).

Zusammenfassend kann man feststellen, dass das zweitwichtigste Argument für die „Energiesparlampe“ auf einem für technische Verhältnisse sehr nebulösen Wert beruht, dessen Messung genauso wie seine Definition offenbar auch qualifizierten Fachbuchautoren große Schwierigkeiten bereitet. Was von den Angaben der Hersteller zu halten ist, hat Stiftung Warentest drastisch vor Augen geführt (s. unten).

Es soll nicht verkannt werden, dass die Bestimmung der Lebensdauer einer Lampe eine äußerst diffizile Fragestellung ist. Wie bei allen vergleichbaren Problemen gibt es unterschiedliche Methoden, die unterschiedliche Ergebnisse bringen. Unseriös indes ist, wenn man mit Zahlen argumentiert, deren Herkunft man nicht kennt. Die eine Zahl, Lebensdauer der Glühlampe, ist Produkt eines mittlerweile verbotenen Kartells, während die zweite, Lebensdauer der Energiesparlampe, wie hier dargestellt, als nicht verlässlich angenommen werden muss, wenn ihre Messung nicht präzise angegeben wird. Auch dann muss ein gewisser „Verschönerungseffekt“ angenommen werden.

5.5. Testergebnisse Stiftung Warentest 2010

Die bereits zitierte Testreihe von Stiftung Warentest [13], zeitigt vernichtende Daten und Aussagen zum Thema Lebensdauer: *„Enttäuschend – anders kann man das Ergebnis nicht nennen. ... Selbst große Marken wie Megaman, Osram und Philips, bisher Garanten für Qualität, haben schwache Produkte im Test. Hauptprobleme: schnell nachlassende Leuchtkraft und geringe Schaltfestigkeit.“* Die Einzelaussagen hierzu weisen nach, dass die Kompaktleuchtstofflampe auch 20 Jahre nach ihrer Einführung kein Produkt ist, auf das man als Techniker stolz verweisen kann: *„Bei fast jeder zweiten geprüften Lampe war die 80-Prozent-Marke schon nach weniger als 3 000 Stunden erreicht. Manche kamen nicht einmal auf 1 000 Stunden, die Lebensdauer herkömmlicher Glühbirnen. Ein Großteil der Lampen fiel überdies bereits nach weniger als 6 000 Brennstunden ganz aus.“*

Der oben genannte „Verschönerungseffekt“ ist offensichtlich kein Schönheitsfehler sondern ein erheblicher Mangel. Die Politiker sind in ihren Reden von den 10.000 Stunden ausgegangen, die auf der Verpackung steht. Von der Nennlebensdauer also, die der Hersteller nennt. Stiftung Warentest nennt andere Zahlen, völlig andere.

6. Zum Herstellungsaufwand

Zur Energiebilanz eines Produkts gehört nicht nur die Betrachtung des Energieaufwands beim Betrieb, sondern der Gesamtaufwand von der Ideenfindung bis zur endgültigen Entsorgung und Demontage (Lebenswegbilanz). Ganze Normenreihen befassen sich damit.

Dass der Aufwand für die Herstellung einer Energiesparlampe höher liegt als bei der Glühlampe, ist allgemein anerkannt. Allerdings kursieren in Fachkreisen Zahlen zwischen 4 und 40 als Faktor für den Mehraufwand. Bei einer solchen Spanne ist jeder Kommentar potenziell gefährlich, wenn man nicht die Entstehungsgeschichte der Zahl kennt. Es ist auch gefährlich, etwa die Mitte der behaupteten Zahlen als wahrscheinlich richtig anzunehmen.

Ob der höhere Aufwand eine Bedeutung in der Lebenswegbilanz hat, hängt mit der Betriebsweise zusammen. Bei Lampen, die man über längere Betriebsperioden hinweg betreibt, dürfte der Mehraufwand für die Herstellung relativ unwichtig sein, weil der Minderverbrauch beim Betrieb stark ins Gewicht fällt.

Da es nicht gelingen wollte, eine irgendwie gestaltete Ökobilanz der „Energiesparlampe“ zu finden, scheint es sinnvoller, an dieser Stelle keine Aussage zu machen. Bislang konnte nur eine detaillierte Ökobilanz zu Lampen (Ökologische Bewertung von Lichtsystemen im Hinblick auf Anforderungen der EuP-Richtlinie von Malgorzata Kroban) gefunden werden, die allerdings lediglich zwei Leuchtstofflampen vergleicht. Da sie keine Bilanz über Kompaktleuchtstofflampen in dem Literaturverzeichnis aufführt, ist davon auszugehen, dass es diese zum Zeitpunkt der Abgabe der hier zitierten Dissertation (Juli 2007) nicht gegeben hat [27]. Der Doktorandin würde sie bekannt sein, weil sie bei einem Lampenhersteller in der Abteilung „Environmental Affairs & Technical Safety“ gearbeitet hat. Diese hätte die Aufgabe gehabt, Ökobilanzen zu erstellen oder in Auftrag zu geben.

Man muss sich somit fragen, auf welcher Basis die EU-Kommission ihr „Glühlampenverbot“ erlassen hat.

7. Zur Quecksilberproblematik

Das Element Quecksilber bietet, wie bereits eingangs angeführt, ideale Voraussetzungen für die Lichterzeugung wegen der geringen Aktivierungsenergie, die die Atome zum Leuchten bringt. Man machte von ihm früher ausgiebig Gebrauch, so als wenn es ein harmloser Stoff wäre. So enthielten die „Amalgamlampen“ sogar eine überflüssige Menge Quecksilber, um ihr Temperaturerhalten zu verbessern. In jeder Lampe dieser Art lag eine kleine Quecksilberkugel gut sichtbar in dem Kolben.

Seit längerer Zeit muss die Leuchtstofflampe als Sondermüll entsorgt werden, hauptsächlich wegen des Quecksilbergehalts. Die EU hat mehrere Schritte zur Reduzierung des Quecksilberverbrauchs in der Gemeinschaft unternommen. Diese wurden in der „Gemeinschaftsstrategie für Quecksilber“ [[KOM\(2005\) 20](#) - Amtsblatt C 52 vom 2. März 2005] zusammengefasst. Darin heißt es:

„Quecksilber ist ein für Menschen, Ökosysteme und wild lebende Tiere hochgiftiger Stoff. Hohe Dosen können tödlich sein, aber auch relativ geringe Mengen können bereits das Nervensystem schädigen.“

Die Strategie zielt auf die Verringerung der Auswirkungen des Quecksilbers und seiner Risiken für die Umwelt und die menschliche Gesundheit ab.

Sie ist auf folgende sechs Ziele ausgerichtet:

Verringerung der Quecksilberemissionen;

Verringerung von Angebot und Nachfrage;

Bewirtschaftung der derzeit in Form von gelagerten oder verwendeten Erzeugnissen existierenden Quecksilbermengen;

Schutz der Bevölkerung vor Quecksilberexposition;

Verbesserung des Verständnisses der Quecksilberproblematik und möglicher Lösungen;

Förderung einschlägiger internationaler Maßnahmen.

Die Strategie sieht für jedes Ziel eine bestimmte Anzahl spezifischer Maßnahmen vor.“ [28]

Auch die UN arbeitet an einem Quecksilberverbot, weil das Metall als sehr giftig gilt. Die UN-Umweltministerkonferenz, die im Februar 2009 tagte, erarbeitete einen Plan, Quecksilber binnen 24 Monaten aus dem Verkehr zu ziehen. Hierbei hat der Sprecher des UN Umweltprogramms (UNEP) ausgedrückt, dass das Quecksilber eines der schlimmsten Umweltgifte sei und dass die Energiesparlampe ihren Beitrag zu Quecksilberemissionen leiste.

Tatsächlich ist es so, dass die üblichen Leuchtstofflampen, die in der Industrie verwendet werden, zu einem erheblichen Teil dem Recycling zugeführt werden und so ca. 80 % des Quecksilbers wieder verwendet werden kann. Hingegen ist nach Angaben der Industrie der Anteil der abgelieferten Kompaktleuchtstofflampen gering. Etwa 70 % (Jahr 2006) sollen nicht auffindbar gewesen sein. D.h., ihr Quecksilber landet entweder in der Landschaft oder wird von der Müllverbrennungsanlage in die Atmosphäre gepustet. Wie groß ist der Anteil im Jahre 2010? Die neueste Angabe stammt laut [13] von Deutscher Umwelthilfe: *„Laut Deutscher Umwelthilfe landeten 2007 rund 90 Prozent der privat genutzten Lampen im Hausmüll. Oft zerbrechen sie bei dieser Entsorgung, sodass Quecksilber in die Umwelt gelangt.“*

Da Quecksilber auch in Kohlekraftwerken entsteht, rechnete im Februar 2009 der deutsche Umweltminister einem staunenden Publikum vor, dass die „Energiesparlampe“ 22 Mrd. kWh einsparen würde, davon ca. 8 Mrd. kWh in Privathaushalten, und dadurch würden 1 bis 2 kleinere Kohlekraftwerke überflüssig. Somit wäre die „Energiesparlampe“ ein Gewinn für die Umwelt, auch unter Berücksichtigung vom Quecksilbermüll. Vom restlichen Chemiemüll, den man bei der Glühlampe nicht benötigt (Blei, Antimon, Barium, Arsen, Yttrium, Phosphorverbindungen, Zink-Beryllium-Silikate, Cadmiumbromide, Vanadiumverbindungen, Thorium usw.) war keine Rede.

Zudem hat der Minister Gabriel ein ungewolltes Eigentor geschossen, denn die EU ist nicht Deutschland und in vielen Ländern der EU wird überhaupt keine Kohle verfeuert. Mehr als die Hälfte (ca. 62 %) der Kohleverstromung der EU 15-Länder findet in Deutschland und in Großbritannien statt. Das Verbot trifft aber auch Länder wie Schweden, wo viel mehr Wasserkraft eingesetzt wird, oder Frankreich mit seinen zahlreichen Atomkraftwerken. Außerdem wird der von der Glühlampe „verschwendete“ Strom doch nicht allein in Kohlekraftwerken produziert. Zudem sollte man bei dieser Erkenntnislage, Kohlekraftwerke produzierten Quecksilber, eher an bessere Filter oder ggf. ein Verbot von solchen Kraftwerken denken, als an eine Förderung Umwelt verschmutzender Produkte mit der Begründung, dass sie weniger Strom aus der schmutzigen Quelle beziehen.

Der erzwungene Umstieg von der Glühlampe kann unter der Annahme, dass man sich mittelfristig von Kohlekraftwerken verabschieden muss, für eine trübe Umweltbilanz sorgen. So ist folgendes Szenario durchaus plausibel:

- (a) Die neuen Lampen werden mit dem Strom aus Kohlekraftwerken gebaut.
- (b) Es müssen viel mehr Lampen gebaut werden als nötig, weil intakte Lampen ausgemustert werden.
- (c) Kurzfristig produzieren die Kraftwerke mehr Quecksilber, weil die Produktion der Lampen und deren Entsorgung erst einmal mehr Energie verbraucht.
- (d) Mittelfristig fällt der Quecksilbermüll in Deponien und Müllverbrennungsanlagen an.
- (e) Es ist abzusehen, dass in Kürze andere Lichtquellen mit neuen Qualitäten vermarktet werden, die u.a. wesentlich energieeffizienter sein werden als die heute den Markt beherrschenden. Was machen wir dann mit dem vielen Sondermüll?

8. Zur Problematik elektromagnetischer Felder

Jedes bewegte Elektron erzeugt ein Magnetfeld, und jedes Magnetfeld, durch das ein Elektron bewegt wird, wirkt sich darauf aus. Unsere Umwelt war voller solcher Felder, bevor technische Produkte entstanden sind, die selber Felder erzeugen. Heute ist praktisch die ganze Weltbevölkerung technisch erzeugten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt, die nicht nur aus großen Sendemasten abgestrahlt werden, sondern durch viele Geräte, die alltäglich scheinen, z.B. Mobiltelefone, Computer, Navigationsgeräte, Mikrowellenherde usw. Aufgrund der Betriebsweise (Betrieb an einem Vorschaltgerät) erzeugen Kompaktleuchtstofflampen besondere Formen von elektromagnetischen Feldern anders als Glühlampen, bei deren Betrieb nur das Magnetfeld der Leitung anfällt, wenn dort Strom fließt.

Bestimmte Formen von elektromagnetischen Feldern sind als gefährlich bekannt, und es gibt seit langem Vorschriften zum Schutz gegen diese. An dem Namen einer solchen Vorschrift (Röntgenverordnung) und der Vorgeschichte der Geräte, die die fragliche Strahlung erzeugen, kann man den Wandel unseres Umgangs mit der Strahlung erkennen: Während vor einigen Jahrzehnten in guten Schuhgeschäften Pedoskope, also Röntgengeräte für Füße, standen, mit denen die Eltern den Sitz der Schuhe der Kinder prüfen konnten, verlassen heute Krankenschwestern den Raum, wenn sich ein Patient der unvermeidlichen Strahlung aussetzen muss.

Weniger klar ist die Lage bezüglich anderer Formen der Strahlung, über die seit mehr als 20 Jahren heftig diskutiert wird. Für bestimmte Formen der Strahlung existieren Grenzwerte, die an dieser Stelle nicht weiter diskutiert werden sollen. Diese bieten für die einen einen hinreichenden Schutz gegen technisch erzeugte Felder, für die anderen legalisieren sie

den „Elektrosmog“ ohne eine vernünftige Grundlage. D.h., sie verharmlosen mögliche Wirkungen auf die Gesundheit. Diskussionen ähnlicher Art wurden über Felder geführt, die Bildschirmgeräte früher verursachten. Z.T. waren sie erfolgreich, z.B. bei der Beseitigung von elektrischen Feldern von Bildschirmröhren, z.T. wurden sie erfolglos geführt, bis die entsprechende Größe nicht mehr relevant war. Ein Beispiel hierfür ist die Röntgenstrahlung von Bildschirmen mit der alten CRT-Technik.

Die für den Strahlenschutz zuständige Behörde, das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), hat sich mit dem Thema bezüglich der elektromagnetischen Emissionen von Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen) auseinandersetzen müssen. Das Ergebnis wurde am 10. August 2009 veröffentlicht [29]. Hierbei wird sowohl die optische Strahlung, d.h. Licht, UV und IR, sowie die niederfrequenten elektrischen und magnetischen Felder behandelt, weil auch die optische Strahlung eine Gefährdung bedeuten kann (s. EU-Richtlinie 2006/25/EG).

Das Amt kommt zu der Schlussfolgerung, dass *„der Einsatz von Kompaktleuchtstofflampen für allgemeine Beleuchtungszwecke im Haushalt unter Strahlenschutzaspekten nicht bedenklich“* sei. Weil *„die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass die von den Lampen emittierte optische Strahlung sowie die elektrischen und magnetischen Felder die internationalen Grenzwertempfehlungen einhalten.“* Offenbar wurde das Ergebnis dieser Studie aber von den befürwortenden Politikern nicht vollständig gelesen und gewürdigt.

Auf die Sätze am Anfang der Zusammenfassung der Ergebnisse folgt nämlich die entscheidende Feststellung: *„Unabhängig von der immer zu fordernden Einhaltung von Grenzwerten stellt die vorsorgliche Reduzierung vermeidbarer Expositionen eine bewährte Maßnahme im Strahlenschutz dar. Die Forderung nach Vorsorge wird in diesem Bereich zusätzlich durch die folgenden Punkte unterstützt:*

...

- *Die gesundheitlichen Risiken elektrischer und magnetischer Feldern mit Frequenzen im Kilohertzbereich sind im Unterschied zu anderen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums einschließlich denen der UV-Strahlung weniger gut untersucht. **Daher bestehen zusätzliche Unsicherheiten bei der gesundheitlichen Bewertung.***

Daraus folgt eine unmissverständliche Aufforderung: *„Das BfS fordert daher von den Hersteller eine für die Verbraucher einfach zu erkennende Kennzeichnung von Lampen, die auch dem vorsorglichen Strahlenschutz im Rahmen des technisch Machbaren gerecht werden.“*

Es besteht also Bedarf nach Maßnahmen, was im Klartext bedeutet, dass die „vorsorgliche“ Reduzierung von Emissionen von Feldern für notwendig erachtet wird. Das Amt begründet diese damit, dass *„die vom BfS durchgeführten Messungen und die wenigen veröffentlichten Daten anderer Stellen zeigen, dass bei den auf dem Markt befindlichen Kompaktleuchtstofflampen diesbezüglich erhebliche Unterschiede bestehen.“*

Wer also eine aus dieser Hinsicht völlig unbedenkliche Technik (Glühlampe) durch eine andere (Kompaktleuchtstofflampe) ersetzt, handelt gegen das Prinzip der vorsorglichen Reduzierung von Gefahren. Dieses Prinzip ist auch unter dem Namen ALARA (**as low as reasonably achievable**) bekannt und ist eine grundlegende Leitlinie des Strahlenschutzes.

9. Zur Gesundheitsproblematik

Dass Licht einen Einfluss auf die Gesundheit ausübt, war bereits in der Antike bekannt. Z.B. war ein „Solarium“ im alten Rom nicht etwa eine Hautbräunungsanlage, sondern eine Heilstätte, in der mit Licht geheilt wurde. Dieses Wissen ist im Laufe der Zeit mehrfach in Vergessenheit geraten. Im 19. Jahrhundert entdeckte der polnische Arzt Jędrzej Śniadecki, dass Rachitis und Lichtmangel zusammen hängen. Und Niels Finzen bekam im Jahre 1903 den Nobelpreis für Medizin für die erfolgreiche Behandlung von Hauttuberkulose mit Licht. Dass Licht vielfache biologische Wirkungen entfaltet, ist allgemein bekannt. Allerdings hielt man bis vor wenigen Jahren an dem Glauben fest, dass das Licht für Beleuchtungszwecke hiermit nichts zu tun hätte. Oder es wurde nicht darüber gesprochen. Die Beleuchtung von Arbeitsstätten sollte ihre Aufgaben (Anm. im Hinblick auf das Sehen) erfüllen und sich harmonisch in die Arbeitsräume einfügen.

Einzig eine Behauptung in den Beleuchtungsnormen bezog sich indirekt auf solche Wirkungen: *„Die Beleuchtung beeinflusst durch ihre Qualität die Sehleistung, die Aktivierung, die Arbeitssicherheit und das Wohlbefinden des Menschen.“* [30] Die Arbeitssicherheit sollte einerseits durch Vermeiden von Unfällen unterstützt werden. Andererseits wurde gemeint, gutes Licht entlaste den Menschen bei der Arbeit, wodurch er bei gleichem Arbeitspensum weniger ermüde. Hierdurch würde seine Gesundheit positiv beeinflusst. Da es auch das Wohlbefinden fördere, würde so die Gesundheit allgemein unterstützt.

Diese Zeiten sind lange vorbei. Bereits 1990 wurde mit einem Forschungsbericht nachgewiesen, dass die Beleuchtung von Büros einen engen Bezug zur Gesundheit hat [31]. Diese Nachricht wurde zunächst ebenso übergangen wie zahlreiche frühere Veröffentlichungen, die sich auf die Auswirkungen der Beleuchtung auf den arbeitenden Menschen konzentrierten. So war ein heute viel diskutierter Umstand, die Änderung des circadianen Rhythmus des Körpers, bereits in den 1960er Jahren Gegenstand umfangreicher Studien, in deren Folge die sog. Chronobiologie entstanden ist [32]. Die einst von dem Augenmediziner Hollwich behauptete Änderung der hormonellen Verläufe im menschlichen Körper wurden spätestens in 1987 bei einem CIE-Kongress, der Tagung der weltweiten Vereinigung der Lichttechniker, vorgetragen [33].

Spätestens mit der Entdeckung eines neuen Lichtempfängers im Auge im Jahre 2002 wuchs die Literatur über biologische Wirkungen der Beleuchtung parallel zu den entsprechenden Forschungsaktivitäten an (s. z.B. [34], [35] und [36]). In Deutschland wurde hierzu eine Vornorm erarbeitet [37]. Eine weitere Vornorm für die „Planung von biologisch wirksamer Beleuchtung“ ist in Vorbereitung [38].

In der Fachwelt herrscht Einigkeit darüber, dass das Licht insbesondere über sein Spektrum vielfältige biologische Wirkungen ausübt, die von der Beeinflussung von Herzaktivität bis hin zu Krebsbildung reichen können. Ein in Juni 2009 bei DIN veranstaltetes Expertenforum hat solche Wirkungen umfänglich behandelt [39]. In der Medizin und Psychiatrie hat sich Licht als Therapiemittel längst etabliert, wobei es bei seiner Wirksamkeit einerseits auf seine physikalischen Eigenschaften ankommt und andererseits auch auf den Zeitpunkt und Dauer der Einwirkung.

Ein Teil der relevanten Literatur, die die physiologischen und biologischen Wirkungen von Licht behandelt, wird in [40] und [45] analysiert. Darin wird eine große Vielfalt an physiologischen Wirkungen behandelt, die sich insbesondere mit dem Spektrum und der Lichtfarbe der Beleuchtung beschäftigt.

Während sich Lichttechniker und Mediziner mit großem Elan an der Diskussion beteiligen, scheint bei den Befürwortern der „Energiesparlampe“ die Zeit stehen geblieben zu sein. In einer im März 2009 veröffentlichten Broschüre des Umweltbundesamts [41] mit einer Länge von immerhin 60 Seiten werden zwar alle möglichen Eigenschaften der Lampen und des Lichts behandelt, biologische Wirkungen kommen darin aber nicht vor, auch nicht gesundheitliche. Das Spektrum wird zwar genannt, aber nicht behandelt. Zudem dürfte das einzige abgebildete Spektrum nicht von einer Kompaktleuchtstofflampe sein. Farbwiedergabe und Lichtfarbe werden als Nebensächlichkeiten behandelt.

Wer sich darüber wundert, dürfte erst recht verwundert sein, wenn er liest, dass es im Auge nur zwei Arten von Sehzellen gäbe. Wer dies schriftlich von sich gibt, hat wohl die letzten sieben bis acht Jahre nichts mehr gelesen, denn die hier diskutierten Aspekte werden nicht nur in der Fachliteratur abgehandelt. Vielmehr hat die Entdeckung eines dritten Sensors im Auge im Jahre 2002 die „Lichttechnik“, gemeint ist die systematische bis wissenschaftliche Beschäftigung mit Licht und Beleuchtung, in ihren Grundfesten erschüttert. Offenbar sind die Erschütterungen am UBA vorbei gegangen.

10. Zur Problematik von Ökobilanzen

An der Quecksilberproblematik wird auch die Schwachstelle von Öko-Bilanzen deutlich. Eine Bilanz ist eine Aufstellung, die mit einem eindeutigen Ergebnis endet, zu dem alle aufgestellten Objekte (z.B. Kosten für Beschaffungen, Miete, Abschreibungen etc.) zusammen gezählt werden. Die Bilanz ist eine kurz gefasste Gegenüberstellung von Vermögen (Aktiva) und Schulden (Passiva) in Kontenform. Auf beiden Seiten steht am Ende die gleiche Zahl, Bilanz heißt Waage oder Doppelwaage. Eine Öko-Bilanz hingegen stellt eine Aufstellung von umweltwirksamen Sachverhalten und ihrer Analyse dar. Sie gibt keine Antwort auf die Frage, ob Produkt A, das mehr Energie verbraucht, ökologisch besser einzuschätzen ist als Produkt B, das mehr Lärm und Schadstoffe erzeugt.

Die Ökobilanz ist eine Entscheidungshilfe, die man so oder so einsetzen kann. So kann in einer bestimmten Umgebung der Primärenergieaufwand bedeutsam sein, während in einer anderen der potenziellen Emis-

sion von Schadstoffen unbedingt Vorrang einzuräumen ist. Genau genommen, ist eine Ökobilanz eine Synopsis und keine Bilanz. Verständlich, dass man das Wort Bilanz gewählt hat. Synopsis hätte nur geringe Chancen bei der Bevölkerung anzukommen.

Was allerdings nicht geht, ist eine Entscheidung über zwei unterschiedliche Objekte wie die Glühlampe und die Kompaktleuchtstofflampe, deren Nutzwirkung nicht vergleichbar ist, ohne eine vorliegende Ökobilanz zu erstellen. Diese war, trotz vieler Versuche, nicht aufzufinden. Es gibt Hinweise dafür, dass es sie gar nicht gibt: Die Konzern-eigene Zeitschrift „Pictures of the Future - Die Zeitschrift für Forschung und Innovation“ hat im Frühjahr 2009 einen Bericht über die Arbeit von Malgorzata Kroban und des Osram-Experten für Nachhaltigkeit Merz veröffentlicht, in dem zwar die Ökobilanz der „Energiesparwunder“ (laut Originaltext) gelobt wird, aber die Ökobilanz etwas zu kurz kommt: „*Die Ökobilanz der Lampen wird von ihrem Energieverbrauch bestimmt*“, resümiert die Ingenieurin.“ [42]. So kann das ja so nicht stimmen. Die Frage des Quecksilbers findet an anderer Stelle Erwähnung. Man könne zwar auf das Quecksilber nicht verzichten, aber ... „*Das ist weniger, als ein Kohlekraftwerk an Quecksilber freisetzt, wenn es den Strom für den Energiemehrbedarf einer Glühbirne produziert*“, berichtet Merz vom Ergebnis eines ganzheitlichen Vergleichs.“ Bemerkenswerterweise hat auch der frühere Bundesumweltminister Gabriel im Frühjahr präzise dasselbe Argument amtlich gemacht: „**Quecksilberverbot und Energiesparlampen - ein Widerspruch?** ... *Fazit: Durch die quecksilberhaltigen Energiesparlampen wird weniger Kohlestrom benötigt. Hierdurch wird weniger Quecksilber durch die Kohleverbrennung freigesetzt als in den Energiesparlampen eingesetzt wird. Letztlich führen also konventionelle Glühlampen zu höheren Quecksilberemissionen als quecksilberhaltige Energiesparlampen.* [43] Die weiteren Ingredienzen der Kompaktleuchtstofflampe (Blei, Antimon, Barium, Arsen, Yttrium, Phosphorverbindungen, Zink-Beryllium-Silikate, Cadmiumbromide, Vanadiumverbindungen, Thorium usw.) werden, wie bereits angeführt, nicht erwähnt, ebenso die Tatsache, dass der größte Teil dieser Lampen nicht recycelt wird.

Durch diese eigenwillige „Ökobilanz“ lernt man nebenbei, wie ein Unternehmen indirekt zugibt, dass er seine Existenz hauptsächlich Produkten verdankt, die die Umwelt mit Schwermetallen verschmutzen. Es ist von dem Entdecker des dynamoelektrischen Prinzips gegründet worden, das den Bau von Kraftwerken möglich gemacht hat, und ist seit über 100 Jahren einer der größten Erbauer von solchen Anlagen.

Anm.: Es gibt so etwas wie eine Öko-Bilanz der „Energiesparlampe“ (Quack 2004 [44]). Sie verwechselt diese aber bereits im Titel mit der Kompaktleuchtstofflampe. Ihr wesentlicher Mangel besteht in ihrem Ansatz: „*Sowohl die Untersuchungen von Pfeiffer 1994 als auch AEA 1999 kamen in ihren Studien zu dem Ergebnis, dass bei Energiesparlampen etwa 95 % bzw. 90 % der Umweltbelastungen aus der Nutzungsphase resultieren. Aufgrund dieser Tatsache wird im Folgenden über die **Herstellungs- und die Entsorgungsphase nur qualitativ berichtet**, detailliert eingegangen wird auf die Nutzungsphase. Transporte werden in dieser Betrachtung ganz vernachlässigt.*“ Deswegen wird das Problem

Quecksilber gar nicht behandelt, sondern der Entsorgung überwiesen. So kann man ein Produkt auch schön reden oder einen guten Ruf in Grund und Boden.

11. Gesamtwertung

Die EU hat mit einer Richtlinie über Lichtprodukte den schrittweisen Ausstieg von Leuchtmitteln beschlossen, die eine geringe Energieeffizienz aufweisen sollen. Zum 1. September 2009 sind bestimmte Glühlampen von der Regalen verschwunden. Bis zum Jahr 2012 sollen alle Glühlampen mit mehr als 7 Watt Leistung verboten werden.

Der Vorstellung der Energieeffizienz liegt ein einfaches Modell zugrunde, das des Kühlschranks, bei dem der Aufwand an Primärenergie der abgeforderten Leistung (Kühlen eines vorgegebenen Volumens) gegenüber gestellt wird. Je weniger Energie hierbei verbraucht wird, desto höher fällt die Energieeffizienz aus. Um dieses Modell auf die Lichterzeugung anwenden zu können, müssten die verglichenen Lichtquellen eine ähnliche „Leistung“ erbringen, d.h. Licht mit einer bestimmten Qualität erzeugen.

Die vorgelegte Studie des ERGONOMIC Instituts zeigt, dass die als „Energiesparlampe“ bezeichneten technischen Produkte in praktisch allen Qualitätsmerkmalen (Spektrum, Lichtfarbe, Farbwiedergabe, Glanz und Brillanz) der durch sie zu ersetzenden Glühlampe unterlegen sind. D.h., die Berechnung einer Energieeffizienz ist im Prinzip nicht statthaft. Nur dort, wo der angewandte Berechnungsmaßstab (Lichtstrom) gegenüber den Qualitätsmerkmalen wie Farbwiedergabe eine ausschlaggebende Bedeutung besitzt, darf ein Vergleich gezogen werden.

Die in der Presse insbesondere durch Politiker herausgestellten Merkmale der „Energiesparlampe“, z.B. die Lebensdauer oder die höhere Lichtausbeute, werden durch Zahlen unterlegt, die außer den Herstellern niemand nachvollziehen kann. Fachbücher raten sogar davon ab, Daten überhaupt anzugeben. So gibt es mindestens drei verschiedene Angaben zur Bestimmung der Lebensdauer der Lampen von Herstellerseite (OSRAM, Philips und ZVEI) und nicht eine. Trotzdem wurde fast immer eine Lebensdauer von 10.000 Stunden propagiert. Nach einem jüngsten Test von Stiftung Warentest erreichen die meisten Produkte diese Lebensdauer nicht, manche Lampe stirbt sogar schneller als eine Glühlampe.

Die zur Berechnung der Energieeffizienz benötigte Zahl über die erzeugte Lichtmenge, der Lichtstrom, wird über einen wenig nachvollziehbaren Weg bestimmt. Bekannt ist seit langem, dass die Katalogangaben so fehlerhaft sind, dass man bei der Lichtplanung einen Zuschlag berücksichtigen muss. Zudem ist der Lichtstrom der Lampe nicht unbedingt aussagefähig, weil man mehr oder weniger zusätzliche Technik benötigt, um Licht sinnvoll zu nutzen. Diese schluckt einen Teil des Lichts und benötigt nicht selten Energie zum eigenen Betrieb. Daher müsste die Effizienz des gesamten Systems geprüft werden, was heute der größte Herstellerverband fordert. Dies ist aber bei dem Verbot der Glühlampe nicht berücksichtigt worden.

Diese Studie prüft, ob die als Alternative hervorgehobene „Energiesparlampe“ tatsächlich eine ökologisch günstigere Wahl mit besserer Energieeffizienz ist. Eine höhere Energieeffizienz liegt vor, wenn ein Produkt die gleiche Leistung mit einem geringeren Aufwand an Primärenergie erbringt. Für eine Beurteilung der ökologischen Überlegenheit wird eine Öko-Bilanz für die gesamte Lebensdauer des Produkts von seiner Planung bis zu seiner Eingliederung in die Natur - „von der Wiege zur Bahre“ oder „cradle to cradle“ - benötigt.

Trotz intensiver Suche konnte eine solche Öko-Bilanz nicht gefunden werden, aber überzeugende Hinweise dafür, dass es diese nicht gibt. Selbst ein Gutachten des Öko-Instituts aus dem Jahre 2004, das eine solche Bilanz vorgibt, klammert insbesondere die Entsorgungsphase aus, in der riesige Mengen des verbotenen Umweltgiftes Quecksilber anfallen. Die Industrie und der ehemalige Bundesumweltminister führten als Verteidigung des Verbots als Argument ein, dass Quecksilber auch durch die Kohlekraftwerke in die Umwelt gelänge. Durch ihren geringeren Stromverbrauch würden Energiesparlampen die Quecksilberbelastung der Umwelt insgesamt verringern. Außerdem sollen die Lampen umweltgerecht entsorgt werden.

Ein Anfang April 2010 veröffentlichter Testbericht von Stiftung Warentest gibt aber an, dass bis zu 90 % der Lampen im Hausmüll landen. Zudem konnte die Studie zeigen, dass Quecksilber nicht die einzige Umweltbelastung materieller Art darstellt, die von den „Energiesparlampen“ ausgeht.

Vollkommen unberücksichtigt geblieben sind psychische wie gesundheitliche Wirkungen der Beleuchtung. Der Beratungsinstitution des Umweltministers, dem Umweltbundesamt, war die Diskussion der letzten 10 Jahre über die nicht-visuellen Wirkungen des Lichts offenbar unbekannt, als es seine Vorstellungen bezüglich der Energieeffizienz veröffentlichte. Auch die visuellen Aspekte wie Spektrum, Lichtfarbe und Farbwiedergabe, die jeder berücksichtigen muss, wenn er eine Meinung über Licht bildet, finden in dem Bericht des UBA keine Würdigung. Eine mangelhafte Qualität mit weniger Aufwand erreichen - Ist das etwa etwas Neues?

Die Studie kommt zum Schluss, dass das Glühlampenverbot ohne eine hinreichende ökologische Würdigung der Alternativen ausgesprochen worden ist. Auch zwei Jahre nach dem Beschluss der EU ist die Energiesparlampe laut Stiftung Warentest „Kein Lichtblick“ (so der Titel des Testberichts). Dafür kann man in jedem beliebigen Land der Welt erleben, wie sorgfältig gestaltete Säle, Verkaufsräume, Bahnhöfe etc. verunstaltet werden, weil die Lampen zwar in die Fassung der Glühlampen gedreht werden, aber nicht in die Leuchten passen. Wenn die Vorräte aufgebraucht worden sind, werden auch im Haushalt schöne alte Leuchten, Lüster, Kandelaber etc. zum alten Eisen werden. Die Museen haben jetzt schon keinen Ersatz für die Lampen, die zur Beleuchtung der „Alten Meister“ benötigt werden. Dass man mit der Glühlampe auch andere Kulturgüter vernichtet, ist der EU-Kommission wohl nicht in den Sinn gekommen.

12. Literatur

- [1] http://catalogx.myosram.com/zb2b/b2b/start.do;jsessionid=%28J2EE108432400%29ID0335726250DB11613567568677067305End;saplb_*=%28J2EE108432400%29108432450?browsername=mozilla%2F5.0%2520%2528macintosh%253B%2520u%253B%2520intel%2520mac%2520os%2520x%252010.5%253B%2520de%253B%2520rv%253A1.9.1.1%2529%2520gecko%2F20090715%2520firefox%2F3.5.1&browsermajor=5&browserminor=5, 3. April 2010
- [2] [http://www.highlight-web.de/Newsanzeige.31.0.html?&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=464&cHash=7dc4d06042](http://www.highlight-web.de/Newsanzeige.31.0.html?&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=464&cHash=7dc4d06042), 6. April 2010
- [3] http://www.osram.de/osram_de/Tools_&_Services/Beratung_&_Kalkulation/IRC_Spar-Rechner/index.html, 3. August 2009
- [4] Giladi, G.: Das „Einstellen“ der Glühlampenherstellung – Ist die Öffentlichkeit zu wenig oder falsch informiert?
http://www.licht01.de/media/Article_4_Global_Press_Publication_d.pdf, 3. April 2009
- [5] Berman, S. M. (1992). Energy efficiency consequences of scotopic sensitivity. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 21, 3-14
- [6] Christoph Schierz, TU Ilmenau, persönliche Mitteilung, 2008
- [7] Khanh, T. Q.: 85 Jahre $V(\lambda)$ -Lichttechnik - Entstehung, Wesen der Wahrnehmung, Defizite und neue Aspekte für eine wahrnehmungsgerechte Lichttechnik, *Licht* 7/8, 2009, S. 520-529
- [8] DIN 6169 Farbwiedergabe; Teil 2: Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen in der Beleuchtungstechnik
- [9] <http://www.licht.de/de/licht-fuer-zuhause/leben-mit-licht/so-stimmt-die-beleuchtung/>, 7. April 2010
- [10] DIN EN 12464-1:2003 Beleuchtung von Arbeitsstätten Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen Deutsche Fassung EN 12464-1:2002
- [11] http://www2.philips.de/licht/onlineacademy/train_v1.html, 3. August 2009
- [12] <http://www.stromeffizienz.de/stromsparen/fragen-antworten/faq-licht.html>, 3. August, 2009.
- [13] Stiftung Warentest: Kein Lichtblick, *Stiftung Warentest*, 04/2010
- [14] Spieser, R.; Herbst, C.H.; Höfler, K.; Wuillemin, A.O.: *Handbuch für Beleuchtung*, SLG, LTAG, LiTG (Hrg.), Girardet, Essen, 1974
- [15] *Ergonomische Faktoren der Bildschirmarbeit*, IBM Stuttgart, 1979
- [16] Çakir, A.; Reuter, H.-J.; V. Schmude, L.; Armbruster, A., *Anpassung von Bildschirmarbeitsplätzen an die physische und psychische Funktionsweise des Menschen*, Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung, Bonn, 1978
- [17] *Panel on Impact of Video Viewing on Vision of Workers, Video Displays, Work and Vision*, National Academy Press, Washington, D.C., 1983
- [18] Bauer, D.; Bonacker, M.; Cavonius, C.R.: Frame repetition rate for flicker-free VDU screens, *Displays*, Jan. 1983 , S. 31 - 33
- [19] Wilkins, A. J., Nimmo-Smith, I., Slater, A. & Bedocs, L.: Fluorescent lighting, headaches and eye-strain. *Lighting Research and Technology*, 21, 11-18, 1989

- [20] <http://www.stromeffizienz.de/stromsparen/fragen-antworten/faq-licht.html>, 3. August, 2009.
- [21] DIN 5035-1 Innenraumbelichtung mit künstlichem Licht. Teil 1: Begriffe und allgemeine Anforderungen, DIN 1979
- [22] Meinhardt, W.: Rechtlicher und wirtschaftlicher Aufbau des Glühlampenvertrages, in: "Schriften der Kartellstelle des Reichsverbandes" Nr.1, Berlin, 1925, Seite 44, zit. nach: Die Kartellierung der deutschen Elektroindustrie_, von Gottfried Eißfeldt, Berlin, 1928, Seite 73f.
- [23] Rea, M.S. (Hrsg.), The IESNA Lighting Handbook Reference & Application, Illuminating Engineering Society of North America, New York, 2000
- [24] http://www2.philips.de/licht/onlineacademy/samples/el_leuchtstoffl.pdf, 3. August 2009
- [25] http://www.osram.de/osram_de/Tools_&_Services/Training_&_Wissen/FAQ/Allgemeine_Fragen/index.html
- [26] ZVEI: Lebensdauerverhalten von Entladungslampen für die Beleuchtung - Grundlagen für Planung und Wartung, Frankfurt am Main, November 2005
- [27] Kroban, M.: Ökologische Bewertung von Lichtsystemen im Hinblick auf Anforderungen der EuP-Richtlinie, Diss, Uni Cottbus, 2007
- [28] Gemeinschaftsstrategie für Quecksilber" [[KOM\(2005\) 20](#) - Amtsblatt C 52 vom 2. März 2005
- [29] Bundesamt für Strahlenschutz: Informationen zu elektromagnetischen Emissionen von Kompaktleuchtstofflampen, (Energiesparlampen), Stand 10.08.2009, Salzgitter
- [30] DIN 5035-1:1990 Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 1: Begriffe und allgemeine Anforderungen
- [31] Çakir, A.: Licht und Gesundheit - Eine Untersuchung zum Stand der Beleuchtungstechnik in deutschen Büros, ERGONOMIC, Berlin, 1990
- [32] Aschoff, J.; Daan, S.; Groos, G.A.: Vertebrate Circadian Systems - Structure and Physiology, Springer, Berlin Heidelberg New York, 1982
- [33] Küller, R.: The effects of indoor lighting on well-being and the annual rhythm of hormones, CIE 21st session, Venice 1987, Volume 1. No 601, pp. 342-345
- [34] Küller, R. (2001).The influence of daylight and artificial light on diurnal and seasonal variations in humans - a bibliography. Compilation of topics and keywords. 06.03.2010 aus www.ergonomic-institute.eu/index.php?article_id=184
- [35] CIE (2004) Proceedings of the CIE Symposium 2004 on Light and Health: non-visual effects, CIE x027:2004
- [36] CIE (2006) Proceedings of the 2nd CIE Expert Symposium on "Lighting and Health", CIE x031:2006
- [37] DIN V 5031-100: 2009 „Nicht-visuelle Wirkungen okularen Lichts auf den Menschen“
- [38] DIN V 5031-101: „Planung von biologisch wirksamer Beleuchtung“ (Entwurf)
- [39] Çakir, A.: Bericht vom 3. DIN-Expertenforum »Wirkung des Lichts auf den Menschen«, Licht 9/2009, S. 2 - 7
- [40] www.lichtundgesundheit.de, 28. August 2009

- [41] Umweltbundesamt: Beleuchtungstechnik mit geringerer Umweltbelastung, 3. Ausgabe, 18. März 2009
- [42] https://w1.siemens.com/innovation/de/publikationen/6099_pof_fruehjahr_2009/produkte/lampen.htm, 28. August 2009
- [43] <http://www.bmu.de/presse/doc/43232.php>, 20. Februar 2009
- [44] Quack, D.: Energiesparlampe als EcoTopTen-Produkt - Dauerbrenner Kompaktleuchtstofflampe, Öko-Institut e.V., Freiburg, 2004
- [45] Fisch, J. Maschinen- u. Metall-Berufsgenossenschaft (Hrsg.), Licht und Gesundheit - Das Leben mit optischer Strahlung, Dortmund, 2000