

Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

Moderne Lichtquellen

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 242. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 01./02. Juli 2010

Stellungnahme.....	4
1 Ausgangslage.....	4
2 Lichtquellen	4
3 Biologische Wirkungen.....	4
4 Stellungnahme	5
5 Literatur	5
Wissenschaftliche Begründung.....	7
1 Fragestellung.....	8
2 Rechtliche Grundlagen.....	8
3 Bauart, Betriebsweise und Eigenschaften von optischen Strahlungsquellen zur Beleuchtung in privaten Haushalten.....	9
3.1 Glühlampe.....	11
3.1.1 Funktionsweise	11
3.1.2 Spektrum, Lichtfarbe, Energieeffizienz	11
3.1.3 Anwendungen.....	12
3.1.4 Emissionen und Gefährdungen.....	12
3.2 Halogenleuchtstofflampe	13
3.2.1 Funktionsweise	13
3.2.2 Spektrum, Lichtfarbe, Energieeffizienz	13
3.2.3 Anwendungen.....	14
3.2.4 Emissionen und Gefahren	14
3.3 Leuchtstofflampe.....	15
3.3.1 Funktionsweise	15
3.3.2 Spektrum, Lichtfarbe, Energieeffizienz	15
3.3.3 Anwendungen.....	16
3.3.4 Emissionen und Gefährdungen.....	16
3.4 Kompakt-Leuchtstofflampe (so genannte Energiesparlampe)	17
3.4.1 Funktionsweise	17
3.4.2 Spektrum, Lichtfarbe, Energieeffizienz	18
3.4.3 Anwendungen.....	19
3.4.4 Emissionen und Gefährdungen.....	19
3.5 LED, Licht emittierende Dioden	20
3.5.1 Funktionsweise	20
3.5.2 Spektrum, Lichtfarbe, Energieeffizienz	20
3.5.3 Anwendungen.....	22
3.5.4 Emissionen und Gefährdungen.....	23
4 Elektrische und magnetische Emissionen	23
4.1 Elektrische Wechselfelder.....	24
4.2 Magnetische Wechselfelder	25
4.3 Intrakorporale Stromdichte.....	25

4.4	Kontaktströme	25
4.5	Zusammenfassung.....	26
5	Kenngößen verschiedener Lampenarten	26
6	Bewertung	32
6.1	Grenzwerte	32
6.2	Bewertung durch andere Gutachterorganisationen.....	32
6.3	Zu den verschiedenen Leuchtmitteln / Lampen	32
6.3.1	Glühlampen.....	33
6.3.2	Halogenglühlampen	33
6.3.3	Leuchtstofflampen.....	33
6.3.4	Kompaktleuchtstofflampen.....	34
6.3.5	LED - Lampen.....	34
7	Glossar	35
8	Literaturverzeichnis	39
9	Abbildungsnachweis.....	42

Stellungnahme

1 Ausgangslage

Die Ankündigung, dass in Zukunft die herkömmlichen Glühlampen nicht mehr in Geschäften zu kaufen sein werden, hat in der Bevölkerung zu einiger Verunsicherung geführt. Dabei wird immer wieder die Frage gestellt, ob die jetzt notwendigen “modernen Leuchtmittel”, wie Kompaktleuchtstoff- und LED-Lampen, nicht zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen könnten. Hier werden im Wesentlichen sowohl das von der Glühlampe abweichende optische Spektrum mit einem höheren Anteil an UV-Strahlung und blauem Licht als auch eine zusätzliche Exposition durch elektromagnetische Felder als Grund für diese Besorgnisse angeführt.

Der Hintergrund dieses Verkaufsverbotes ist, dass die EU zur Verbesserung der Energieeffizienz eine Regel für den gemeinsamen Binnenmarkt, die Ökodesign - Richtlinie (2005/32/EG) [EG 2005], erlassen hat. Diese EU-Richtlinie ist in Deutschland im Jahr 2008 durch das Energiebetriebene-Produkte-Gesetz (EBPG) [EBPG 2008] umgesetzt worden. Festlegungen für die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen werden in der EG-Verordnung 244/2009 [EG 2009] erlassen. Damit ergibt sich die Notwendigkeit, energieeffizientere Leuchtmittel einzusetzen.

Die Strahlenschutzkommission hat sich deshalb mit der Frage “Gibt es durch die modernen Leuchtmittel zusätzliche negative gesundheitliche Auswirkungen auf Menschen?” befasst.

2 Lichtquellen

Elektrische Lichtquellen erzeugen neben der gewünschten sichtbaren Strahlung zum Teil auch Strahlung im ultravioletten (UV)- und infraroten (IR)- Bereich sowie niederfrequente, elektrische und magnetische Felder, die schnell mit dem Abstand zur Lichtquelle abnehmen.

Dies gilt auch für moderne Lichtquellen, wie Kompaktleuchtstofflampen und Licht emittierende Dioden (LED). Zusätzlich erzeugen Kompaktleuchtstofflampen elektrische und magnetische Felder im Kilohertzbereich.

Die spektrale Zusammensetzung der erzeugten optischen Strahlung (Anteile UV, sichtbar und IR) von Leuchtstofflampen- und LED-Typen variiert über weite Bereiche. In der Regel tritt häufig ein höherer Blaulichtanteil im Vergleich zu Glühlampen auf. Auch haben diese Lampen in der Regel ein diskontinuierliches Spektrum, was die Farbwiedergabe beeinflussen kann.

Es liegt bereits eine Reihe von Messungen der strahlenschutzrelevanten Größen (UV, IR, elektrische und magnetische Felder) zu den verschiedenen Lampenarten vor (siehe wissenschaftliche Begründung). Dabei zeigten sich erhebliche Spannbreiten der gemessenen Parameter.

3 Biologische Wirkungen

Bei Überschreitungen von Grenz- bzw. Richtwerten für den optischen Bereich können schädigende Wirkungen auf die Haut oder das Auge (insbesondere UV) auftreten. Weiterhin

können magnetische und elektrische Felder oberhalb von Schwellenwerten Reizwirkungen ausüben. Die Strahlenschutzkommission hat sich bereits in anderen Stellungnahmen ([SSK 2001], [SSK 2002], [SSK 2003], [SSK 2006], [SSK 2007], [SSK 2008], [SSK 2008a]) mit den Grenz- und Richtwerten zur Vermeidung nachteiliger biologischer Effekte im optischen Bereich und bei elektrischen und magnetischen Feldern beschäftigt.

Entscheidend für die Beurteilung einer möglichen gesundheitlichen Beeinträchtigung oder Gefährdung durch künstliche Lichtquellen ist der Abstand zur Quelle (abgesehen von Lasern, die aber hier nicht betrachtet werden). Die Grenzwerte für optische Strahlung ([ICNIRP 1997], [ICNIRP 2004]) sowie elektrische und magnetische Felder [EG 1999] werden bei allen untersuchten Quellen schon in sehr kurzen Abständen von wenigen Zentimetern eingehalten. Damit besteht bei üblichen Nutzabständen keine Gefährdung.

Zu den Wirkungen eines erhöhten Blaulichtanteils, z. B. hinsichtlich der Beeinflussung der circadianen Rhythmik, liegen erste wissenschaftliche Studien vor. Eine Bewertung möglicher gesundheitlicher Wirkungen ist derzeit nicht möglich.

4 Stellungnahme

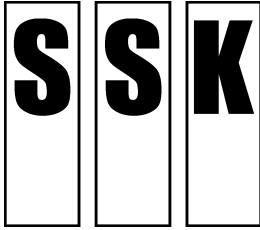
Auch die modernen Lichtquellen wie Kompaktleuchtstofflampen und LED halten in den für die Nutzung relevanten Abständen die strahlenschutzrelevanten Grenzwerte sicher ein. Diese Einschätzung ergibt sich aus eigens für diese Stellungnahme durchgeführten Messungen und ist in guter Übereinstimmung mit Ergebnissen nationaler und internationaler Untersuchungen (z.B. [BfS 2009], [Nadakuduti et al. 2010]).

Die Qualität des erzeugten Lichtes von Kompaktleuchtstofflampen ist nicht grundsätzlich verschieden von bereits seit Jahrzehnten verwendeten Leuchtstofflampen. Daher sieht die Strahlenschutzkommission derzeit keine Veranlassung für besondere Empfehlungen hinsichtlich des Gebrauchs moderner Lichtquellen.

5 Literatur

- [BfS 2009] Bundesamt für Strahlenschutz: Information zu elektromagnetischen Emissionen von Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen); www.bfs.de/de/elektro/papiere/Energiesparlampen.html (2009)
- [EBPG 2008] Gesetz über die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (Energiebetriebene-Produkte-Gesetz – EBPG); Bundesgesetzblatt Teil 1 Nr. 7 S. 258 (2008)
- [EG 1999] Empfehlung des Rates zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)
- [EG 2005] Verordnung (EG) Nr. 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Rahmes für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie der Richtlinie 96/57/EG und 2000/55/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates; ABl. EU Nr. L 191 S. 29 (2005)

- [EG 2009] Verordnung (EG) Nr. 244/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht; ABl. Nr. L 76 S. 3 (2009)
- [ICNIRP 1997] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines on Limits to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0,38 to 3 μm); Health Physics 73(3); 539-554 (1997)
- [ICNIRP 2004] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths Between 1800 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation); Health Physics 87(2); 171-186 (2004)
- [Nadakuduti et al. 2010] J. Nadakuduti, M. Douglas, M. Capstick, S. Kühn, S. Benkler, N. Kuster: Assessment of EM Exposure of Energy-Saving Bulbs & Possible Mitigation Strategies; www.news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/18707.pdf (2010)
- [SSK 2001] Strahlenschutzkommission: Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; BAnz. Nr. 224 (2001)
- [SSK 2002] Strahlenschutzkommission: Schutz vor solarer UV-Strahlung an Arbeitsplätzen im Freien; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; Veröffentlichungen der SSK; Band 50; 143-145 (2003)
- [SSK 2003] Strahlenschutzkommission: Grundsätze für den Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder und Wellen; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; BAnz. Nr. 211 (2003)
- [SSK 2006] Strahlenschutzkommission: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; Veröffentlichungen der SSK; Band 61; 1-42 (2007)
- [SSK 2007] Strahlenschutzkommission: Schutz des Menschen vor solarer UV-Strahlung; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; BAnz. Nr. 98 (2007)
- [SSK 2007a] Strahlenschutzkommission: Grundsätze bei der Ableitung von Emissionsstandards bei gleichzeitig betriebenen Feldquellen; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; BAnz. Nr. 127 (2007)
- [SSK 2008] Strahlenschutzkommission: Nachhaltiger Schutz der Bevölkerung vor UV-Strahlung; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; BAnz. Nr. 12 (2008)
- [SSK 2008a] Strahlenschutzkommission: Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und -anwendung; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; BAnz. Nr. 142a (2008)



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

Moderne Lichtquellen

Wissenschaftliche Begründung zur
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 242. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 01./02. Juli 2010

1 Fragestellung

Die Ankündigung, dass in Zukunft die herkömmlichen Glühlampen nicht mehr in Geschäften zu kaufen sein werden, hat in der Bevölkerung zu einiger Verunsicherung geführt. Dabei wird auch immer wieder die Frage gestellt, ob die dann notwendigen "modernen Leuchtmittel", wie Kompaktleuchtstoff- und LED-Lampen, nicht zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen könnten. Dabei werden im Wesentlichen sowohl das von der Glühlampe abweichende optische Spektrum mit einem höheren Anteil an UV-Strahlung (100 nm bis 380 nm) und blauem Licht als auch eine zusätzliche Exposition durch elektromagnetische Felder als Grund für diese Besorgnisse angeführt.

Viele der "modernen Leuchtmittel" sind in verschiedenen Formen schon seit vielen Jahren auf dem Markt, und es gibt eine größere Anzahl von wissenschaftlichen Untersuchungen, die die möglichen nachteiligen biologischen Wirkungen durch diese Lampen zum Gegenstand hatten. So hat sich unter anderem das Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) im Auftrag der EU-Kommission damit beschäftigt und im Jahr 2008 dazu den Bericht "Light Sensitivity" [SCENIHR 2008] veröffentlicht. Andere Länder, wie z. B. Australien, haben schon vor einiger Zeit die Glühlampe verboten und sich in diesem Rahmen eingehend mit den möglichen gesundheitlichen Auswirkungen befasst [Equipment Energy Efficiency Committee 2008].

2 Rechtliche Grundlagen

Zur Verbesserung der Energieeffizienz hat die EU die Ökodesign - Richtlinie (2005/32/EG) [EG 2005] erlassen. Auf Grundlage dieser Richtlinie hat die EU Festlegungen für die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen in der EG-Verordnung 244/2009 [EG 2009] und für Nicht- Haushaltsbeleuchtung in der EG-Verordnung 245/2009 [EG 2009a] erlassen. Damit werden zeitlich gestaffelt Anforderungen an die Energieeffizienz von Lampen gestellt. Dabei werden gewisse Produkteigenschaften gefordert, die von den jeweiligen Lampen erbracht werden müssen. Ein wesentliches Kriterium ist dabei der pro elektrischer Leistung P (Watt) erzeugte Lichtstrom Φ (Lumen). Da die bis jetzt häufig verwendete Glühlampe die vorgegebenen Effizienzkriterien in der Regel nicht erfüllen kann, wird das Inverkehrbringen dieser wenig effizienten Lampen in mehreren Stufen in der gesamten EU verboten. Der Anfang wurde ab dem 1. September 2009 mit den Mattglaslampen mit mehr als 10 Watt und für alle Klarglasglühlampen ab 100 Watt gemacht. Diese Vorschrift gilt auch für Halogenglühlampen mit niedriger Effizienz.

Damit ergibt sich die Notwendigkeit, energieeffizientere Leuchtmittel einzusetzen. Leuchtstofflampen und LED-Lampen erfüllen in der Regel immer diese Effizienzanforderungen. Glühlampen mit Kryptonfüllung und Halogenglühlampen sind in ihrer Energieeffizienz besser als die Standardglühlampe, aber nicht alle werden in Zukunft die steigenden Anforderungen an die Effizienz erfüllen können.

Neben der Energieeffizienz stellt die EG-Verordnung 244/2009 auch Anforderungen an die Mindestlebensdauer sowie die Kennzeichnung von Lampen.

Mit dieser EG-Verordnung wurden auch UV-Emissionsgrenzwerte für Haushaltslampen verbindlich vorgegeben. Danach muss die UV-A- + UV-B-Strahlung kleiner gleich 2,0 mW/klm und die UV-C-Strahlung kleiner gleich 0,01 mW/klm sein. Damit sind in einer

weiteren staatlichen Vorschriften Grenzwerte, die auch für den Schutz von Personen vor nichtionisierender Strahlung relevant sind, festgelegt worden.

Diese EG-Verordnung regelt nur das Inverkehrbringen und nicht den Gebrauch dieser Lampen, somit können vorhandene Lampen auch weiter benutzt werden.

Alle Lampentypen müssen vom Hersteller vor dem Inverkehrbringen nach EU-weit einheitlichen CENELEC-Normen ([DIN 60064 2008], [DIN60357 2009], [DIN 60969 2001], [DIN 62471 2009]) geprüft werden. In der CENELEC Norm EN 50285 [DIN 50285 1999] wird beschrieben, wie der Lampenwirkungsgrad zu messen ist. In allen Mitgliedstaaten der EU muss die staatliche Marktüberwachung die Einhaltung dieser Anforderungen durch zufällig aus dem Markt gezogene Proben überprüfen.

3 Bauart, Betriebsweise und Eigenschaften von optischen Strahlungsquellen zur Beleuchtung in privaten Haushalten

Vorbemerkung

Im Folgenden werden die optischen Strahlungsquellen behandelt, die üblicherweise zur Beleuchtung von Räumen in privaten Haushalten eingesetzt werden. Dazu gehören Lampen in Deckenleuchten, Wandleuchten, Stehleuchten und Tischleuchten. Es werden Lampen behandelt, die ein weißes oder ein weißähnliches Licht erzeugen. Nicht behandelt werden Lampen für Fahrzeugbeleuchtung, Straßenbeleuchtung, Außenbeleuchtung, Signalleuchten, Anzeigen, Taschenlampen, farbiges Licht etc. Die Eigenschaften der Sonnenstrahlung werden ebenfalls dargestellt, da sie in Beleuchtungsfragen häufig zum Vergleich herangezogen werden.

Die Sonne



Abb. 1: Die Sonne ist ein sog. Schwarzer Strahler

Die Sonne ist ein so genannter Schwarzer - oder auch Planck'scher - Strahler. Nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz hängt die Stärke der Strahlenemission und ihre Verteilung auf verschiedene Wellenlängen (das Spektrum) dabei von der Temperatur des Körpers ab. Je höher die Temperatur ist, desto stärker ist die gesamte Strahlenemission und desto mehr verschiebt sich die maximale Strahlenintensität zu kürzeren Wellenlängen. An der Oberfläche hat die Sonne eine Temperatur von ca. 5.600 °C. Gemäß dem Planck'schen Strahlungsgesetz sendet sie dieser Temperatur entsprechende optische Strahlung, das heißt ultraviolette, sichtbare und infrarote Wellenlängen, aus.

Spektrum und Lichtfarbe

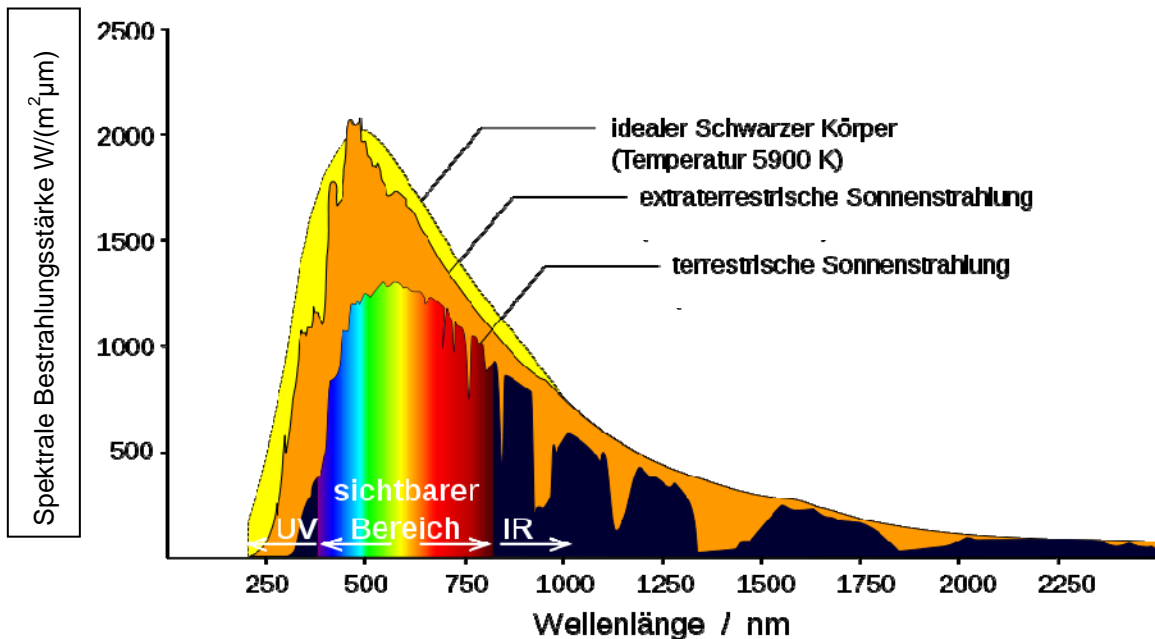


Abb. 2: Sonnenspektrum oberhalb der Erdatmosphäre und auf der Erdoberfläche. Zum Vergleich ist das Spektrum eines schwarzen Strahlers einer Temperatur von 5900 K (5600 °C) (a) gestrichelt eingezeichnet. Nach Wikipedia/Quilbert (abgeändert)

Abb. 2 zeigt das Sonnenspektrum oberhalb der Erdatmosphäre und auf dem Erdboden. Das Spektrum entspricht außerhalb der Atmosphäre demjenigen eines Schwarzen Strahlers einer Temperatur von ca. 5.600 °C. Durch Bestandteile der Luft in der Erdatmosphäre wie Ozon, Sauerstoff, Wasser und Kohlendioxid wird die Strahlung bei einzelnen Wellenlängen absorbiert und insgesamt geschwächt. Auf der Erdoberfläche kommt daher nur Strahlung mit Wellenlängen von größer als 290 nm an. Allerdings hängt das Sonnenspektrum auf der Erdoberfläche auch noch von anderen Faktoren ab, wie dem Sonnenstand über dem Horizont (abhängig von Tages- und Jahreszeit und geografischer Lage), dem Wetter, Luftverschmutzungen usw. Während die Sonne kurz nach ihrem Aufgang und kurz vor ihrem Untergang mehr rötlich aussieht, liegt das Maximum der Sonnenstrahlung auf der Erde bei hoch stehender Sonne bei etwa 550 nm bis 600 nm im gelb-grünen Bereich. Die Überlagerung aller Farbanteile lassen die Sonne dann weiß erscheinen. Die Farbtemperatur von Sonnenstrahlung liegt je nach Bewölkung bei etwa 5.500 – 5.800 K. Die Farbwiedergabe mit natürlichem Sonnenlicht wird als angenehm angesehen, da sie dem menschlichen Farbempfinden bei Tageslicht am besten entspricht.

Auf der Erdoberfläche (Meereshöhe / Äquator) erreicht die Bestrahlungsstärke im optischen Bereich der Sonnenstrahlung bei klarem Himmel und senkrecht stehender Sonne einen maximalen Wert von $E = 1.120 \text{ W/m}^2$ [FS 2006]. Davon entfallen auf den UV-Bereich 6 %, auf den sichtbaren Bereich 52 % und auf den IR-Bereich 42 %. Das Auge des Menschen ist sehr gut an die Sonnenstrahlung angepasst, so dass ein großer Anteil der Strahlung zum Sehen verwendet werden kann. Die Sonne hat also hinsichtlich der Emission von sichtbarer Strahlung zu Beleuchtungszwecken einen guten „Wirkungsgrad“.

3.1 Glühlampe



Abb. 3: Glühlampe

3.1.1 Funktionsweise

Eine Glühlampe kann als Schwarzer Strahler angesehen werden. Durch einen elektrischen Strom wird die Glühwendel im Inneren der Lampe erhitzt. Sie erreicht dabei je nach Bauart und Betriebsbedingungen eine Temperatur im Bereich von ca. 2.300 °C bis 2.900 °C. Da die Lebensdauer einer Glühlampe mit steigender Temperatur der Glühwendel stark abnimmt, werden die meisten Glühwendeln im unteren Teil des genannten Temperaturbereichs betrieben, häufig bis zu 2.400 °C.

Die wesentlichen Bestandteile einer Glühlampe sind der Sockel, der Glaskolben, die Glühwendel, die Gasfüllung und evtl. weitere Komponenten, wie ein Reflektor.

Der Glaskolben umschließt den inneren Teil der Glühlampe gasdicht und sorgt neben dem Sockel für die mechanische Stabilität. Er soll das Licht aus dem Inneren nach außen möglichst ungeschwächt durchlassen. Die Glühwendel besteht bei fast allen Glühlampen aus einem Wolframdraht. Wolfram ist gegenüber der hohen Temperatur recht widerstandsfähig. Trotzdem dampft Wolfram von der Wendel beim Betrieb der Glühlampe ab, so dass die Drahtstärke im Laufe der Zeit geringer wird und die Wendel schließlich bricht. Damit ist dann das Ende der Lebensdauer einer Glühlampe erreicht. Das abgedampfte Wolfram setzt sich innen am Glaskolben ab und schwächt das ausgesandte Licht. Auch oxidiert der Wolframdraht bei hohen Temperaturen leicht. Um dem entgegenzuwirken, werden Glühlampen entweder evakuiert oder mit einem Inertgas, wie Stickstoff, Argon, Krypton oder Xenon, mit einem Druck gefüllt, der im kalten Zustand etwas unter Atmosphärendruck liegt.

3.1.2 Spektrum, Lichtfarbe, Energieeffizienz

Das Emissionsspektrum einer Glühlampe ist kontinuierlich und entspricht in etwa dem eines Schwarzen Strahlers. Abb. 4 zeigt das Spektrum einer Glühlampe. Da die Temperatur einer Glühlampe wesentlich niedriger ist als die der Sonnenoberfläche, ist das Spektrum mehr in den langwelligen Bereich zum Infraroten hin verschoben. Bei einer Wendeltemperatur von 2.400 °C (ca. 2.700 K) werden weniger als 0,1 % im UV-Bereich, ca. 8,4 % im sichtbaren und 91,6 % der Strahlung im infraroten Strahlungsbereich emittiert. Das Maximum der Strahlenintensität liegt dabei im Infraroten bei ca. 1,1 µm. Der Wirkungsgrad einer Glühlampe zur Lichterzeugung ist daher gering. Der größte Anteil der eingesetzten elektrischen Energie wird zur Aussendung von Wärmestrahlung verbraucht, wodurch sich zudem die Glühlampe selbst

aufheizt und ihre Umgebung thermisch belastet. Nur ein kleiner Teil wird in sichtbares Licht umgesetzt. Die Lichtausbeute ist mit etwa 12 – 15 lm/W vergleichsweise gering und übliche Haushaltsglühlampen von 40 W bis 100 W fallen daher in den Bereich schlechter Energieeffizienzklassen (siehe Glossar).

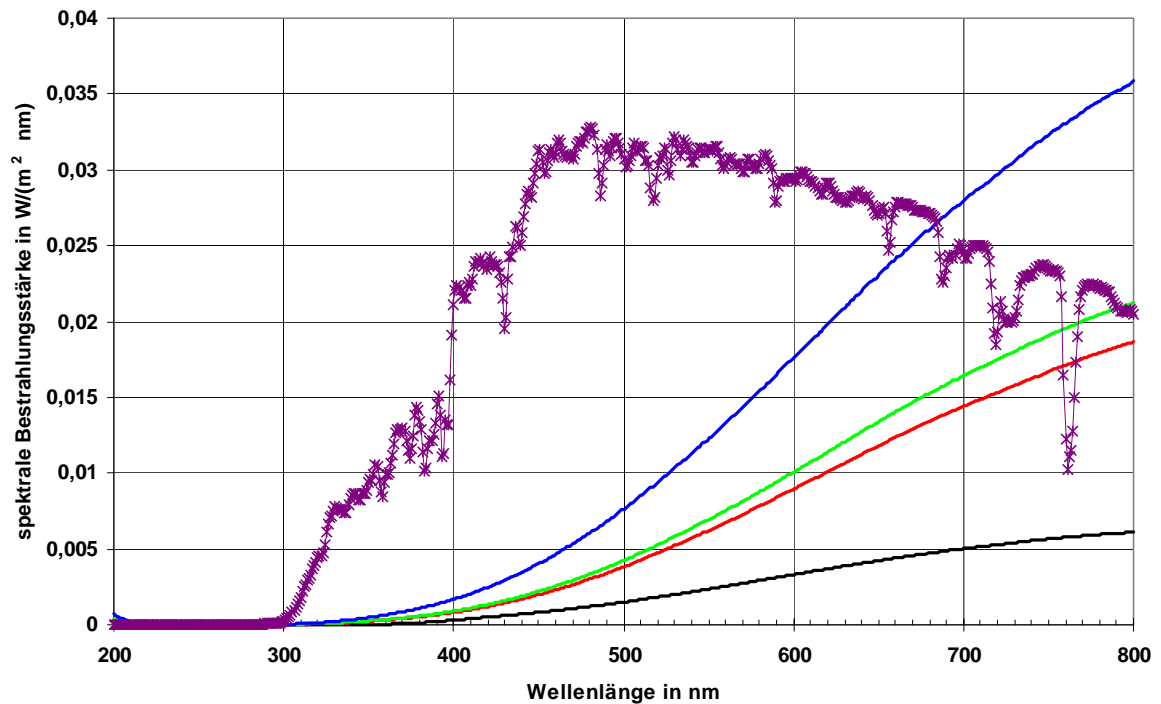


Abb. 4: *Optische Spektren verschiedener Glühlampen, gemessen in 30 cm Abstand (siehe Tabelle 2): Halogenglühlampe 42 W (a, Nr. 1 in Tabelle 2), Glühlampe 60 W klar (b, Nr. 14), Glühlampe 60 W matt (c, Nr. 15), Glühlampe 100 W matt (d, Nr. 16). Als Referenz ist ein in der Intensität angepasstes Sonnenspektrum (2. Juli 2008 um 13:30 Uhr beim Sonnenhöchststand (62,3° über dem Horizont) in Sankt Augustin bei wolkenlosem Himmel) mit eingefügt*

Das Licht einer Glühlampe enthält mehr rötliche Anteile und erscheint dem Menschen daher „wärmer“ als weißes Sonnenlicht. Man spricht bei diesem Farbeindruck auch von „warmweiß“. Es wird als beruhigend und angenehm empfunden. Die Farbtemperaturen liegen im Bereich von 2.200 K (40 Watt-Glühlampe) bis 2.800 K (100 W Glühlampe). Die Farbwiedergabe bei Glühlampenlicht ist gut, weil das Spektrum kontinuierlich ist und damit alle Farben enthält.

3.1.3 Anwendungen

Seit ihrer Erfindung wird die Glühlampe zur Beleuchtung eingesetzt. Die Strahlenexposition, die auf eine Person durch eine Glühlampe einwirkt, hängt u. a. vom Abstand zur Glühlampe ab. In der Regel gilt dabei das quadratische Abstandsgesetz.

3.1.4 Emissionen und Gefährdungen

Die sichtbaren Anteile des Glühlampenlichtes können zu einer **Blendung** (siehe [SSK 2006]) führen. Häufig sind die Glaskolben von Glühlampen mattiert, um die Lichtemission der Glühwendel auf eine größere Fläche zu verteilen und damit die Blendungsgefahr herabzusetzen.

Die starke Emission von Infrarotstrahlung führt dazu, dass sowohl die Glühlampe selbst als auch Gegenstände in ihrer Nähe erhitzt werden. Es besteht also eine **Verbrennungsgefahr**, wenn Körperteile des Menschen in die Nähe einer Glühlampe kommen. Durch die Wärmestrahlung können Augen- und Hautverbrennungen auftreten, durch eine Berührung kann es zu einer direkten Hautverbrennung kommen.

Außer der Verbrennungsgefahr für Personen kann eine Glühlampe auch eine Brand- und Explosionsgefahr für Flüssigkeiten und Dämpfe bedeuten, wenn diese brennbar sind und zu dicht an die Quelle herangebracht werden.

Eine Glühlampe emittiert nur sehr geringe Mengen an UV-Strahlung. Der Glaskolben absorbiert davon die gefährlichen UV-C- und UV-B-Anteile vollständig und schwächt den UV-A-Anteil.

3.2 Halogenglühlampe

3.2.1 Funktionsweise



Abb. 5: Halogenglühlampen

Halogenglühlampen funktionieren ähnlich wie Glühlampen. Das Füllgas enthält zusätzlich geringe Mengen eines Halogens, der Glaskolben besteht aus widerstandsfähigem Quarz- oder Hartglas und die Temperatur der Glühwendel liegt im Vergleich zur normalen Glühlampe höher. Als Halogene werden Jod, Brom oder Chlor verwendet, seltener Fluor. Durch eine chemische Reaktion verbindet sich das Halogen mit dem verdampften Wolfram der Glühwendel und verhindert einen Niederschlag von Wolframatomen an der Innenseite des Glaskolbens. Zusammen mit der höheren Temperatur der Glühwendel führt das zu einer höheren Lichtausbeute. Außerdem können Halogenglühlampen wesentlich kleiner gebaut werden als normale Glühlampen. Damit erweitert sich auch ihr Einsatzbereich.

3.2.2 Spektrum, Lichtfarbe, Energieeffizienz

Halogenglühlampen werden in der Regel bei einer Wendeltemperatur von ca. 2.700 °C (ca. 3.000 K) betrieben. Nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz wird optische Strahlung daher zu 0,13 % im ultravioletten, zu 12,7 % im sichtbaren und zu 87,2 % im infraroten Wellenlängenbereich emittiert. Die Effizienz einer Halogenglühlampe zur Lichterzeugung ist daher im Vergleich zur normalen Glühlampe höher. Eine weitere Steigerung der Effizienz kann durch verschiedene Maßnahmen erreicht werden. Dazu gehört z. B. die Beschichtung der Kolbeninnenfläche mit einer Schicht, die IR-Strahlung auf die Glühwendel zurück reflektiert und dort zu einer Temperaturerhöhung führt. So kann man insgesamt die Effizienz

einer Halogenglühlampe gegenüber einer normalen Glühlampe steigern. Allerdings wird auch bei ihr der größte Teil der eingesetzten elektrischen Leistung zur Erzeugung von Wärmestrahlung und damit zur Aufheizung der Lampe und ihrer Umgebung verbraucht. Ihr Wirkungsgrad zur Lichterzeugung ist also ebenfalls gering. Die Lichtausbeute liegt bei ca. 17 – 25 lm/W. Damit fallen Halogenglühlampen zwar in bessere Energieeffizienzklassen als Glühlampen, aber noch nicht in die beste.

Das Spektrum von Halogenglühlampen gleicht demjenigen von normalen Glühlampen (siehe Abb. 4). Wegen der höheren Temperatur der Glühwendel wird die Farbe als etwas weniger rötlich und etwas weniger warm wahrgenommen als bei einer normalen Glühlampe. Die Halogenglühlampe wird auch als heller wahrgenommen als eine vergleichbare Normalglühlampe. Die Farbtemperatur liegt bei 3.000 bis 3.200 K. Die Farbwiedergabe ist gut, weil das Spektrum ähnlich demjenigen der normalen Glühlampe ist.

3.2.3 Anwendungen

Halogenglühlampen werden zur Beleuchtung in den gleichen Bereichen wie normale Glühlampen eingesetzt, daher finden sich auch ähnliche Abstände zwischen Lampen und Personen wie bei Glühlampen.

3.2.4 Emissionen und Gefahren

Wie bei normalen Glühlampen können durch Halogenglühlampen Gefahren durch **Blendung** und **Verbrennungsrisiko** auftreten. Wegen der höheren Helligkeit ist die Blendungsgefahr sogar höher als bei normalen Glühlampen. Der direkte Blick in Halogenglühlampen sollte daher vermieden oder durch konstruktive Mittel unterbunden werden.

Das bei Halogenglühlampen für den Kolben verwendete Quarz- bzw. Hartglas hat die Eigenschaft, dass es UV-Strahlung nicht nur im UV-A-, sondern auch im UV-B- und UV-C-Bereich durchlässt. Da außerdem die Wendeltemperatur höher ist als bei einer normalen Glühlampe, wird UV-C-, UV-B- und UV-A-Strahlung von einer Halogenglühlampe in einer relativ größeren Intensität emittiert. Um die UV-Strahlenemission zu reduzieren, hat man daher zunächst in den Leuchten vor den eigentlichen Halogenglühlampen UV-absorbierende Filterscheiben angebracht. Heute wird das Quarzglas des Kolbens selbst mit UV-absorbierenden Stoffen dotiert. Halogenlampen, die so gebaut sind, werden mit der Bezeichnung „UV-Stop“ gekennzeichnet. Ihre UV-Emission ist gering und für sie wird daher keine zusätzliche UV-Filterscheibe benötigt. Sofern beim Erwerb von Halogenglühlampen auf UV-Stop geachtet wird, ist nur mit geringer UV-Strahlung zu rechnen.

3.3 Leuchtstofflampe

3.3.1 Funktionsweise

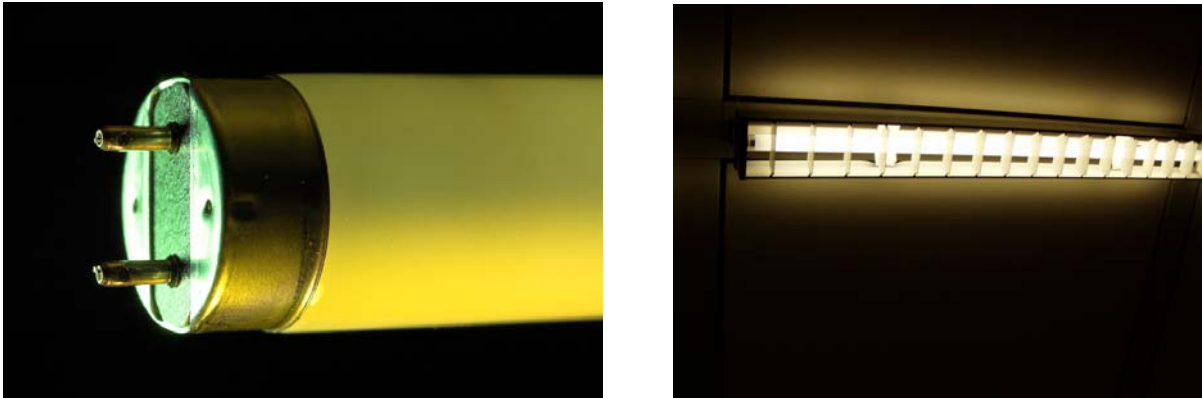


Abb. 6: Leuchtstofflampen

Eine Leuchtstofflampe besteht aus einem gasdicht abgeschlossenen Glasrohr, das mit einer Gasmischung gefüllt ist. Die Gasmischung besteht meist aus einem Grundgas und Quecksilberdampf. An beiden Enden befinden sich außen die elektrischen Anschlüsse und im Glasrohr je eine Elektrode und eine Glühwendel. Beim Betrieb von Leuchtstofflampen wird eine Gasentladung gezündet und aufrechterhalten, die zur Erzeugung von UV-Strahlung im Inneren führt. Die erzeugte UV-Strahlung wird durch Leuchtstoffe an der Innenseite der Lampe durch Fluoreszenz in sichtbares Licht umgewandelt. Das Glas wirkt in der Regel gleichzeitig als Filter für UV-Strahlung.

3.3.2 Spektrum, Lichtfarbe, Energieeffizienz

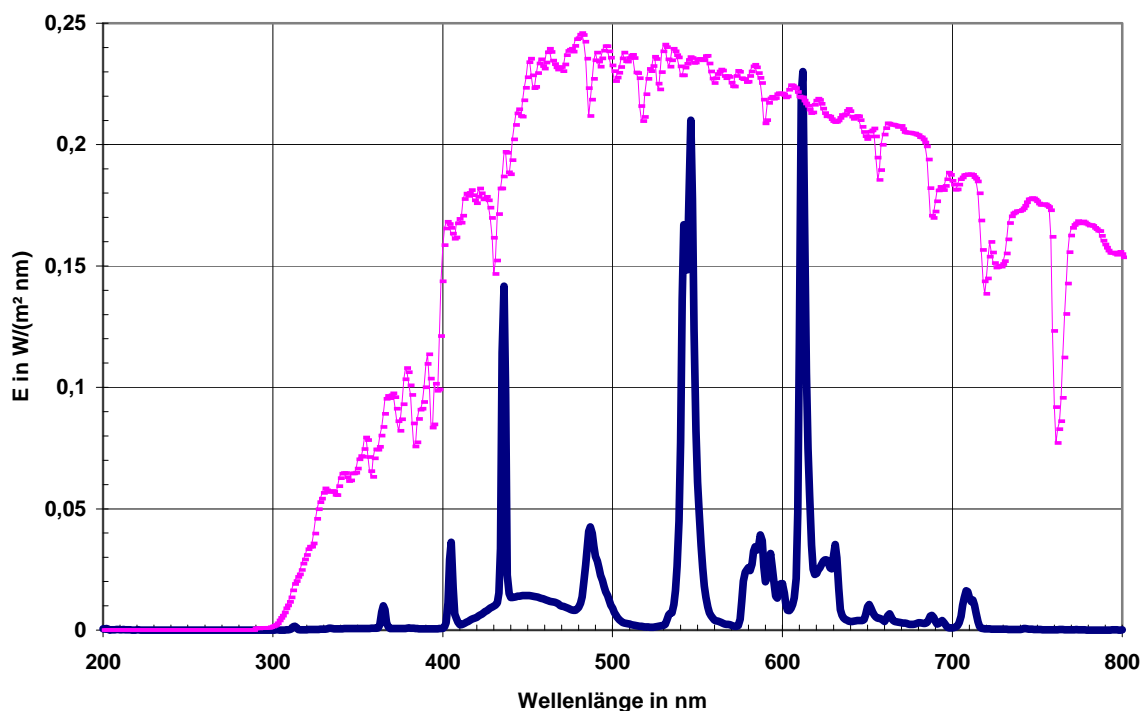


Abb. 7: Strahlungs-Spektrum am Beispiel einer 3-Banden-Leuchtstofflampe Als Referenz ist ein in der Intensität angepasstes Sonnenspektrum (2. Juli 2008 um 13:30 Uhr beim Sonnenhöchststand ($62,3^\circ$ über dem Horizont) in Sankt Augustin bei wolkenlosem Himmel) mit eingefügt

Das Spektrum von Leuchtstofflampen zeigt eine Überlagerung von kontinuierlichen Anteilen und einzelnen Spektrallinien. Durch verschiedene Leuchtstoffe und durch die Mischung verschiedener Leuchtstoffe lässt sich das Emissionsspektrum in weiten Bereichen variieren, so dass verschiedene Lichtfarben erzeugt werden können. Dazu gehört weiß in verschiedenen Warmtönen. Zur Erzeugung weißer Lichtfarbe wird heute in der Regel das 3-Banden-Prinzip verwendet. Dabei werden spektrale Anteile im blauen, grünen und roten Bereich so gemischt, dass ein gewünschter weißer Farbeindruck entsteht. Eine weitere Verfeinerung ist durch 4- und 5-Banden-Lampen möglich. Leuchtstofflampen werden in warmweiß (Farbtemperatur unter 3.300 K), neutralweiß (Farbtemperatur 3.300 bis 5.300 K) und tageslichtweiß (Farbtemperatur über 5.300 K), sowie in vielen Zwischenstufen je nach Verwendung angeboten (siehe Glossar).

Der Wirkungsgrad von Leuchtstofflampen ist wesentlich größer als der von Glühlampen und Halogenglühlampen. Damit ist auch die Lichtausbeute um ein Mehrfaches höher. Sie liegt bei Leuchtstofflampen im Bereich von ca. 50 bis 70 lm/W. Sie fallen damit in die besten Energieeffizienzklassen B und A.

3.3.3 Anwendungen

Leuchtstofflampen werden zur Beleuchtung von Büroräumen und in Industriegebäuden eingesetzt. Sie werden aber auch in Wohngebäuden verwendet, z. B. in Küchen, Badezimmern, Fluren, Kellerräumen etc.

Der Abstand zwischen einer Leuchtstofflampe und Personen variiert im normalen Gebrauch von ca. 30 – 50 cm bei Schreibtischleuchten bis zu etwa 1 - 4 m bei Raumleuchten.

3.3.4 Emissionen und Gefährdungen

Das **Blendungspotenzial** ist bei Leuchtstofflampen **geringer** als bei Glühlampen und Halogenglühlampen, da die Lichtemission durch das mattierte Glasrohr auf eine größere Fläche verteilt wird und damit die Leuchtdichte geringer ist. Der direkte Blick in eine längliche Leuchtstofflampe wird bei weitem nicht als so unangenehm empfunden, wie z. B. der Blick in eine kleinvolumige Halogenglühlampe.

Ein **Verbrennungsrisiko** ist **nicht vorhanden**, da die Oberflächentemperaturen von Leuchtstofflampen nur im Bereich von ca. 35 – 40 °C liegen. Eine Berührung wird zwar als warm empfunden, aber nicht als gefährlich heiß.

Da im Inneren von Leuchtstofflampen UV-Strahlung erzeugt wird, muss der UV-Anteil der emittierten Strahlung herausgefiltert werden. Dies geschieht durch den Leuchtstoff selbst und durch das Glas der Röhre. Damit werden die gefährlichen UV-C- und UV-B-Anteile fast vollständig herausgefiltert. Es wird jedoch noch ein geringer Anteil an UV-A-Strahlung von Leuchtstofflampen emittiert. In direkter Nähe von 3 cm zu einer Leuchtstofflampe können bei stundenlangem Aufenthalt die Expositionsgrenzwerte für UV-Strahlung überschritten werden. In einem Abstand von 30 cm ist die UV-Exposition schon wesentlich geringer (mehr als ein Faktor 10), und es dauert 15 Stunden und länger bis zu einer Überschreitung der Grenzwerte. Bei den üblichen Anwendungen von Leuchtstofflampen zur Beleuchtung liegen die Abstände zwischen Leuchtstofflampen und Personen praktisch immer bei mindestens 30 cm und größer, wobei geringe Abstände von 30 cm nicht stundenlang vorkommen.

Da Leuchtstofflampen in der Regel **Quecksilber** enthalten, müssen sie zur Entsorgung zum Sondermüll gegeben werden. Zerbricht der Glaskolben einer Leuchtstofflampe, kann Quecksilberdampf freigesetzt werden.

3.4 Kompakt-Leuchtstofflampe (so genannte Energiesparlampe)

3.4.1 Funktionsweise



Abb. 8: Kompakt-Leuchtstofflampen

Kompakt-Leuchtstofflampen gehören zu den Quecksilber-Niederdruck-Gasentladungslampen, in deren Inneren UV-Strahlung in einem Gasplasma erzeugt und durch eine Leuchtstoffschicht in sichtbares Licht umgewandelt wird. Die Glasröhre ist jedoch kürzer als bei den klassischen Leuchtstofflampen und ein- oder mehrfach gebogen oder als Wendel ausgeführt (Abb. 8). Die Länge von Kompaktleuchtstofflampen ist nicht viel größer als die herkömmlicher Glühlampen. Sie können ohne Vorschaltgerät als Ersatz für 230 V-Glühlampen in entsprechende Fassungen (E 14 bzw. E 27) eingesetzt werden. Da Kompakt-Leuchtstofflampen eine ähnliche Lichtausbeute wie klassische Leuchtstofflampen haben, vermindern sie den Energieverbrauch gegenüber Glühlampen erheblich. Bei Einhaltung der Vorgaben der EU-Richtlinie haben sie eine deutlich höhere Lebensdauer als Glühlampen und werden daher oft als Energiesparlampen bezeichnet.

Kompakt-Leuchtstofflampen werden mit externen oder mit internen Elektronikbauteilen betrieben. Viele Kompakt-Leuchtstofflampen benötigen keine externen Elektronikbauteile, wie sie bei Leuchtstofflampen gebraucht werden, weil sich in ihrem Schraubsockel bereits die Elektronik, die zum Starten der Lampe und zur Aufrechterhaltung der Entladung benötigt wird, befindet. Die Elektroden, die zur Gasentladung gebraucht werden, befinden sich an den Endseiten der gebogenen Glasröhren.

Die Lichtausbeute von Kompakt-Leuchtstofflampen ist stark von der Umgebungs-Temperatur abhängig. Der ideale Temperaturbereich liegt zwischen 20 °C und 30 °C. Bei niedrigeren und bei höheren Temperaturen nimmt die Lichtausbeute ab. Außerdem sinkt die Lebensdauer sowohl bei niedrigeren als auch bei höheren Umgebungs- bzw. Gebrauchstemperaturen. Auch Kompakt-Leuchtstofflampen brauchen einige Zeit, um nach dem Zünden die volle Endhelligkeit zu erreichen.

3.4.2 Spektrum, Lichtfarbe, Energieeffizienz

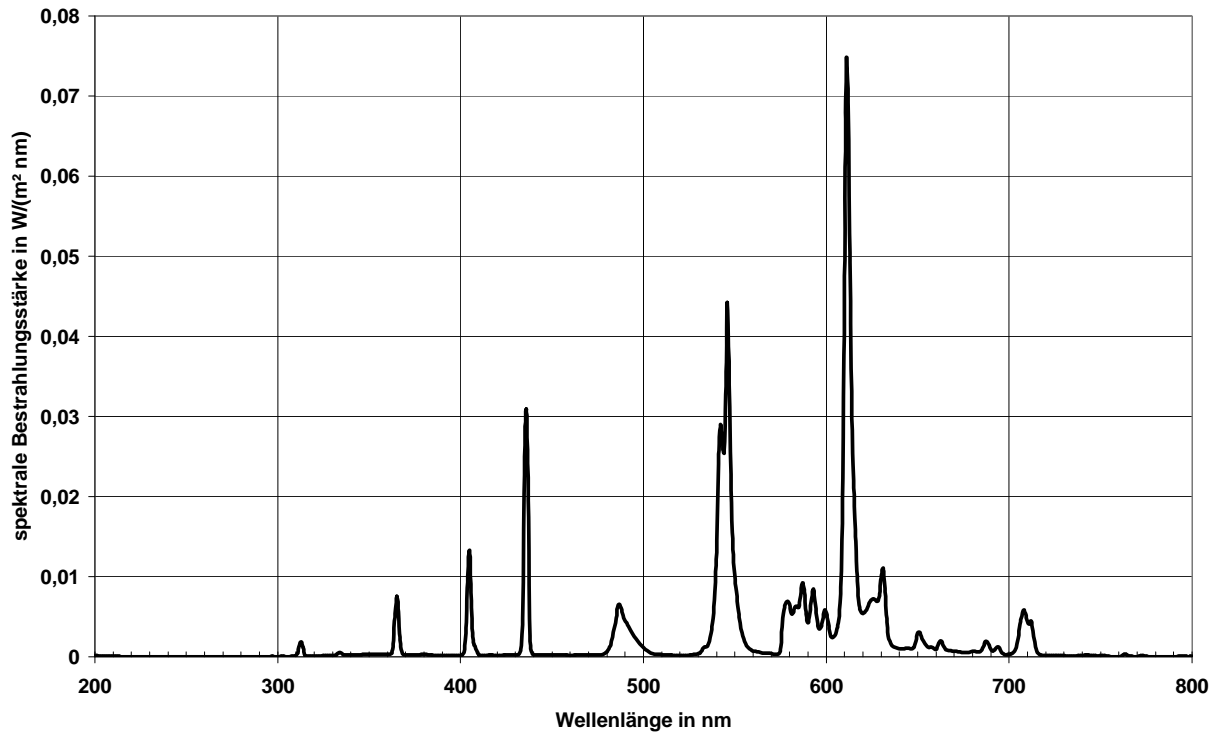


Abb. 9 a: Spektrum einer spiralförmigen Kompakt-Leuchtstofflampe (Nr. 9 in Tabelle 2)

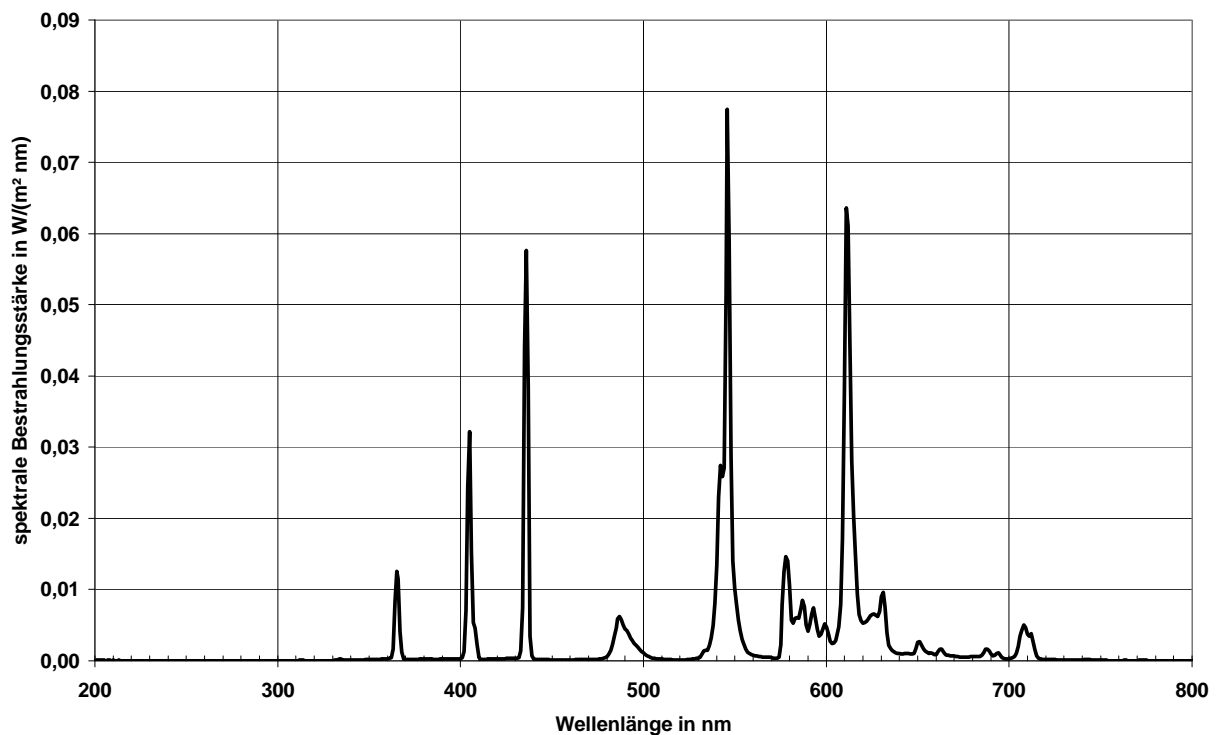


Abb. 9 b: Spektrum einer globeförmigen Kompakt-Leuchtstofflampe (Nr. 4 in Tabelle 2). Durch den zusätzlichen Glaskolben wird Strahlung unter ca. 350 nm Wellenlänge absorbiert (vergleiche Abb. 9 a).

Wie bei Leuchtstofflampen zeigt das Spektrum von Kompakt-Leuchtstofflampen eine Überlagerung von kontinuierlichen Anteilen und einzelnen Spektrallinien. Auch bei Kompakt-Leuchtstofflampen kann durch die Mischung verschiedener Leuchtstoffe das Emissionsspektrum in weiten Bereichen variiert werden, und es können so verschiedene Lichtfarben erzeugt werden. Dazu gehört auch weiß in verschiedenen Warmtönen, z. B. als warmweiß (Farbtemperatur unter 3.300 K), neutralweiß (Farbtemperatur 3.300 bis 5.300 K) und tageslichtweiß (Farbtemperatur über 5.300 K), sowie in vielen Zwischenstufen. Kompakt-Leuchtstofflampen können daher zur Beleuchtung in den verschiedensten Anwendungsbereichen verwendet werden.

Der Wirkungsgrad von Kompakt-Leuchtstofflampen ist wesentlich größer als der von Glühlampen und Halogenleuchtstofflampen. Damit ist auch die Lichtausbeute um ein Mehrfaches höher. Sie liegt bei Kompakt-Leuchtstofflampen im Bereich von ca. 65 lm/W. Kompakt-Leuchtstofflampen fallen damit in die beste Energieeffizienzklasse A.

3.4.3 Anwendungen

Kompakt-Leuchtstofflampen werden dort eingesetzt, wo längliche Leuchtstofflampen aufgrund ihrer Bauform weniger geeignet sind, z. B. in Außen-Wandleuchten von Privathäusern. Sie werden aber auch immer häufiger als Ersatz von Glühlampen zur Beleuchtung von Wohnräumen verwendet. Das betrifft sowohl Räume wie Küchen, Badezimmer, Flure und Kellerräume, aber zunehmend auch Wohnzimmer, Schlafzimmer und Kinderzimmer. Lampen-Typen mit der Farbnummer 827 (siehe Glossar) sind verfügbar. Sie erzeugen ein glühlampenähnliches Licht mit guter Farbwiedergabe und guter Lichtausbeute. Dennoch unterliegt die Verwendung von Kompakt-Leuchtstofflampen sehr stark dem persönlichen Geschmack. Insbesondere im Hinblick auf die Lichtfarbe werden häufig immer noch Glühlampen und Halogenleuchtstofflampen vorgezogen, wenn eine „wärmere“ Lichtfarbe gewünscht wird.

Der Abstand zwischen einer Kompakt-Leuchtstofflampe und Personen variiert im normalen Gebrauch von ca. 30 – 50 cm bei Schreibtischleuchten und bis zu etwa 3 – 4 m bei Raumleuchten.

3.4.4 Emissionen und Gefährdungen

Das **Blendungspotenzial** ist bei Kompakt-Leuchtstofflampen ähnlich wie bei Mattglasglühlampen. Sie können stärker blenden als klassische Leuchtstofflampen, da die Lichtemission auf eine kleinere Fläche verteilt und damit die Leuchtdichte höher ist.

Ein **Verbrennungsrisiko** ist **nicht vorhanden**, da die Oberflächentemperaturen von Kompakt-Leuchtstofflampen nur im Bereich von ca. 35 – 40 °C liegen. Eine Berührung wird zwar als warm empfunden, aber nicht als gefährlich heiß.

Da im Inneren von Kompakt-Leuchtstofflampen UV-Strahlung erzeugt wird, muss der UV-Anteil der emittierten Strahlung herausgefiltert werden. Dies geschieht durch den Leuchtstoff selbst und durch das Glas der Röhre. Damit werden die gefährlichen UV-C- und UV-B-Anteile fast vollständig herausgefiltert. Es wird jedoch noch ein geringer Anteil an UV-A-Strahlung von Kompakt-Leuchtstofflampen emittiert. In direkter Nähe von 3 cm zu einer Kompakt-Leuchtstofflampe können bei stundenlangem Aufenthalt die Expositionsgrenzwerte für UV-Strahlung für die Augen und die Haut erreicht und überschritten werden. Aber bereits in 30 cm Abstand zu einer Kompakt-Leuchtstofflampe werden diese Grenzwerte auch bei tagelanger Exposition nie überschritten. Bei den üblichen Anwendungen liegen die Abstände

zwischen Kompakt-Leuchtstofflampen und Personen praktisch immer bei 30 cm und größer (siehe auch [Khazova und O’Hagen 2008]).

Es gibt unterschiedliche Bauformen von Kompakt-Leuchtstofflampen (siehe Abb. 8), wobei sich die doppelwandigen Ausführungen in der Regel durch noch geringere UV-Emissionen auszeichnen [HPA 2009].

Da Kompakt-Leuchtstofflampen **Quecksilber** enthalten, müssen sie zur Entsorgung zum Sondermüll gegeben werden.

3.5 LED, Licht emittierende Dioden

3.5.1 Funktionsweise



Abb. 10: Licht emittierende Dioden zur Verwendung in und als Lampen zur Beleuchtung

Licht emittierende Dioden (auch Leuchtdioden oder abgekürzt LED genannt) funktionieren nach anderen physikalischen Prinzipien als Glühlampen und Leuchtstofflampen. LEDs sind elektronische Halbleiter-Bauelemente, in denen der Halbleiter als Diode fungiert. Nach Anlegen einer äußeren elektrischen Spannung in Durchlassrichtung wird ein elektrischer Strom erzeugt und in dem mit Fremdatomen dotierten Halbleiter direkt in Licht umgesetzt.

3.5.2 Spektrum, Lichtfarbe, Energieeffizienz

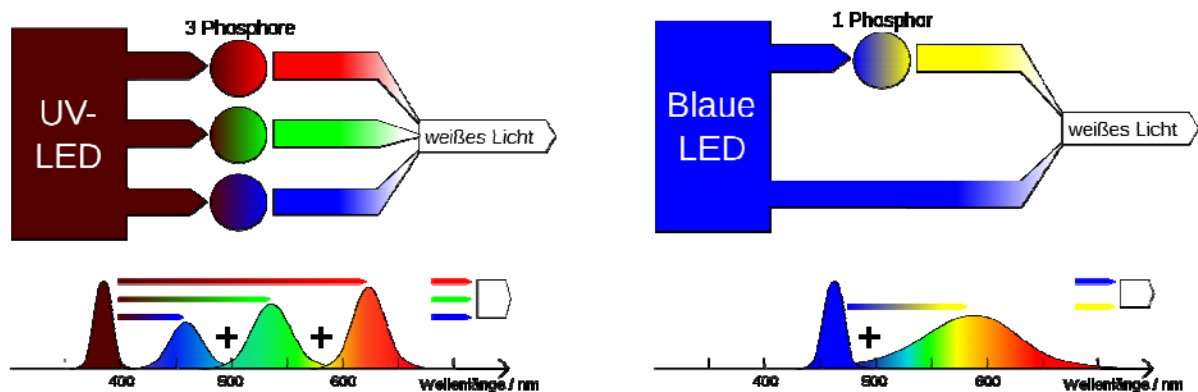


Abb. 11: Prinzipien zur Erzeugung von weißem Licht mittels einer UV-LED und 3 verschiedenen Leuchtstoffen (Phosphore) oder mit einer blau-emittierenden LED und Konversion in einer Leuchtschicht (Phosphor)

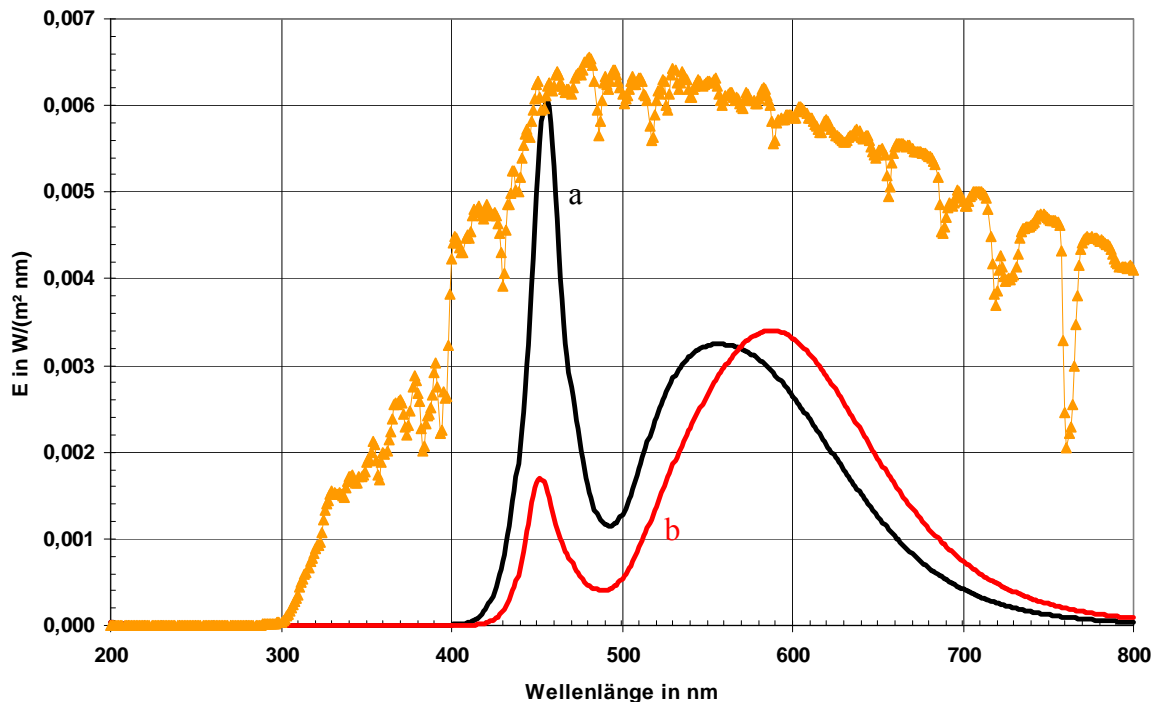


Abb. 12: Spektren einer tageslichtweißen LED (a, Nr. 17 in Tabelle 2) und einer warmweißen LED (b, Nr. 18 in Tabelle 2). Als Referenz ist ein in der Intensität angepasstes Sonnenspektrum (2. Juli 2008 um 13:30 Uhr beim Sonnenhöchststand ($62,3^\circ$ über dem Horizont) in Sankt Augustin bei wolkenlosem Himmel) mit eingefügt

LEDs selber emittieren ihre Strahlung in einem schmalbandigen Spektralbereich. Das Licht ist nahezu monochrom, d. h. einfarbig. LEDs konnten lange Zeit nicht in allen Lichtfarben hergestellt werden. Sie wurden daher in der Vergangenheit vor allem als rote und grüne Signallampen eingesetzt. Seit 1995 ist es technisch möglich, auch blau strahlende LEDs herzustellen, die wiederum zur Erzeugung weißen Lichtes verwendet werden (Abb. 11, rechts). Damit erweiterte sich der Anwendungsbereich von LEDs wesentlich.

Um weißes Licht mit LEDs zu erzeugen, kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz:

- Es werden LEDs verschiedener Farben, z. B. rot, grün und blau (RGB), so kombiniert, dass sich ihr Licht mischt und als weiß erscheint. Die LEDs müssen dazu räumlich dicht beieinander liegen; in der Regel werden verschiedenfarbige LEDs-Chips in einem Bauteil integriert.
- Eine LED wird mit lumineszierendem Material (Fluoreszenzfarbstoff, Leuchtstoff) kombiniert. Dies kann eine blaue- oder UV-LED sein, die mit mehreren Leuchtstoffen (rot, grün, blau) kombiniert wird. Für Beleuchtungszwecke wird heute aber fast immer eine blaue Leuchtdiode mit einem einzigen gelben Farbstoff verwendet.

OLEDs (organische Leuchtdioden) sind zurzeit noch in der Entwicklung, erreichen aber schon Lichtausbeuten von bis zu 32 lm/W. Die heutigen OLEDs haben noch Probleme mit der Lebensdauer. Es ist aber abzusehen, dass sie in Zukunft auch bei der Raumbeleuchtung, z. B. als leuchtende Tapete, eingesetzt werden.

Die Farbwiedergabeeigenschaften weißer LEDs werden als gut angesehen, der Farbwiedergabeindex (siehe Glossar) liegt im Bereich von $R_a = 90$. Die Verwendung geeigneter dotierter und mehrerer Farbstoffe verbessert die Farbwiedergabe, verteuert aber die Herstellung. Es gibt weiße LEDs in verschiedenen Farbtemperaturen von „warmweiß“ (Farbtemperatur 2.700 – 3.000 K) bis „kaltweiß“ (Farbtemperatur 5.500 – 6.000 K).

Während LEDs früher vor allem in einer kleinen Bauform als Signallampen verwendet wurden, sind LEDs heute sowohl in großflächiger Arrayanordnung zu finden als auch als Einschraublampen in Konkurrenz zu herkömmlichen Glühlampen. Dies macht die Verwendung von LEDs für die Raumbeleuchtung attraktiv, da sie in die Fassungen vorhandener Lampen eingesetzt werden können.

LEDs haben eine sehr lange Lebensdauer, die diejenige anderer Lampentypen erheblich übertrifft. Auch bei einem höheren Preis ist der Einsatz von LEDs zu Beleuchtungszwecken daher interessant.

Der Wirkungsgrad von Leuchtdioden ist wesentlich größer als der von Glühlampen und Halogenglühlampen. Auch die Lichtausbeute ist höher, zum Teil um ein Mehrfaches. Sie liegt heute bei käuflich erwerblichen LEDs im Bereich von 30 – 80 lm/W. LEDs mit hoher Lichtausbeute fallen damit in die beste Energieeffizienzklasse A. Im Entwicklungsstadium wurden auch bereits Lichtausbeuten von über 100 lm/W erreicht. Es ist damit zu rechnen, dass auch die Effizienz von marktgängigen LEDs in Zukunft weiter gesteigert wird. Sie werden möglicherweise einmal Kompakt-Leuchtstofflampen in der Funktion als „Energiesparlampen“ ablösen.

3.5.3 Anwendungen

Früher wurden LEDs vor allem als rote und grüne Signallampen verwendet. Heute ist ihr Anwendungsbereich überaus vielfältig: von Bremslichtern von Kfz über Lichtquellen in Ampeln, als Laufschriften, in Taschenlampen, als Fahrradlampen, bis zur Hintergrundbeleuchtung in Bildschirmen, sowie insbesondere in Displays für Mobilfunkgeräte und vielem anderen mehr. Da einzelne LEDs sehr klein sind, werden häufig mehrere oder viele LEDs zu sog. Arrays kombiniert, um eine Lichtemission von einer größeren Fläche aus zu ermöglichen.

Auch in LEDs, die in Glühlampenform zur Raumbeleuchtung angeboten werden, sind mehrere LEDs enthalten. Diese Lampen haben einen Schraubsockel, z. B. E 27, und können in Leuchten eingesetzt werden, die ursprünglich für den Einsatz von Glühlampen vorgesehen waren. Im Schraubsockel befinden sich die elektronischen Bauteile, die zum Betrieb der LEDs benötigt werden. Glühlampenförmige LED-Lampen können zur Raumbeleuchtung verwendet werden, wenngleich ihr Einsatz aufgrund des hohen Preises und der häufig geringen Helligkeit der Lampen für diesen Zweck noch begrenzt ist. Es ist aber damit zu rechnen, dass der Einsatz von LEDs zur Raumbeleuchtung mit weitergehender technischer Entwicklung zunehmen wird. Im Prinzip können sie überall da eingesetzt werden, wo heute Glühlampen und Halogenglühlampen zur Beleuchtung verwendet werden, also auch in Wohnräumen, wie Wohnzimmer, Schlafzimmer, Kinderzimmer, Küchen, Badezimmer, Flure, Kellerräume usw. Da sie in verschiedenen Farbtemperaturen erhältlich sind, kann die für den jeweiligen Raum passende weiße Lichtfarbe ausgewählt werden.

Bei LEDs zur Beleuchtung variiert der Abstand zu Personen im normalen Gebrauch von ca. 30 – 50 cm bei Schreibtischleuchten bis zu etwa 1- 4 m bei Raumleuchten.

3.5.4 Emissionen und Gefährdungen

Das Blendungspotenzial von LEDs ist je nach Bauform und Anwendungsbereich sehr unterschiedlich. Es gibt LEDs, z. B. für Taschenlampen, die extrem stark blenden und beim freiwilligen längeren direkten Blick in die Strahlung sogar gefährlich für das Auge sein können. Dagegen erscheinen LEDs zur Raumbelichtung in Glühlampenform sehr viel weniger hell, da ihre Leuchtdichte viel geringer ist. Vom Blendungsempfinden sind sie etwa mit mattierten Glühlampen zu vergleichen. Je nach elektrischer Leistung wird die **Blendung** als **geringer oder größer** empfunden [Reidenbach et al. 2008], [Reidenbach 2009].

Die Temperatur des Glaskolbens von LED-Lampen in Glühlampenform liegt nur wenig über der Umgebungslufttemperatur, also in einem Wohnraum im Bereich zwischen etwa 25 °C und 30 °C. Der Sockel der Lampe, der elektronische Bauteile enthält, kann dagegen bis etwa 50 °C heiß werden. Die Wärme wird über einen Kühlkörper abgeführt. Da bei der Berührung des Kühlkörpers ein Wärmeempfinden auftritt und der Kontakt dann wieder schnell beendet wird, ist nur ein **sehr geringes Verbrennungsrisiko** vorhanden.

Die UV-Emissionen weißer LEDs mit Schraubsockel zur Raumbelichtung sind äußerst gering. Weder direkt an einer solchen LED, d. h. im Abstand von 3 cm, noch weiter weg sind nennenswerte UV-Emissionen festzustellen. In allen Abständen bis herunter zu 3 cm werden die UV-Expositionsgrenzwerte für Augen und Haut nie überschritten.

LED-Lampen zur Beleuchtung enthalten **keine gefährlichen Gase oder Dämpfe**. Sie können zur Entsorgung in den normalen Hausmüll gegeben werden. Bei einer weiteren Verbreitung solcher Lampen sollte das Entsorgungskonzept jedoch noch einmal überdacht werden. Die Lampen enthalten im Inneren elektronische Bauteile, die aus einer Vielzahl verschiedener Materialien bestehen. Ein Recycling dieser Materialien könnte evtl. sinnvoll sein.

4 Elektrische und magnetische Emissionen

Kompaktleuchtstofflampen (KLL) erzeugen elektrische und magnetische Felder sowohl mit 50 Hz- Netzfrequenz als auch mit einer Betriebsfrequenz im Zwischenfrequenzbereich¹, die wie bei den konventionellen Leuchtstoffröhren von einem elektronischen Vorschaltgerät erzeugt wird. Außer der Betriebsfrequenz, die je nach Fabrikat verschieden ist, jedoch im Frequenzbereich zwischen ca. 25 kHz und 70 kHz liegt, treten noch eine Reihe von Oberwellen mit dem Vielfachen der Betriebsfrequenz auf, sodass sich das Frequenzspektrum bis in den Hochfrequenzbereich erstrecken kann (Abb. 13).

¹ Unter Zwischenfrequenzbereich wird im Allgemeinen der Frequenzbereich verstanden, der am Ende des Niederfrequenzbereichs (bis 30 kHz) liegt und sich bis in den unteren Hochfrequenzbereich erstreckt. Der Zwischenfrequenzbereich umfasst somit die Frequenzen von 10 kHz bis 10 MHz.

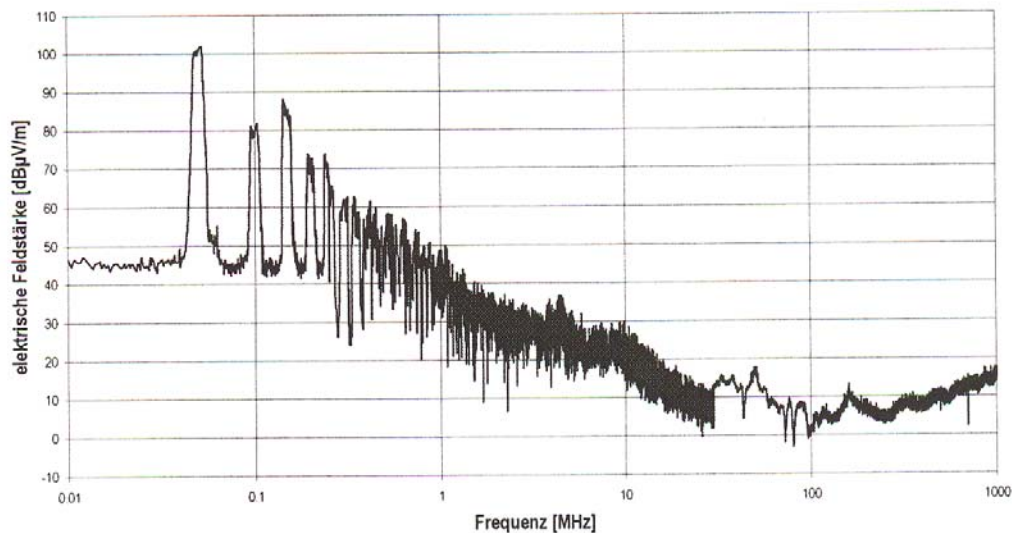


Abb. 13: Spektrum der von einer Kompaktleuchtstofflampe emittierten elektrischen Feldstärke im Zwischenfrequenzbereich (Dürrenberger und Klaus, 2004)

Die Leistungsaufnahme ist geringer als bei Glühlampen und liegt bei einigen Watt bis ca. 20 W. Daraus ergeben sich ein geringerer 50 Hz-Strom und somit auch geringere 50 Hz-Magnetfelder als bei Glühlampen. Bezüglich der Emissionen elektrischer und magnetischer Felder von KLL im Zwischenfrequenzbereich liegen einige Untersuchungen vor, die jedoch mit unterschiedlichen Messsonden und teilweise in unterschiedlichen Entfernungen durchgeführt wurden. Der erhebliche Unterschied zwischen den Messergebnissen für elektrische und magnetische Felder ist nicht verwunderlich. Der Grund liegt in den Schwierigkeiten, inhomogene Felder im Nahbereich der Feldquelle zu messen. Diese sind besonders im Zwischenfrequenzbereich ausgeprägt.

Bei KLL ergeben sich im Vergleich mit den elektrischen und magnetischen Feldern einer Glühlampe vergleichbar große Magnetfeldemissionen, während die elektrischen Feldstärken zwar im Niederfrequenzbereich vergleichbar niedrig sind, jedoch im Zwischenfrequenzbereich einen charakteristischen zusätzlichen Anteil liefern, der bei Glühlampen fehlt.

4.1 Elektrische Wechselfelder

Messungen an 14 verschiedenen Modellen von Kompaktleuchtstofflampen, die mit einer tellerförmigen E-Feld-Sonde mit einer Sensorfläche von 855 cm² bzw. einem Durchmesser von 33 cm (entsprechend der Empfehlung der TCO) durchgeführt wurden, ergaben in 30 cm Entfernung der Kompaktleuchtstofflampen elektrische Feldstärken im Frequenzbereich von 5 Hz bis 2 kHz von 40 – 63 V/m [Schlegel 2007]. Im Zwischenfrequenzbereich bei Frequenzen von 2 kHz – 400 kHz wurden elektrische Feldstärken von 7 bis 40 V/m gemessen, die in diesem Bereich somit den Referenzwert der ICNIRP von 87 V/m bis zu 46 % ausschöpften.

In einer anderen Untersuchung an 11 verschiedenen Modellen von Kompaktleuchtstofflampen [Dürrenberger und Klaus 2004] ergaben die Messungen des elektrischen Feldes mit einer 100 cm² großen isotropen Feldsonde in 30 cm Entfernung bei 50 Hz Feldstärken von 70 – 115 V/m. Im Zwischenfrequenzbereich von 10 kHz bis 500 kHz wurden in 30 cm Entfernung hingegen lediglich Feldstärken bis zu ca. 1,2 V/m gemessen, diese lagen somit unter 1,4 % des Referenzwertes (nach [EG 1999]). Bei Betriebsfrequenz lag die elektrische Feldstärke von

allen untersuchten Lampen unter 1 V/m. Angaben über die Gesamtbewertung des Frequenzgemisches fehlen jedoch.

In eine weitere Untersuchung [Eder et al. 2009] wurden 37 KLL einbezogen und elektrische und magnetische Emissionen mit zwei verschiedenen Messgeräten und Messsonden mit zwei unterschiedlichen Sensorflächen, nämlich 100 cm² und 25 cm², ermittelt. Die Messungen erfolgten im Frequenzbereich 2 bis 400 kHz, 50Hz-Anteile wurden getrennt gemessen. Die breitbandig gemessenen elektrischen Feldstärken erreichten in 30 cm seitlicher Entfernung bis zu 59 V/m, bei 90 % der untersuchten KLL lagen sie jedoch unter 20 V/m. Die gemessenen Feldstärken schöpften nach Angaben der Autoren den Referenzwert im Extremfall bis zu 68 % aus. (Es muss jedoch angemerkt werden, dass diese Werte tendenziell zu klein sind, weil die Berücksichtigung der Oberwellen bei den Messgeräten im Sinne von Effektivwerten, also mit quadratischer Summierung, erfolgte, während die ICNIRP- Empfehlung im gegenständlichen Frequenzbereich eine lineare Summation vorsieht).

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch die Messungen des IFA (siehe Tabelle 4).

4.2 Magnetische Wechselfelder

Die magnetischen Induktionen lagen bei den verschiedenen KLL im Frequenzbereich zwischen 2 – 400 kHz und in 30 cm Entfernung im Bereich zwischen 3 bis 79 nT [Schlegel 2007]. Der Referenzwert beträgt in diesem Frequenzbereich 6,25 µT. Dürrenberger und Klaus [2004] maßen im Frequenzbereich zwischen 2 kHz und 400 kHz in 30 cm Entfernung bis zu 29 nT. Eder et al. [2009] berichten über magnetische Induktionen im Frequenzbereich 2 – 400 kHz von bis zu 57 nT. Bei 50 Hz wurden bei den KLL vergleichbare magnetische Induktionen wie bei Glühlampen festgestellt, hier wurden bei einer 75 W-Glühlampe 10 nT (50 Hz) gemessen.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch die Messungen des IFA (siehe Tabelle 5).

4.3 Intrakorporale Stromdichte

Die durch KLL verursachten intrakorporalen Stromdichten im Zentralnervensystem wurden von Eder et al. messtechnisch und durch numerische Simulation abgeschätzt und ergaben vom elektrischen Feld verursachte Werte von 0,5 mA/m² bis zu 1,6 mA/m² (der Basisgrenzwert liegt im Bereich von 25 kHz – 70 kHz, abhängig von der Frequenz zwischen 40 und 140 mA/m²).

4.4 Kontaktströme

Aufgrund der kapazitiven Kopplung von Personen zur KLL können aufgrund des elektrischen Feldes über die Person elektrische Ströme bis zur Erde fließen. Nach Messungen von Eder et al. ergab sich bei einer Entfernung von 30 cm bei der ungünstigsten KLL (56 V/m ungestörte Feldstärke, 44 kHz Betriebsfrequenz) der von einem Kopfphantom abfließende Strom zu 35 µA. Der Wert liegt somit wesentlich unterhalb des Referenzwertes von 8,8 mA (bei 44 kHz), wie er von der ICNIRP zur Vermeidung von Schockwirkungen und Verbrennungen empfohlen worden ist.

4.5 Zusammenfassung

Die bisherigen Ergebnisse weisen nicht darauf hin, dass die Referenzwerte der ICNIRP überschritten werden könnten (siehe auch [Nadakuduti et al. 2010]). Aufgrund des geringeren Wirkungsgrades inhomogener Felder bei der Erzeugung intrakorporaler Stromdichten und der starken Abnahme der Feldstärken mit der Entfernung von der Lampe wird gegenüber dem Basisgrenzwert ein großer Abstand eingehalten.

Bis jetzt sind erst sehr wenige Messungen an LEDs veröffentlicht worden ([Nadakuduti et al. 2010] und die Messung des IFA in dieser Arbeit). Diese zeigen, dass bei den bisher untersuchten Lampen die Emissionen von elektrischen und magnetischen Feldern sehr gering sind.

5 Kenngrößen verschiedener Lampenarten

In Tabelle 1 sind typische Eigenschaften verschiedener Arten von Leuchtmitteln zusammengefasst, die in Haushalten zur Beleuchtung eingesetzt werden.

Die Tabellen 2 bis 5 enthalten Ergebnisse von Emissionsmessungen des Institutes für Arbeitsschutz (IFA) für UV-Strahlung und für elektrische und magnetische Felder.

In Tabelle 2 bedeutet „> 24“, dass auch bei einer Exposition von bis zu 24 Stunden am Tag der Grenzwert der Bestrahlung von H (UV-A) = 10.000 J/m^2 [ICNIRP 2004] nicht überschritten wird, das heißt, der Richtwert wird nie erreicht. In Tabelle 3 wird bei der Angabe „> 24“ der Richtwert der effektiven Bestrahlung von H_{eff} (UV-A/B/C) = 30 J/m^2 bei einer Exposition von bis zu 24 Stunden am Tag nicht überschritten [ICNIRP 2004]. Dabei betrug die Nachweisgrenze bei UV-A $0,02 \text{ mW/m}^2$, bei UV-A/B/C effektiv $0,1 \text{ mW/m}^2$ und beim E- und H-Feld $\pm(8,6 \% + 1d)$.

Tab. 1: Typische Eigenschaften von Leuchtmitteln, die in privaten Haushalten zur Beleuchtung eingesetzt werden

Art	Elektrische Versorgung	typische Lichtausbeute [lm/W]	Farbtemperatur [K]	typische Lebensdauer [Stunden]	Gefahren	Entsorgung
Glühlampe	230 V, Wechselspannung	12 - 15	2.200 – 2.800	1.000 – 2.000	Verbrennung, Blendung, elektrischer Schlag	Hausmüll
Halogen-glühlampe	230 V, Wechselspannung oder Transformator, 12 V, Wechselspannung	17 - 25	3.000 – 3.200	2.000 – 6.000	Verbrennung, Blendung, elektrischer Schlag; ohne ausreichende Filterung: UV-Strahlung	Hausmüll
Leuchtstofflampe	230 V, Wechselspannung, Vorschaltgerät	50 - 70	2.700 – 7.000	8.000 – 25.000	Geringe Blendung, elektrischer Schlag, Freisetzung von Quecksilber bei Beschädigung	Sondermüll
Kompakt-leuchtstofflampe KLL	230 V, Wechselspannung, Vorschaltgerät	40 - 65	2.700 – 6.500	5.000 – 20.000	Geringe Blendung, elektrischer Schlag, Freisetzung von Quecksilber bei Beschädigung	Sondermüll
LED Licht emittierende Diode	Kleinspannung oder 230 V Wechselspannung, evtl. Vorschaltgerät	30 - 80	2.700 – 6.000	10.000 – 30.000	Evtl. Blendung, elektrischer Schlag	Hausmüll

Tab. 2: Ergebnisse von Messungen der Bestrahlungsstärke im UV-A Bereich (IFA)

Nr.	Lampenart	E_{UV-A} in mW/m ² im Abstand von				t_{max} in h im Abstand von			
		3cm	30cm	100cm	200cm	3cm	30cm	100cm	200cm
1	Halogen (Glühlampenform)	200	8,5	1,0	0,3	13,9	> 24	> 24	> 24
2	KLL (spiralförmig)	2110	34,9	3,7	1,0	1,3	> 24	> 24	> 24
3	KLL (Glühlampenform)	1551	46,2	5,1	1,4	1,8	> 24	> 24	> 24
4	KLL (Globe)	2148	66,3	7,5	2,0	1,3	> 24	> 24	> 24
5	KLL (Glühlampenform)	687	19,5	2,4	0,7	4,0	> 24	> 24	> 24
6	KLL (Glühlampenform)	614	18,4	2,0	0,5	4,5	> 24	> 24	> 24
7	KLL (spiralförmig)	1960	28,2	3,1	0,9	1,4	> 24	> 24	> 24
8	KLL (spiralförmig)	1313	26,9	2,9	0,8	2,1	> 24	> 24	> 24
9	KLL (spiralförmig)	2998	46,2	5,0	1,3	0,9	> 24	> 24	> 24
10	KLL (Glühlampenform)	878	20,2	2,4	0,7	3,2	> 24	> 24	> 24
11	KLL (Glühlampenform)	859	25,4	2,9	0,8	3,2	> 24	> 24	> 24
12	KLL (Glühlampenform)	954	32,8	3,8	1,0	2,9	> 24	> 24	> 24
13	KLL (spiralförmig)	2586	52,5	5,8	1,5	1,1	> 24	> 24	> 24
14	Glühlampe klar	777	33,8	3,8	1,1	3,6	> 24	> 24	> 24
15	Glühlampe matt	824	35,9	4,2	1,1	3,4	> 24	> 24	> 24
16	Glühlampe matt	2128	67,6	7,5	2,0	1,3	> 24	> 24	> 24
17	LED	11	0,47	---*	---*	> 24	> 24	> 24	> 24
18	LED	3	0,1	---*	---*	> 24	> 24	> 24	> 24
19	Leuchtstoffröhre (l=1m)	1800	160,0	---*	---*	1,5	17,4	> 24	> 24

* Werte wurden nicht bestimmt.

KLL: Kompaktleuchtstofflampe, t_{max} : Zeit bis zum Erreichen des UV-A-Richtwertes von 10.000 J/m²[ICNIRP 2004]

Tab. 3: Ergebnisse von Messungen der effektiven Bestrahlungsstärke im UV-A/B/C-Bereich (IFA)

Nr.	Lampenart	E _{eff} in mW/m ² im Abstand von				t _{max} in h im Abstand von			
		3cm	30cm	100cm	200cm	3cm	30cm	100cm	200cm
1	Halogen (Glühlampenform)	0,0	0,0	0,0	0,0	> 24	> 24	> 24	> 24
2	KLL (spiralförmig)	0,5	0,0	0,0	0,0	16,7	> 24	> 24	> 24
3	KLL (Glühlampenform)	0,0	0,0	0,0	0,0	> 24	> 24	> 24	> 24
4	KLL (Globe)	0,0	0,0	0,0	0,0	> 24	> 24	> 24	> 24
5	KLL (Glühlampenform)	0,0	0,0	0,0	0,0	> 24	> 24	> 24	> 24
6	KLL (Glühlampenform)	0,0	0,0	0,0	0,0	> 24	> 24	> 24	> 24
7	KLL (spiralförmig)	3,8	0,1	0,0	0,0	2,2	> 24	> 24	> 24
8	KLL (spiralförmig)	0,0	0,0	0,0	0,0	> 24	> 24	> 24	> 24
9	KLL (spiralförmig)	3,8	0,1	0,0	0,0	2,2	> 24	> 24	> 24
10	KLL (Glühlampenform)	0,1	0,1	0,0	0,0	> 24	> 24	> 24	> 24
11	KLL (Glühlampenform)	0,0	0,0	0,0	0,0	> 24	> 24	> 24	> 24
12	KLL (Glühlampenform)	0,2	0,0	0,0	0,0	> 24	> 24	> 24	> 24
13	KLL (spiralförmig)	2,8	0,0	0,0	0,0	3,0	> 24	> 24	> 24
14	Glühlampe klar	1,0	0,1	0,0	0,0	8,3	> 24	> 24	> 24
15	Glühlampe matt	1,5	0,1	0,0	0,0	5,6	> 24	> 24	> 24
16	Glühlampe matt	1,2	0,1	0,0	0,0	6,9	> 24	> 24	> 24
17	LED	0,0	0,0	---*	---*	> 24	> 24	> 24	> 24
18	LED	0,0	0,0	---*	---*	> 24	> 24	> 24	> 24
19	Leuchtstoffröhre (l=1m)	1,6	0,2	---*	---*	5,2	> 24	> 24	> 24

* Werte wurden nicht bestimmt; 0,0 mW/m² steht für kleiner Nachweisgrenze

KLL: Kompaktleuchtstofflampe, t_{max}: Zeit bis zum Erreichen des UV-A/B/C-Richtwertes von 30 J/m² [ICNIRP 2004]

Tab. 4: Ergebnisse von Messungen des elektrischen Feldes (IFA)

Leerfeld: 8,1 V/m bis 13,9 V/m, Messfilter-Bandbreite 0,005 bis 400 MHz						
Nr.	Lampenart	Leistung [W]	E-Feld			
			in V/m			
			Messungen 30 cm unter dem Glaskolben			
			Messfilter – Bandbreite			
2 kHz bis 400 kHz		5 Hz bis 3,2 kHz				
Spitzenwert	Effektivwert	Spitzenwert	Effektivwert			
1	Halogen (Glühlampenform)	42	3,1	3,1	64	45
2	KLL (spiralförmig)	11	12	11	80	56
3	KLL (Glühlampenform)	11	6,2	5,9	76	53
4	KLL (Globe)	11	6,1	5,9	76	53
5	KLL (Glühlampenform)	20	8,9	8,7	77	54
6	KLL (Glühlampenform)	12	5,9	5,9	76	53
7	KLL (spiralförmig)	11	6,6	6,4	76	53
8	KLL (spiralförmig)	11	11	11	78	55
9	KLL (spiralförmig)	11	10	10	79	55
10	KLL (Glühlampenform)	9	4,1	4,1	73	50
11	KLL (Glühlampenform)	11	5,5	5,6	74	52
12	KLL (Glühlampenform)	15	11	12	78	55
13	KLL (spiralförmig)	11	9,6	10	79	55
14	Glühlampe klar	60	2,1	2	62	42
15	Glühlampe matt	60	3,7	3,5	71	47
16	Glühlampe matt	100	3,3	3,1	74	50
17	LED	4	2,1	2,1	55	40
18	LED	4	2,1	2	55	40
19	Leuchtstoffröhre (l=1m)	38	15	5,2	65	27

Tab. 5: Ergebnisse von Messungen des Magnetfeldes (IFA)

Leerfeld: 0,270 µT, Messfilter-Bandbreite 0,01 bis 400 kHz, Spitzenwert							
Nr.	Lampenart	Leistung [W]	B-Feld in µT				
			Messung direkt unter dem Glaskolben				
			Messfilter – Bandbreite				
			10 Hz bis 400 kHz		5 Hz bis 2 kHz	2 kHz bis 500 kHz	
			Spitzenwert	Effektivwert	Spitzenwert	Spitzenwert	Effektivwert
1	Halogen (Glühlampenform)	42	0,28	0,19	0,17	0,072	0,015
2	KLL (spiralförmig)	11	0,41	0,20	0,29	0,13	0,032
3	KLL (Glühlampenform)	11	1,3	0,63	0,27	0,86	0,48
4	KLL (Globe)	11	1,4	0,66	0,16	0,09	0,48
5	KLL (Glühlampenform)	20	0,29	0,15	0,23	0,09	0,026
6	KLL (Glühlampenform)	12	0,29	0,19	0,16	0,087	0,023
7	KLL (spiralförmig)	11	0,33	0,19	0,27	0,11	0,035
8	KLL (spiralförmig)	11	1,1	0,32	0,98	0,36	0,043
9	KLL (spiralförmig)	11	1,1	0,28	0,95	0,35	0,051
10	KLL (Glühlampenform)	9	0,29	0,19	0,28	0,083	0,022
11	KLL (Glühlampenform)	11	0,31	0,17	0,25	0,12	0,041
12	KLL (Glühlampenform)	15	0,32	0,17	0,15	0,097	0,026
13	KLL (spiralförmig)	11	0,87	0,27	0,88	0,32	0,042
14	Glühlampe klar	60	0,29	0,17	0,36	0,018	0,006
15	Glühlampe matt	60	0,15	0,067	0,15	0,019	0,006
16	Glühlampe matt	100	0,29	0,19	0,16	0,018	0,006
17	LED	4	0,17	0,063	0,017	0,025	0,0049
18	LED	4	0,17	0,071	0,17	0,018	0,0041
19	Leuchtstoffröhre (l=1m)	38	14	8,1	13	0,36	0,22

Anmerkung:

Bei der Messbandbreite 5 Hz bis 2 kHz wurde kein Effektivwert gemessen

6 Bewertung

6.1 Grenzwerte

Für die Bewertung der möglichen Gefährdungen oder gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch elektrische Lichtquellen werden wie in anderen SSK-Empfehlungen die Referenzwerte nach ICNIRP für optische Strahlung und elektromagnetische Felder herangezogen. Sofern diese Referenzwerte nicht überschritten werden, wird der Schutz der Bevölkerung als hinreichend gegeben angesehen.

Bei allen Leuchtmitteln, die eine kleine intensiv leuchtende Fläche enthalten und bei denen man direkt in diese sehen kann, besteht Blendgefahr [SSK 2006].

6.2 Bewertung durch andere Gutachterorganisationen

Mehrere Gutachterorganisationen (z.B. [SCENIHR 2008] und [Equipment Energy Efficiency Committee 2008]) haben sich mit der Frage möglicher gesundheitlicher Gefahren durch die Einführung von Kompakt-Leuchtstofflampen befasst. Dabei wurden aber in der Regel die LEDs nicht betrachtet.

In Australien hat das Equipment Energy Efficiency Committee im Jahr 2008 im Rahmen eines "Regulatory Impact Statement" zum Verbot der Glühlampen in Australien ausgeführt: "...there is no evidence of advance health, safety or environmental effects that would reverse positive assessment of the proposed measures".

Im Auftrag der Europäischen Kommission hat sich das „Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks“ (SCENIHR) im Jahr 2008 mit der Frage möglicher gesundheitlicher Gefahren durch Kompakt-Leuchtstofflampen eingehend beschäftigt. Danach gibt es keine zuverlässige Evidenz, dass diese Lampen unter „normalen“ Betriebsbedingungen einen relevanten negativen gesundheitlichen Beitrag liefern. Unter extremen Bedingungen (sehr lange Exposition bei sehr kleinen Abständen (< 20 cm)) können einige dieser Lampen die Richtwerte für UV-Exposition überschreiten. Des Weiteren können, bei sehr seltenen Erkrankungen (ca. 0,05 % der Bevölkerung) die UV- und Blaulichtstrahlung dieser Lampen ein potentiell Risiko darstellen. Die SCENIHR führt weiter aus, dass diese Risiken durch doppelwandige Lampen vermieden oder weitgehend reduziert werden können. Die Bewertung der Expositionen durch elektrische und magnetische Felder war nicht Gegenstand diese Untersuchung.

6.3 Zu den verschiedenen Leuchtmitteln / Lampen

Die Bestrahlungsstärke durch ein Leuchtmittel nimmt in der Regel mit dem Quadrat des Abstandes zur Strahlenquelle ab. Bei einem doppelten Abstand ist daher nur noch ein Viertel der Beleuchtungsstärke vorhanden. Sofern eine Lichtquelle allerdings länglich ist, einen Reflektor enthält oder in eine Leuchte mit Reflektor eingebaut ist, gilt dieser Zusammenhang nicht mehr streng. Bei Decken- oder Wandleuchten von Büro- oder Wohnräumen liegt die Entfernung von einem Leuchtmittel zu einer Person im Bereich von ca. 1 - 4 m, je nach Gestaltung des Raums, der Beleuchtung und des Aufenthaltsortes. In Industriehallen können auch größere Abstände im Bereich bis etwa 10 - 15 m auftreten. Bei Schreibtischleuchten oder bei Bettleuchten sind die Abstände geringer, etwa im Bereich von 30 – 50 cm. Eine

längere Strahlenexposition in ganz kurzem Abstand von 2-3 cm kann zu Referenzwertüberschreitungen führen, wenngleich dieses Szenario eher theoretischer Natur ist.

Wie bei allen elektrisch betriebenen Lichtquellen muss auf einen möglichen elektrischen Schlag bei defekten Geräten oder falscher Handhabung hingewiesen werden.

6.3.1 Glühlampen

Glühlampen geben konstruktionsbedingt eine intensive infrarote Strahlung ab, die bei Berührung oder durch IR-Strahleneinwirkung zu Verbrennungen führen kann. Diese werden aber wegen der auftretenden Wärmeschmerzempfindung in der Regel vermieden. Des Weiteren können durch Glühlampen Brände verursacht werden.

Klarglasglühlampen besitzen ein größeres Blendungspotenzial als Mattglasglühlampen.

Die Farbwiedergabe von „Glühbirnen“ weicht durch das nach Rot verschobene Spektrum von der Sonne ab, wird aber als angenehm empfunden.

Glühlampen geben sehr geringe UV-A-Anteile ab, die nicht schädlich sind, da sie erheblich unterhalb der geltenden Grenzwerte liegen. Von einer normalen Glühlampe geht daher **keine Gefährdung durch UV-Strahlung** aus (siehe auch Tab. 2).

Glühlampen erzeugen nur geringe elektrische und magnetische Felder, die weit unter den für die Bevölkerung empfohlenen Grenzwerten liegen. Es geht daher von Glühlampen **keine Gefährdung durch elektrische und magnetische Felder** aus (siehe auch Tab. 4 und 5).

6.3.2 Halogenglühlampen

Halogenglühlampen geben konstruktionsbedingt eine intensive infrarote Strahlung ab, die bei Berührung zu Verbrennungen führen kann. Dieses wird aber wegen der auftretenden starken Wärmeschmerzempfindung in der Regel vermieden. Des Weiteren können durch diese Lampen Brände verursacht werden.

Aufgrund der kleinen Wendel haben Halogenglühlampen in der Regel ein großes Blendungspotenzial.

Halogenglühlampen geben mehr UV-A-Strahlung ab als Glühlampen. Heute wird diese in der Regel durch spezielle Maßnahmen, wie z. B. „UV-Stop“, so abgeschirmt, dass sie deutlich unterhalb der geltenden Grenzwerte liegt und nicht mehr schädlich ist. Von einer normalen Halogenglühlampe geht daher **keine Gefährdung durch UV-Strahlung** aus (siehe auch Tab. 2).

Die Farbwiedergabe von Halogenglühlampen ist weniger nach rot verschoben als diejenige von Glühlampen und ist damit sonnenähnlicher.

Halogenglühlampen erzeugen nur geringe elektrische und magnetische Felder, die weit unter den für die Bevölkerung empfohlenen Grenzwerten liegen. Beim Betrieb von Halogenglühlampen ist daher **keine Gefährdung durch elektrische und magnetische Felder** gegeben (siehe auch Tab. 4 und 5).

6.3.3 Leuchtstofflampen

In der Praxis ist bei der Anwendung von Leuchtstofflampen zur Beleuchtung mit **keiner Gefährdung durch UV-Strahlung** zu rechnen (siehe auch Tab. 2), da die Grenzwerte in den normalen Gebrauchsabständen sicher eingehalten werden.

Die Farbwiedergabe von Leuchtstofflampen kann je nach Wahl der verwendeten Phosphore sehr unterschiedlich sein. Es gibt Leuchtstofflampen, die eine eher sonnenähnliche Farbwiedergabe haben (kalt weiß), und solche, die eine eher Glühlampen-ähnliche Farbwiedergabe haben (warm weiß). Durch die Bandenstruktur der Leuchtstofflampen kann es bei bestimmten Farben andere Farbeindrücke geben.

Bei Leuchtstofflampen gibt es neben den elektronischen Vorschaltgeräten, die im kHz-Bereich arbeiten und somit im normalen Betriebsfall kein wahrnehmbares Flimmern mehr zeigen, auch noch häufig die Drossel – Starter – Schaltung, die ein 100 Hz-Flimmern zeigt.

Leuchtstofflampen erzeugen nur geringe elektrische und magnetische Felder unterhalb der für die Bevölkerung empfohlenen Grenzwerte. Es geht daher von Leuchtstofflampen **keine Gefährdung durch elektrische und magnetische Felder** aus (siehe auch Tab. 4 und 5).

6.3.4 Kompaktleuchtstofflampen

Es ist mit **keiner Gefährdung durch UV-Strahlung** zu rechnen (siehe auch Tab. 2), da die Grenzwerte bei normalen Gebrauchsabständen sicher eingehalten werden.

Die Farbwiedergabe von Kompaktleuchtstofflampen kann je nach Wahl der verwendeten Phosphore sehr unterschiedlich sein. Es gibt Kompaktleuchtstofflampen, die eine eher sonnenähnliche Farbwiedergabe haben (kalt weiß), und solche, die eine eher Glühlampen-ähnliche Farbwiedergabe haben (warm weiß). Durch die Bandenstruktur der Leuchtstofflampen kann es bei bestimmten Farben andere Farbeindrücke geben.

Bei Kompaktleuchtstofflampen gibt es fast nur noch elektronische Vorschaltgeräte, die im kHz-Bereich arbeiten und somit im normalen Betriebsfall kein wahrnehmbares Flimmern mehr zeigen.

Die von Kompakt-Leuchtstofflampen erzeugten elektrischen und magnetischen Felder liegen unter den für die Bevölkerung empfohlenen Grenzwerten. Es geht daher von Kompakt-Leuchtstofflampen **keine Gefährdung durch elektrische und magnetische Felder** aus (siehe auch Tab. 4 und 5).

6.3.5 LED - Lampen

Bei LEDs zur Raumbelichtung, die nach dem RGB- oder nach dem „Blaulicht-Phosphor-Konversionsprinzip“ arbeiten, besteht **keine Gefährdung durch UV-Strahlung** (siehe auch [Horak 2008] und [Horak 2008a]). Dies gilt nicht mehr ohne weiteres für LEDs, die eine UV-LED als Quelle verwenden; diese sind aber derzeit noch nicht am Markt verfügbar.

Die Farbwiedergabe von „weißen“ LEDs kann je nach Konstruktionsprinzip sehr unterschiedlich sein. Die schlechteste Farbwiedergabe haben die Lampen, die RGB-Dioden einsetzen; die beste diejenigen, die UV-Dioden einsetzen. Eine gesundheitliche Relevanz ist nicht bekannt.

LED-Lampen arbeiten in der Regel im kHz-Bereich und zeigen somit im normalen Betriebsfall kein wahrnehmbares Flimmern.

Die von LED-Lampen erzeugten elektrischen und magnetischen Felder sind äußerst gering. Sie liegen weit unter den für die Bevölkerung empfohlenen Grenzwerten. Es geht daher von LED-Lampen **keine Gefährdung durch elektrische und magnetische Felder** aus (siehe auch Tab. 4 und 5).

7 Glossar

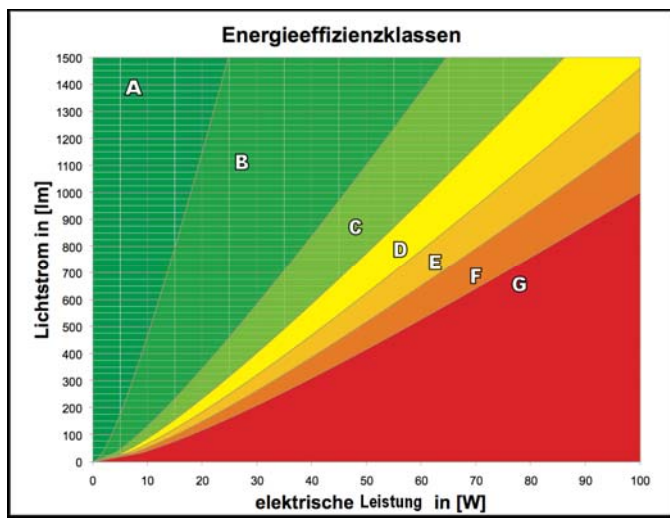
Beleuchtungsstärke

Für Beleuchtungsanlagen ist die Beleuchtungsstärke (lx) eine wichtige Größe. Sie ist die fotometrische Entsprechung zur Bestrahlungsstärke (W/m^2). Die Beleuchtungsstärke ist der Quotient aus dem einfallenden Lichtstrom pro Element der Empfängerfläche, also die Strahlungsleistung pro Fläche ($lx = lm/m^2$). Bei einer punktförmigen Lichtquelle nimmt die Beleuchtungsstärke mit dem Quadrat der Entfernung ab.

Die Beleuchtungsstärke kann im Freien mit bis zu 100.000 Lux von der hoch stehenden Mittagssonne sehr hoch sein und damit um zwei bis drei Größenordnungen über dem Beleuchtungsniveau von ca. 100 – 2.000 Lux durch künstliche Strahlungsquellen in geschlossenen Räumen liegen.

Energieeffizienzklassen

Die Energieeffizienzklasse ist eine Bewertungsskala für das europäische Energie-Label [DENA 2010]. Es soll den Absatz von besonders energiesparenden Elektrogeräten in der EU fördern. Energieeffizienzklassen sind für unterschiedliche Elektrogeräte je nach Anwendung verschieden festgelegt. Auf den Geräten oder auf den Verpackungen werden die Energieeffizienzklassen mit Buchstaben und Farben gekennzeichnet. Für Lampen hängt die Energieeffizienzklasse von der elektrischen Leistung und dem Lichtstrom ab. Die Einteilung erfolgt von der schlechtesten Klasse G bis zur besten Klasse A nach folgendem Zusammenhang:



Farbnummernsystem

Zur Kennzeichnung des Farbeindrucks und der Farbwiedergabe wurde für Leuchtstofflampen ein Nummernsystem aus drei Ziffern eingeführt. Die erste Ziffer steht für die Zehnerstufe des Farbwiedergabeindex. Eine 9 steht für einen Farbwiedergabeindex zwischen 90 und 99, eine 8 steht für einen Farbwiedergabeindex zwischen 80 und 89 usw. Die beiden letzten Ziffern geben die Farbtemperatur der Strahlung geteilt durch 100 in K an. Z. B. steht 30 für eine Farbtemperatur von 3.000 K. Ein häufig in Wohnzimmern, Schlafzimmern, Kinderzimmern usw. eingesetzter Leuchtstofflampen-Typ hat die Farbnummer 827 und erzeugt ein glühlampenähnliches Licht mit guter Farbwiedergabe [Handbuch der Beleuchtung 2009].

Farbtemperatur

Temperaturen können in unterschiedlichen Einheiten angegeben werden, u. a. in Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$) oder in Kelvin (K). Eine Sonnen-Oberflächentemperatur von 5.600°C entspricht einer absoluten Temperatur von 5.873 K. Das Kelvin (K) ist die Einheit der physikalisch begründeten absoluten Temperatur und unterscheidet sich von der gebräuchlichen Temperaturskala in Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Es gilt: Temperatur T_{K} in Kelvin entspricht der Temperatur T_{C} in $^{\circ}\text{C}$ nach der Gleichung $T_{\text{K}} = T_{\text{C}} + 273,15$. Die absolute Temperatur in der Einheit K wird für Berechnungen der Strahlenemission Schwarzer Strahler und zur Angabe der Farbtemperatur von optischen Strahlenquellen verwendet.

Die Farbtemperatur einer optischen Strahlenquelle ist die Temperatur eines Schwarzen Strahlers, die bei gleicher Helligkeit und unter festgelegten Beobachtungsbedingungen der Farbe der Quelle gleich ist. Die Einheit der Farbtemperatur ist Kelvin (K). Sofern keine exakt gleiche Farbe gefunden werden kann, wird als ähnlichste Farbtemperatur die Temperatur eines Schwarzen Strahlers bezeichnet, die der Farbe der Quelle am nächsten kommt.

Die Farbtemperatur beeinflusst die vom Menschen wahrgenommene Lichtfarbe. Nach DIN 5035-1 entspricht eine Farbtemperatur unter 3.300 K einer warmweißen Lichtfarbe, eine Farbtemperatur von 3.300 bis 5.000 K einer neutralweißen Lichtfarbe und eine Farbtemperatur über 5.000 K einer tageslichtweißen Lichtfarbe.

Farbwiedergabe, Farbwiedergabeindex

Die Farbwiedergabe ist ein Qualitätsmerkmal von Licht. Eine Lichtquelle, deren Licht alle Spektralfarben enthält, z. B. das Sonnenlicht, lässt die Farben der beleuchteten Gegenstände natürlich aussehen. Die Farbwiedergabe ist gut. Unter Lichtquellen, deren Licht eine ungleichmäßige Verteilung der Spektralfarben enthält, z. B. Metaldampflampen, wirken auch die Farben beleuchteter Gegenstände unnatürlich, die Farbwiedergabe ist schlechter.

Um die Farbwiedergabequalität einer Lampe angeben zu können, wurde der Farbwiedergabeindex (Ra) eingeführt. Der beste Wert mit der natürlichsten Farbwiedergabe ist $R_a=100$. Er wird vom Tageslicht und auch fast von Glühlampen erreicht. Die schlechteste Farbwiedergabe erreichen Natriumdampflampen mit R_a im Bereich von 20 – 39 [Handbuch für Beleuchtung 2009].

Lampe, Leuchte

Im Gegensatz zum umgangssprachlichen Gebrauch wird in der Lichttechnik das Wort „Lampe“ für die Quelle, die das Licht erzeugt, gebraucht. Was umgangssprachlich als „Glühbirne“ bezeichnet wird, wird in der Lichttechnik als „Glühlampe“ bezeichnet. Entsprechend wird auch das Wort „Leuchte“ unterschiedlich verwendet. Eine Leuchte ist in der Lichttechnik die Vorrichtung, in die die Lichtquelle, d. h. die „Lampe“, eingebaut ist. Was umgangssprachlich z. B. als „Stehlampe“ bezeichnet wird, ist in der Lichttechnik eigentlich eine „Stehleuchte“.

Leuchtdichte

Der Helligkeitseindruck von Leuchtquellen wird durch die Leuchtdichte bestimmt. Als lichttechnische Grundgröße wird die Leuchtdichte als Lichtstärke je Flächeneinheit definiert (cd/m^2). Als Fläche gilt dabei die gesehene Fläche. Die mittlere Leuchtdichte der Mittagssonne beträgt etwa $160.000 \text{ cd}/\text{m}^2$. Eine Glühlampe hat eine Leuchtdichte zwischen 200 und $2.000 \text{ cd}/\text{m}^2$, bei Leuchtstofflampen liegt diese zwischen 0,5 und $3 \text{ cd}/\text{m}^2$ und bei Halogenmetaldampflampen zwischen 1.000 bis $6.000 \text{ cd}/\text{m}^2$. Die Leuchtdichte ist für die Beurteilung von Blendung die relevante Größe.

Lichtausbeute

Die Lichtausbeute ist der Quotient aus dem von einer Lampe abgegebenen Lichtstrom und der aufgenommenen elektrischen Leistung. Sie wird in der Einheit lm/W (Lumen durch Watt) angegeben. Je höher die Lichtausbeute ist, desto effektiver wandelt die Lampe elektrische Energie in Licht um.

Tab. 6: *Lichtausbeute verschiedener Lichtquellen. Die Entladungslampen benötigen für den Betrieb ein Vorschaltgerät, dessen Verluste hier nicht berücksichtigt sind (nach [Handbuch für Beleuchtung 2009])*

Lichtausbeute (lm/W)	Lichtquelle
683	theoretische Lichtausbeute für grünes Licht bei 555 nm
199	theoretische Lichtausbeute für „weißes Licht“ (380 –780 nm)
180	Natrium-Niederdrucklampe
160	Natrium-Hochdrucklampe
100	Leuchtstofflampe
80	Halogenmetaldampflampe
50	Quecksilber-Hochdrucklampe
25	Xenon-Lampe, Krypton-Lampe
12	Glühlampe
3	Kohlenfaden-Glühlampe
1	Glimmlampe

Lichtstrom

Der Lichtstrom ist der mit der spektralen Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges bewertete elektromagnetische Strahlungsfluss und stellt die von einer Lichtquelle abgestrahlte Lichtleistung dar. Der Lichtstrom wird in der Einheit Lumen (lm) angegeben. Der Lampenlichtstrom ist die gesamte abgegebene Lichtleistung einer Lampe unabhängig von der Ausstrahlungsrichtung [led-info 2010].

Optische Strahlung, UV-Strahlung, sichtbare Strahlung, IR-Strahlung

Unter optischer Strahlung wird eine elektromagnetische Wellenstrahlung im Wellenlängenbereich zwischen 100 nm und 1 mm verstanden. Sie wird in folgende Untergruppen unterteilt:

- UV-Strahlung (ultraviolette Strahlung): Wellenlängenbereich 100 nm bis 380 nm,
- Sichtbare Strahlung: Wellenlängenbereich 380 nm bis 780 nm,
- IR-Strahlung (infrarote Strahlung): Wellenlängenbereich 780 nm bis 1 mm.

Ultraviolette Strahlung wird darüber hinaus in die Bereiche UV-C-Strahlung (100 nm bis 280 nm), UV-B-Strahlung (280 nm bis 315 nm) und UV-A-Strahlung (315 nm bis 380 nm) eingeteilt. UV-B- und UV-C-Strahlung haben die stärkste Wirkung, wenn sie auf die Augen oder die Haut auftreffen. UV-A-Strahlung hat eine geringere Wirkung und ist damit ungefährlicher als UV-C- und UV-B-Strahlung.

Strahlungsspektrum

Misst man die Strahlungsintensität einer Lichtquelle in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Strahlung, dann erhält man ein Strahlungsspektrum. Aus ihm kann man die Verteilung der Strahlenemission auf verschiedene Strahlenarten, z. B. ultraviolette, sichtbare oder infrarote Strahlung, entnehmen. Für den sichtbaren Bereich lassen sich aber auch Rückschlüsse auf die Farben ziehen. Eine blaue Farbe wird durch eine kürzere Wellenlänge erzeugt, eine grüne durch eine mittlere Wellenlänge und eine rote Farbe durch eine längere Wellenlänge. Es gibt Lichtquellen, die nur bei bestimmten Wellenlängen emittieren und daher nur einzelne Farben zeigen. Dazu gehören z. B. LEDs, die grünes oder rotes Licht aussenden. Andere Lichtquellen, wie die Sonne oder Glühlampen, emittieren alle Wellenlängen gleichzeitig. Daraus ergibt sich durch die Überlagerung aller Farben ein weißer Farbeindruck. Bei Leuchtstofflampen und Kompakt-Leuchtstofflampen sind im Strahlungsspektrum einzelne Farblinien und ein kontinuierlicher Farbuntergrund kombiniert.

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad gibt für ein Gerät, in dem Energie umgewandelt wird, das Verhältnis der in der jeweiligen Anwendung abgegebenen Leistung zu der zugeführten Leistung an. Eine Glühlampe hat z. B. für die Lichterzeugung einen Wirkungsgrad von 3 – 5 %. Das bedeutet, dass nur 3 – 5 % der elektrisch zugeführten Leistung in sichtbare Strahlungsleistung (Licht) umgewandelt wird.

8 Literaturverzeichnis

- [BfG 2004] Bundesamt für Gesundheit: EMF von Energiesparlampen – Feldmessungen und Expositionsabschätzungen mit Vergleich zu anderen Quellen im Alltag (Schlussbericht November 2004);
<http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=1004>
(zuletzt besucht am 16.02.2010)
- [BfG 2010] Bundesamt für Gesundheit: Elektromagnetische Felder von Energiesparlampen – Merkblatt für Interessierte;
<http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=1004>
(zuletzt besucht am 16.02.2010)
- [BfS 2009] Bundesamt für Strahlenschutz; Information zu elektromagnetischen Emissionen von Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen);
www.bfs.de/de/elektro/papiere/Energiesparlampen.html (2009)
(zuletzt besucht am 16.02.2010)
- [EBPG 2008] Gesetz über die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (Energiebetriebene-Produkte-Gesetz – EBPG); Bundesgesetzblatt Teil 1 Nr. 7 S. 258 (2008)
- [Eder et al. 2009] Eder, H., Geschwendtner, D., Hofmann, P., Liesenkötter, B., Matthes, R.: Elektrische und magnetische Felder von Kompaktleuchtstofflampen. Strahlenschutzpraxis, 59-67 (2009)
- [EG 1999] Empfehlung des Rates zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)
- [EG 2005] Verordnung (EG) Nr. 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie der Richtlinie 96/57/EG und 2000/55/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates; ABl. EU Nr. L 191 S. 29 (2005)
- [EG 2009] Verordnung (EG) Nr. 244/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht; ABl. Nr. L 76 S. 3 (2009)
- [EG 2009a] Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb und zur Aufhebung der Richtlinie 2000/55/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates; ABl. L76 S.17 (2009)
- [Equipment Energy Efficiency Committee 2008] Equipment Energy Efficiency Committee: Proposal to Phase-Out Inefficient Incandescent Light Bulbs;
www.energyrating.gov.au/library/pubs/200808-ris-phaseout.pdf (2008)
(zuletzt besucht am 27.04.2010)

- [FS 2006] Fachverband für Strahlenschutz: Leitfäden "Nichtionisierende Strahlung" Sonnenstrahlung;
http://osiris22.pi-consult.de/unserdata/1_20/p_105/library/data/fs-06-130-2-aknir_sonnenstrahlung.pdf
(2006) (zuletzt besucht am 27.04.2010)
- [DENA 2010] Deutsche Energie-Agentur: EU-Label in der Übersicht;
www.stromeffizienz.de/eu-label/eu-label-in-der-uebersicht.html
(zuletzt besucht am 28.04.2010)
- [DIN 50285 1999] DIN EN 50285:1999-06 Energieeffizienz von elektrischen Lampen für den Hausgebrauch – Messverfahren; Beuth Verlag
- [DIN 60969 2001] DIN EN 60969:2001-06 Lampen mit eingebautem Vorschaltgerät für Allgemeinbeleuchtung - Anforderungen an die Arbeitsweise (IEC 60969:1988 + A1:1991 + A2:2000); Deutsche Fassung EN 60969:1993 + A1:1993 + Corrigendum 1993 + A2:2000; Beuth Verlag
- [DIN 60064 2008] DIN EN 60064:2008-05 Glühlampen für den Hausgebrauch und ähnliche allgemeine Beleuchtungszwecke - Anforderungen an die Arbeitsweise (IEC 60064:1993, modifiziert + A2:2002, modifiziert + A3:2005, modifiziert + A4:2007, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60064:1995 + A2:2003 + A3:2006 + A4:2007 + A11:2007; Beuth Verlag
- [DIN 60357 2009] DIN EN 60357:2009-05 Halogen-Glühlampen (Fahrzeuglampen ausgenommen) - Anforderungen an die Arbeitsweise (IEC 60357:2002, modifiziert + A1:2006, modifiziert + A2:2008); Deutsche Fassung EN 60357:2003 + Corrigendum:2003 + A1:2008 + A2:2008; Beuth Verlag
- [DIN 62471 2009] DIN EN 62471:2009-03 Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen (IEC 62471:2006, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62471:2008; Beuth Verlag
- [Dürrenberger und Klaus 2004] Dürrenberger, G., Klaus, G.: EMF von Energiesparlampen. Schlussbericht DIS Projekt 100898, Zürich (2004)
- [Handbuch für Beleuchtung 2009] Hrsg.: H. Lange: Handbuch für Beleuchtung, ecomed Verlag, Landsberg 2002 46. Erg.-Lfg. 12/09
- [Horak 2008] Horak, W.: LED-Strahlung: Mögliche fotobiologische Gefährdungen und Sicherheitsvorschriften, Teil 1; Strahlenschutzpraxis H. 3/2008, 56-63
- [Horak 2008a] Horak, W.: LED-Strahlung: Mögliche fotobiologische Gefährdungen und Sicherheitsvorschriften, Teil 2; Strahlenschutzpraxis H. 4/2008, 40-46
- [HPA 2009] HPA – Health Protection Agency: Ultraviolet Radiation (UVR) from Fluorescent Lamps: www.hpa.org.uk (2009)
http://www.hpa.org.uk/webw/HPAweb&HPAwebStandard/HPAweb_C/1195733790804?p=1158934607746&printable=true
(zuletzt besucht am 16.02.2010)
- [ICNIRP 1997] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines on Limits to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0,38 to 3 μm); Health Physics 73(3), 539-554 (1997)
- [ICNIRP 2004] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths Between 1800 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation); Health Physics 87(2), 171-186 (2004)

- [Khazova und O'Hagen 2008] Khazova, M.; O'Hagan, J.B.: Optical Radiation Emissions from Compact Fluorescent Lamps; Radiat. Prot. Dosimetry 131 (2008), 521-525
- [led-info 2010] Leuchtdioden Rechercheportal: www.led-info.de (2010)
(zuletzt besucht am 28.04.2010)
- [Nadakuduti et al. 2010] Nadakuduti, J. Douglas, M.; Capstick, M.; Kühn, S.; Benkler, S.; Kuster, N.: Assessment of EM Exposure of Energy-Saving Bulbs & Possible Mitigation Strategies;
www.news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/18707.pdf
(2010)
(zuletzt besucht am 27.04.2010)
- [Reidenbach et al. 2008] Reidenbach, H.-D.; Dollinger, K.; Ott, G.; Janßen, M.; Brose, M.: Blendung durch optische Strahlungsquellen; Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund/Berlin/Dresden 2008 (407 Seiten)
- [Reidenbach 2009] Reidenbach, H.-D.: Gefährdungsbeurteilung/Risikobewertung von intensiven LED-Quellen; In: Handbuch für Beleuchtung (Hrsg.: H. Lange), ecomed Verlag, Landsberg 2002; 43. Erg.-Lfg. 03/09, Kap. I – 6.13.9, S. 1 – 14
- [SCENIHR 2008] SCENIHR – Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks: Light Sensitivity; (2008)
[http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenih/docs/scenih_r_o_019.pdf](http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenih/ docs/scenih_r_o_019.pdf)
(zuletzt besucht am 16.02.2010)
- [Schlegel 2007] Schlegel, P.: Ergebnisse der Messungen an 14 Sparlampen. Sparlampentest Kassensturz/K-Tipp (2007)
- [SSK 2001] Strahlenschutzkommission: Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; BAnz. Nr. 224 (2001)
- [SSK 2002] Strahlenschutzkommission: Schutz vor solarer UV-Strahlung an Arbeitsplätzen im Freien; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; Veröffentlichungen der SSK; Band 50; 143-145 (2003)
- [SSK 2003] Strahlenschutzkommission: Grundsätze für den Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder und Wellen; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; BAnz. Nr. 211 (2003)
- [SSK 2006] Strahlenschutzkommission: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; Veröffentlichungen der SSK; Band 61; 1-42 (2007)
- [SSK 2007] Strahlenschutzkommission: Schutz des Menschen vor solarer UV-Strahlung; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; BAnz. Nr. 98 (2007)
- [SSK 2007a] Strahlenschutzkommission: Grundsätze bei der Ableitung von Emissionsstandards bei gleichzeitig betriebenen Feldquellen; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; BAnz. 127 (2007)
- [SSK 2008] Strahlenschutzkommission: Nachhaltiger Schutz der Bevölkerung vor UV-Strahlung; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; BAnz Nr. 12 (2008)

[SSK 2008a] Strahlenschutzkommission: Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und –anwendung; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; BAnz. Nr. 142a (2008)

9 Abbildungsnachweis

Abb. 1: © IFA, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Abb. 2: © Sonne-Strahlungsintensität.svg – wikipedia (zuletzt besucht am 30.05.2010)

Abb. 3: © copyright –Fotolia.com

Abb. 4: © IFA, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Abb. 5: © Der Schmoch –Fotolia.com

© IFA, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Abb. 6: © schlinski –Fotolia.com

© IFA, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Abb. 7: © IFA, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Abb. 8: © IFA, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Abb. 9: © IFA, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Abb. 10: © Reidenbach

© IFA, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Abb. 11: © LED weiss phosphor2.svg - wikipedia (zuletzt besucht am 30.05.2010)

Abb. 12: © IFA, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung