

Bundesamt für Strahlenschutz

**Informationen zu elektromagnetischen Emissionen
von Kompaktleuchtstofflampen
(Energiesparlampen)**

Stand 10.08.2009

INHALTSVERZEICHNIS

EINLEITUNG.....	3
1 OPTISCHE STRAHLUNG.....	3
1.1 EMISSION.....	3
1.2 FLIMMERN.....	5
1.3 PHOTOBIOLOGISCHE WIRKUNGEN	6
1.4 GESUNDHEITLICHE BEWERTUNG	8
2 NIEDERFREQUENTE ELEKTRISCHE UND MAGNETISCHE FELDER	10
2.1 NORMATIVE GRUNDLAGEN.....	11
2.2 EMPFOHLENE REFERENZ- UND BASISGRENZWERTE	11
2.3 UNTERSUCHUNGEN VON EXPOSITIONEN	13
3 ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN	15
A. TECHNIK.....	16

Einleitung

Die Europäische Kommission hat am 18. März 2009 auf Grundlage der Richtlinie⁽¹⁾ für energiebetriebene Produkte („Ökodesign-Richtlinie“) eine Verordnung⁽²⁾ zur Verbesserung der Energieeffizienz von Haushaltslampen verabschiedet. Die in der Verordnung enthaltenen Mindestanforderungen werden zu einem schrittweisen Verkaufsverbot herkömmlicher Glühlampen zugunsten energieeffizienterer Lampen führen⁽³⁾. Informationen, welche Lampen zu welchem Zeitpunkt von der Regelung betroffen sind, hat das Umweltbundesamt (UBA) in einer ausführlichen Informationsschrift⁽⁴⁾ zusammengestellt.

An das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) sind im Zusammenhang mit der beschlossenen Neuregelung wiederholt Fragen zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der Emissionen so genannter „Energiesparlampen“ herangetragen worden. Unter der umgangssprachlichen Bezeichnung „Energiesparlampen“ werden Kompaktleuchtstofflampen mit einem integrierten elektronischen Vorschaltgerät verstanden (siehe hierzu auch Anhang Technik). Darüber hinaus existieren verschiedene andere Lampentypen, die im Vergleich zu herkömmlichen Glühlampen ebenfalls als energieeffizient eingestuft werden können⁽⁵⁾, auf die hier aber nur am Rande eingegangen wird. Die im Zusammenhang mit möglichen gesundheitlichen Wirkungen auftretenden Fragen beziehen sich auf die von den Lampen hervorgerufenen elektrischen und magnetischen Felder, auf etwaige Emissionen von UV-Strahlung sowie auf das erzeugte Lichtspektrum.

Im Folgenden werden die dem BfS vorliegenden Informationen zu den jeweiligen Themenkomplexen zusammengefasst und auf Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse bewertet.

1 Optische Strahlung

1.1 Emission

Bauartbedingt erzeugen Kompaktleuchtstofflampen **ultraviolette Strahlung** (UV-Strahlung). Der an der Glasinnenseite des Lampenrohres angebrachte Leuchtstoff setzt einen Großteil der UV-Strahlung in sichtbare Fluoreszenzstrahlung um. Die Emission von UV-Strahlung wird bei Kompaktleuchtstofflampen im Wesentlichen durch die von der wellenlängenabhängigen Durchlässigkeit des verwendeten gläsernen Lampenrohres (Glastransmission) und durch dessen Wandstärke bestimmt. Der verwendete Leuchtstoff hat nur einen geringen Einfluss auf die

¹ Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie der Richtlinien 96/57/EG und 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates,
http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=de&type_doc=Directive&an_doc=2005&nu_doc=32

² 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,
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0003:0016:DE:PDF>

³ Pressemeldung des BMU vom 08.12.08, <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/pdf/42741/>

⁴ Umweltbundesamt: Beleuchtungstechnik mit geringerer Umweltbelastung,
http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/UBA_Licht_Ausgabe_03.pdf

⁵ Phasing out incandescent bulbs in the EU - Technical briefing,
http://ec.europa.eu/energy/efficiency/ecodesign/doc/committee/2008_12_08_technical_briefing_household_lamps.pdf

Emission. Die verwendete Glassorte bestimmt also im Wesentlichen die wellenlängenabhängige UV-Transmission und damit die Zusammensetzung und Intensität der emittierten UV-Strahlung⁽⁶⁾. Im Gegensatz zur Glühlampe ist der **infrarote Anteil** im Spektrum einer Kompaktleuchtstofflampe sehr gering.

Die Farbtemperatur der emittierten **sichtbaren Strahlung (Licht)** wird im Wesentlichen durch das Mischungsverhältnis verschiedener Leuchtstoffe bei der Glasinnenbeschichtung bestimmt. Die Farbtemperatur ist ein Maß für die Intensitätsverteilung der einzelnen Wellenlängen im Lampenspektrum und charakterisiert somit den Farbeindruck, den eine Lampe hervorruft. Prinzipiell können Leuchtstofflampen mit unterschiedlichen Farbtemperaturen hergestellt werden. Je nach Leuchtstoffzusammensetzung erhält man die weißen Leuchtstofflampen in der Regel mit Lichtfarben von 2700 K (warmweiß), 4000 K (neutral-/kaltweiß) und 6500 K (tageslichtweiß). Im Vergleich dazu weist eine 100 W-Glühlampe eine Farbtemperatur von 2800 K und eine Halogenlampe eine Farbtemperatur von 3000 K auf. Das Farbspektrum einer mit „warm-white“ oder „827“ gekennzeichneten Kompaktleuchtstofflampe ist dem einer Glühbirne sehr ähnlich.

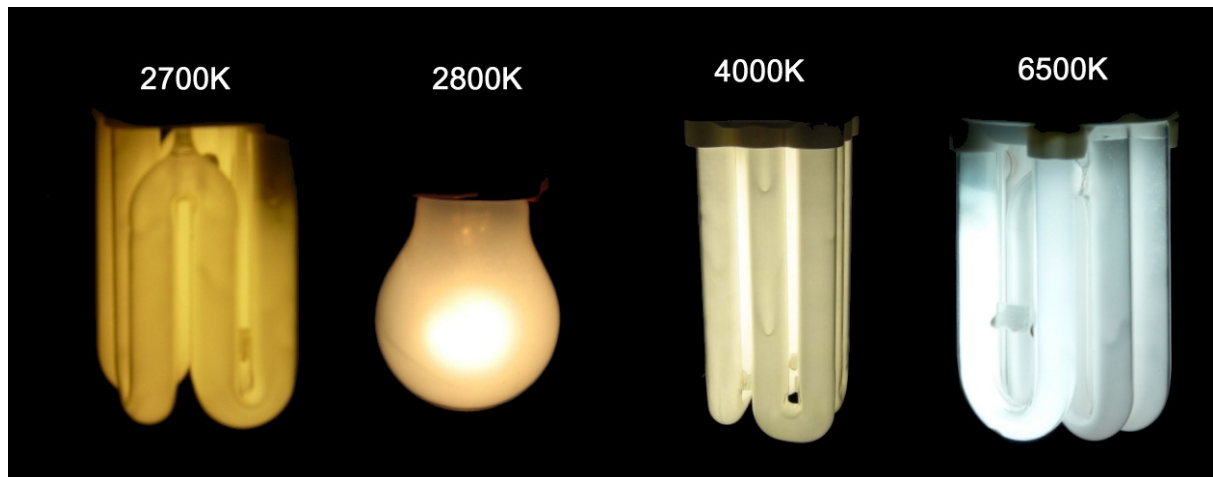


Abbildung 1-1: Kompaktleuchtstofflampen und eine Glühlampe mit unterschiedlichen Farbtemperaturen. Bei einem hohen Blaulichtanteil wird das Licht als eher „kalt“, bei hohem Grünanteil als eher „neutral“ und erst bei hohem Rotanteil als eher „warm“ empfunden.

Die spektrale Verteilung des Lichts von Strahlern mit gleicher Farbtemperatur kann sehr unterschiedlich sein. Glühlampen verfügen über ein kontinuierliches Spektrum, Kompaktleuchtstofflampen über einige schmale Spektralbänder (Abbildung 1-2). Dies beeinflusst die Farbwirkung von Objekten. Mit einer Mischung von drei Leuchtstoffen, die relativ scharfbandig im roten, grünen und blauen Spektralbereich fluoreszieren (sog. Drei-Banden-Leuchtstofflampen), kann bereits eine gute Farbwiedergabe erzielt werden. Die beste Farbwiedergabe mit den geringsten Farbverfälschungen haben aber so genannte Vollspektrum-Leuchtstofflampen. Diese Lampen mit tageslichtähnlichem Spektrum (Fünf-Banden-Leuchtstofflampen) verfügen über breitere Spektralbereiche pro Leuchtstoff, so dass nahezu alle Farben abgedeckt sind. Die Qualität der Farbwiedergabe wird durch den Farbwiedergabeindex R_a beschrieben. Optimal ist dabei ein Wert von 100. Leuchtstofflampen mit einer Farbwiedergabe unter 80 gelten als veraltet und sollten nicht mehr verwendet werden. Werte von 90 können heutzutage gut erreicht werden. Im Vergleich dazu

⁶ Firma Osram: Technische Information 25.3.2009

erreichen Glühlampen Werte bis 100, weiße Leuchtdioden (LEDs) Werte von 70 bis 95.

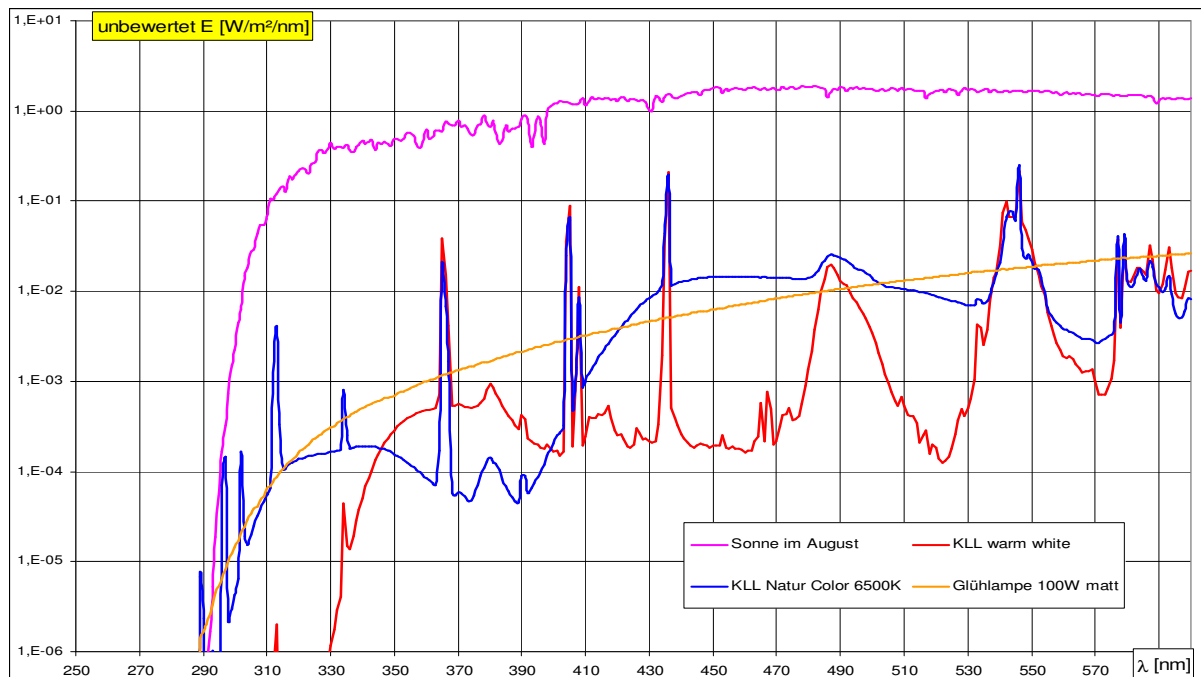


Abbildung 1-2: Spektren von Haushaltslampen im UV-Bereich und im größtenteils sichtbaren Bereich. Im Vergleich zu den Spektren der Lampen ist ein solares UV-Spektrum mit aufgeführt. Deutlich sind die spektralen Unterschiede der beiden Kompaktleuchtstofflampen im blauen Bereich (420-490nm) zu erkennen.

1.2 Flimmern

Die Intensität des Lichts von Leuchtstofflampen mit konventionellem Vorschaltgerät ist Schwankungen mit der doppelten Frequenz (100 Hz) der elektrischen Stromversorgung unterworfen (sog. „Flimmern“). Im Bereich des Nulldurchgangs des Wechselstroms erlischt die Lampe kurzzeitig. Für das menschliche Auge ist dies üblicherweise nicht direkt wahrnehmbar, kann aber bei schnellen Bewegungen oder bei rotierenden Maschinen als stroboskopartiger Effekt einen langsamen oder sogar stehenden Zustand der Maschine vortäuschen. Das Flimmern kann mit den deutlich erhöhten Betriebsfrequenzen der elektronischen Vorschaltgeräte von Kompaktleuchtstofflampen und durch Verwendung von Leuchtstoffen mit einer erhöhten Nachleuchtzeit reduziert werden. Allerdings zeigen britische⁽⁷⁾ und eigene Messungen, dass auch Kompaktleuchtstofflampen Lichtschwankungen bei 100 Hz aufweisen, die etwa 15% der maximalen Lichtintensität betragen können.

Vergleichbares gilt auch für herkömmliche Glühlampen, die am Wechselstromnetz betrieben werden. Auch bei diesem Lampentyp ist die Lichtintensität mit 100 Hz moduliert. Insofern unterscheiden sich Kompaktleuchtstofflampen und Glühlampen bezüglich einer verbleibenden Restwelligkeit der Lichtintensität nicht grundsätzlich voneinander.

Bisher liegt kein signifikanter Hinweis dafür vor, dass das Flimmern sog. „lichtsensitive“ Krankheitssymptome wie z.B. Migräne, Epilepsie oder Autismus auslöst bzw. verschlimmert. Zu dieser Bewertung kommt auch der wissenschaftliche Ausschuss „Neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken“ (SCENIHR) der Europäi-

⁷ M. Khazova and J. B. O'Hagan: „OPTICAL RADIATION EMISSIONS FROM COMPACT FLUORESCENT LAMPS“, Radiation Protection Dosimetry (2008), Vol. 131, No. 4, pp. 521–525

schen Kommission in einem Bericht⁽⁸⁾ zum Thema Lichtsensitivität. Die SCENIHR-Bewertung basierte aus Mangel an aktuellen Daten zu Kompaktleuchtstofflampen auf zur Verfügung stehenden Datensätzen von Leuchtstofflampen und wurde auf Situationen extrapoliert, in denen Kompaktleuchtstofflampen eingesetzt werden.

1.3 Photobiologische Wirkungen

Das Ausmaß der durch optische Strahlung initiierten biologischen Effekte wird einerseits durch die Intensität, die Dauer und die spektrale Zusammensetzung der optischen Strahlung, andererseits durch die individuelle Empfindlichkeit einer Person bestimmt. Für eine Abschätzung des gesundheitlichen Gefährdungspotenzials von Kompaktleuchtstofflampen sind nur die ultraviolette (200-400 nm) und die sichtbare (400-780 nm) Strahlung relevant. Der infrarote Anteil ist bei Kompaktleuchtstofflampen sehr gering und kann vernachlässigt werden. Da optische Strahlung nur in geringem Maße in biologisches Gewebe eindringt, sind bei der gesundheitlichen Bewertung nur das Auge und die Haut zu berücksichtigen.

Die biologischen Wirkungen der optischen Strahlung beruhen auf einer photochemischen Umwandlung der Strahlungsenergie und auf der Erwärmung des Gewebes. Sie sind stark wellenlängenabhängig: mit abnehmender Wellenlänge steigen die Energie und die biologische Wirksamkeit der Strahlung. UV-Strahlung wird klassisch in 3 Teilbereiche eingeteilt. Im UV-C- (200-280 nm) und auch noch im UV-B-Bereich (280-315 nm) kann die DNA, die Erbsubstanz, direkt geschädigt werden. Im längerwelligen UV-A-Bereich (315-400 nm) ist eine Schädigung indirekt durch Induktion von Sauerstoffradikalen möglich.

UV-Strahlung kann in ausreichender Intensität an der **Haut** eine **akute** entzündliche Hautrötung hervorrufen, obwohl die Haut über langfristig wirkende Schutzmechanismen verfügt, wie die effektive Hornschichtverdickung (Lichtschwiele) und Pigmentierung (Hautbräunung). Die erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem) wird als minimale erythemwirksame Dosis (MED) bezeichnet, ist hauttypabhängig und beträgt für den Hauttyp II etwa 250 J/m². UV-Strahlung kann zudem das Immunsystem und die damit verbundene Körperabwehr bei Infektionskrankheiten schwächen. Eine Schwächung kann schon unterhalb von 1 MED auftreten. Am **Auge** kann UV-Strahlung als akute Folge Hornhautentzündung (Photokeratitis) und Bindehautentzündung (Photokonjunktivitis) hervorrufen. Die Entzündung tritt 6 - 12 Stunden nach der Exposition auf, ist sehr schmerzhaft und kann ca. 1 - 2 Tage anhalten.

Die mögliche Entstehung von Hautkrebs ist die schwerwiegendste **chronische** Folge einer Bestrahlung mit UV. Sie beruht auf einer genetischen DNA-Veränderung in den Hautzellen. Neben dem malignen Melanom (schwarzer Hautkrebs) sind vor allem das Basalzellkarzinom und Plattenepithelkarzinom zu nennen, die insgesamt allein in Deutschland mit ca. 140.000 Neuerkrankungen pro Jahr zu den häufigsten malignen Tumoren des Menschen zählen. Hautkrebs tritt in der Regel erst nach 20-30 Jahren nach Bestrahlung auf. Als bedeutendste chronische Reaktion am **Auge** gilt die Linsentrübung (Grauer Star, Katarakt). Die Erkrankungen nehmen mit zunehmender Lebenszeitdosis zu. Ursachen dafür sind einerseits die zunehmende UV-Durchlässigkeit der Hornhaut und eine dadurch bedingte erhöhte Strahlenbelastung der Linse, andererseits die fehlenden Reparaturmöglichkeiten in den Linsenzellen

⁸ SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks), Scientific opinion on light sensitivity, 23 September 2008, http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_019.pdf

nach vorausgegangenen Schädigungen. Katarakte sind weltweit für 50% der Erblindungen verantwortlich.

Kurzzeitig einwirkende längerwellige **UV- A-Strahlung** initiiert vorwiegend phototoxische und photoallergische Prozesse, die über körpereigene oder -fremde Stoffe die Strahlenempfindlichkeit der **Haut** erhöhen. Bei einer phototoxischen Dermatitis werden Substanzen unter UV-Strahlungseinwirkung direkt zu entzündungsauslösenden Substanzen verändert, bei photoallergischen Reaktionen wird eine Substanz durch UV-Strahlung chemisch aktiviert, bindet an ein Makromolekül und kann so eine Sensibilisierung mit nachfolgenden allergischen Reaktionen hervorrufen.

Langfristig bewirkt eine erhöhte UV-Bestrahlung auch die vorzeitige Alterung der Haut. Dahinter verbirgt sich vornehmlich eine Bindegewebeschädigung mit vermehrter Faltenbildung sowie Zerstörung der elastischen Fasern. Pigment- und Verhornungsstörungen können zusätzlich auftreten.

Langwellige UV-A-Strahlung und **kurzwellige sichtbare Strahlung** (Blaulicht) können die Netzhaut des **Auges** erreichen und photochemisch schädigen (sog. „blue light hazard“). Wellenlängen um 440 nm haben dabei die höchste Wirksamkeit. Die Schädigung ist auf den beleuchteten Teil der Netzhaut begrenzt. Ursache für diesen Prozess scheint die nur sehr langsame Ausbleichung des Rhodopsins zu sein, die eine signifikant verlängerte Blauabsorption mit nachfolgender irreversibler Schädigung der Sinneszellen bewirkt. Alterungsprozesse, wie die Ablagerung von Stoffwechselendprodukten (Lipofuszin) in der Netzhaut erhöhen die Sensitivität gegenüber Schädigungen durch chronische Lichtexposition. Bei der Bestrahlung von Lipofuszin durch Blaulicht entstehen toxische Photoprodukte, die die Zellfunktion schädigen. Es gibt Hinweise, dass diese Mechanismen eine Entstehung der altersabhängigen Makuladegeneration begünstigt. Es bestehen zwar eine Reihe von Schutzmechanismen wie z.B. mit Hilfe von Sauerstoffradikalfängern (Xanthophyll, Melanin, Vitamin C etc.), die allerdings durch individuelle Disposition und das Alter abgeschwächt werden können.

Bei einer Exposition mit längerwelliger **sichtbarer Strahlung** kann es zu einem thermischen Schaden kommen. Je höher die Strahldichte und je kleiner die Wärmeableitung des exponierten Gewebes ist, desto schneller kann es zu einer signifikanten Erhöhung der Gewebetemperatur kommen. Bei Temperaturen von ca. 50 °C treten irreversible Zellschädigungen auf, ab 60-70 °C kann das Gewebe koagulieren (Gerinnung des Eiweißes). Für eine gesundheitliche Bewertung sind in erster Linie thermische Schäden der Netzhaut relevant. Der Schaden ist vor allem von der Bildgröße abhängig. Bei kleinen Bildgrößen wird die Wärme schneller abgeleitet als bei großen, die Temperatur kann nicht so stark steigen.

Die Haut hingegen ermöglicht mit einer Vielzahl von Thermorezeptoren, Temperaturen wahrzunehmen und den Körper vor zu hohen lokalen Temperatureinwirkungen zu schützen.

Die derzeit auf dem Markt erhältlichen Kompaktleuchtstofflampen erreichen schon wegen der mangelnden Fokussierbarkeit und der damit fehlenden Intensitätssteigerung keine hinreichend hohen Strahldichten, dass es zu einem thermischen Schaden kommen kann. Die Grenzwerte für thermische Netzhautschäden werden sicher eingehalten und sie werden deshalb in Kapitel 1.4 nicht weiter berücksichtigt.

1.4 Gesundheitliche Bewertung

Die Schwierigkeit der gesundheitlichen Bewertung von optischer Strahlung liegt daran, dass die Wirkungen eine sehr starke Wellenlängenabhängigkeit besitzen.

Ausgangspunkt für die gesundheitliche Bewertung von Kompaktleuchtstofflampen ist die EG-Richtlinie 2005/32/EG (siehe Fußnote auf Seite 3), die einen Rahmen für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte („Ökodesign“) schafft. In der 2009 erlassenen Verordnung 244/2009 zur Durchführung dieser Richtlinie wurde explizit auf die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht eingegangen. Bei der Umsetzung einer verbesserten Energieeffizienz im Rahmen eines Stufenplanes sollten keine Nachteile für Gesundheit, Sicherheit und Umwelt entstehen. Im Anhang II der Verordnung wurden die Anforderungen an die Betriebseigenschaften von Kompaktleuchtstofflampen konkretisiert, bezüglich der optischen Strahlung allerdings auf den UV-Bereich beschränkt. Für die Stufen⁽⁹⁾ 1 bis 5 wurde für UV-A + UV-B-Strahlung ein Grenzwert von 2,0 mW/klm, für UV-C-Strahlung ein Grenzwert von 0,01 mW/klm angegeben. Diese Grenzwerte (UV-A und UV-B) beziehen sich auf die spezifische effektive UV-Strahlung. Die zur Prüfung der Anforderungen notwendigen Messverfahren sind nach DIN EN 62471 „Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen“ vorzunehmen.

Lampen (Ausnahme gepulste Lampen) können nach DIN EN 62471 bezüglich ihrer photobiologischen Gefahr klassifiziert werden. Für die sog. (risiko)freie Gruppe werden Gefahrenwerte der Bestrahlungsstärke oder der Strahldichte bei einem Abstand angegeben, der einer Beleuchtungsstärke von 500 lux entspricht, aber nicht kleiner sein darf als 20 cm. Nach der Norm wird keine Gefahr angenommen, wenn die Werte in Tabelle 1-1 eingehalten werden.

aktinisches UV innerhalb 8 h	$E_s \leq 1 \text{ mW/m}^2$
UV-A innerhalb 16 min	$E_{\text{UVA}} \leq 10 \text{ W/m}^2$
Photochemische Netzhautgefährdung $\leq 2,8 \text{ h}$	$L_B \leq 100 \text{ W/m}^2 \text{ sr}$

Tabelle 1-1: Emissionsgrenzwerte für risikofreie Lampen nach DIN EN 62471

Der Emissionsgrenzwert für aktinisches UV entspricht der internationalen Grenzwertempfehlung der „Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung“ (ICNIRP), der Emissionsgrenzwert für die UV-A Strahlung ist deutlich höher als von ICNIRP empfohlen.

Für eine gesundheitliche Beurteilung des Gefährdungspotenzials sind die EG-Verordnung 244/2009 wegen der fehlenden Grenzwerte im sichtbaren Bereich und die Norm DIN EN 62471 wegen eines zu hohen UV-A-Grenzwertes nicht optimal. Besser geeignet erscheint die ein Jahr nach der „Ökodesign“-Richtlinie verabschiedete Richtlinie 2006/25/EG⁽¹⁰⁾ über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische

⁹ Die Stufen beziehen sich auf die zeitlich gestaffelte Ausweitung des Anwendungsbereichs der Anforderungen an die Energieeffizienz in der Verordnung 244/2009.

¹⁰ RICHTLINIE 2006/25/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG)
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:114:0038:0059:DE:PDF>

Einwirkungen (künstliche optische Strahlung). Zu berücksichtigen ist allerdings, dass diese Richtlinie eine Mindestvorschrift für Arbeitnehmer ist. Für die Allgemeinbevölkerung sollten bei einer gesundheitlichen Bewertung die Grenzwerte keinesfalls ausgeschöpft werden, sondern deutlich unterschritten werden. Für die relevanten Größen liegen folgende Emissionsgrenzwerte vor, die vor den jeweiligen wellenlängenabhängigen Gefährdungen schützen und auf die in den folgenden Betrachtungen Bezug genommen wird:

UV-A, -B, -C	180 – 400 nm, Tageswert 8 Stunden	$H_{\text{eff}} = 30 \text{ J/m}^2$
UV-A	315 – 400 nm, Tageswert 8 Stunden	$H_{\text{UVA}} = 10.000 \text{ J/m}^2$
Blaulicht	300 – 700 nm, $\alpha \geq 11 \text{ mrad}$, $t < 2,8 \text{ h}$	$L_B = 10^6 / t \text{ [W/sr}^*\text{m}^2]$, $t \text{ in [s]}$
	300 – 700 nm, $\alpha \geq 11 \text{ mrad}$, $t > 2,8 \text{ h}$	$L_B = 100 \text{ W/sr}^*\text{m}^2$

Tabelle 1-2: Grenzwerte für inkohärente optische Strahlung nach Richtlinie 2006/25/EG; zum Vergleich mit den Grenzwerten für H_{eff} und L_B sind die gemessenen spektralen Bestrahlungsstärken mit dem wellenlängenabhängigen biologischen Wirkungsspektrum der jeweiligen Gefährdung zu gewichten. Zum Schutz vor der Gefährdung durch Blaulicht ist ein Grenzwert für die Strahldichte einzuhalten, der bei Expositionen über 2,8h konstant, bei kürzeren Expositionen aber höher angesetzt wurde. α bezeichnet den Betrachtungswinkel, unter dem eine Quelle aufgrund ihrer Abmessungen vom Betrachter aus erfasst wird. sr steht für Steradian.

Zur Zeit liegen nur vereinzelt öffentlich zugängliche Daten über optische Messungen an Kompaktleuchtstofflampen vor. Der Grund scheint darin zu liegen, dass zum Einen Kompaktleuchtstofflampen in ihren Abstrahleigenschaften mit Leuchtstofflampen korrespondieren, zum Anderen diesem Lampentyp kein großes Gefährdungspotenzial unterstellt wird. Die Diskussion über eine Gefährdung wird vornehmlich im Hinblick auf die Durchführung der EG-Verordnung (244/2009) forciert.

Bei Messungen an insgesamt 73 Kompaktleuchtstofflampen fanden Khazova and O'Hagan⁽⁷⁾ bei einigen (7,5%) der Lampen UV-Emissionen, die in durchaus praxisnahen Entfernungen von 20 cm bei einer über die Dauer eines gesamten Arbeitstages von 8 Stunden anhaltenden Exposition Werte im Bereich des ICNIRP-Grenzwerts von 30 J/m^2 verursachen können. Betroffen waren nur Lampentypen ohne zusätzlichem Glaskolben (siehe Anhang Technik). Angaben zu UV-A oder dem emittierten Blaulicht wurden in der Veröffentlichung nicht gemacht.

Vom BfS durchgeführte Messungen an 21 Kompaktleuchtstofflampen ergaben bei einem Messabstand von 20 cm auf 8 Stunden bezogene Expositionswerte, die 0,4 bis 89% des Grenzwerts erreichten. Die Ausschöpfung des Grenzwerts durch die unterschiedlichen Kompaktleuchtstofflampen variierte sehr stark und war weder von der Nennleistung der Lampen noch von einem zusätzlichen Glaskolben abhängig. Dies bestätigt, dass offensichtlich die verwendete Glassorte die UV-Emission entscheidend beeinflusst. Die durchgeführten Bewertungen der ungewichteten UV-A Strahlung lagen zwischen 0,02 und 70% des hierfür festgelegten Grenzwerts und variierten demzufolge ebenfalls stark.

In diesem Zusammenhang ist allerdings darauf hinzuweisen, dass die zum Vergleich (siehe auch Abbildung 1-2) untersuchten 100 W Glühlampen ebenfalls UV-Strahlung emittierten. In 20 cm Abstand von diesen Glühlampen würde nach einer 8 Stunden andauernden Exposition der Arbeitsschutzgrenzwert zwischen 3 und 19% (38 bis 48% des UV-A Grenzwertes) ausgeschöpft werden. Die Emission von UV-Strahlung ist demnach im Bereich Haushaltslampen nicht auf Kompaktleuchtstofflampen begrenzt. Je nach Hersteller und Typ können die Emissionen höher oder niedriger

als bei Glühlampen ausfallen. Zum Vergleich: durch die natürliche UV-Strahlung der Sonne wird der Grenzwert im Süden Deutschlands an einem sonnigen Sommertag bereits nach ca. 3 Minuten erreicht.

Um das Risiko einer photochemischen Schädigung an der Retina zu bewerten, muss die mit der Wirkungsfunktion für **Blaulichtschaden** bewertete spektrale Strahldichte ermittelt und mit dem Grenzwert verglichen werden. Für eine gesundheitliche Bewertung der Emissionen von Kompaktleuchtstofflampen für die allgemeine Bevölkerung sollte auch hier, wie bei der UV-A-Strahlung, von einer Expositionsdauer eines 8-Stunden-Tages ausgegangen werden. Der entsprechende ICNIRP-Grenzwert beträgt $100 \text{ W/sr}\cdot\text{m}^2$.

Eigene Messungen an Kompaktleuchtstofflampen verschiedener elektrischer Leistungsklassen zeigten in keinem Fall eine Grenzwertüberschreitung. Alle Messwerte lagen mindestens um einen Faktor 5 niedriger. Diese Ergebnisse bestätigen Messungen von Dieter Lang, die er im Rahmen einer Stellungnahme⁽¹¹⁾ veröffentlicht hat. Die effektive Strahldichte einer Kompaktleuchtstofflampe (2700 K) wird von ihm mit $21 \text{ W/sr}\cdot\text{m}^2$ angegeben. Im Vergleich dazu können Glühbirnen (klar) und Halogenlampen eine deutlich höhere effektive Strahldichte aufweisen. Bei derartigen Lampen kann der Grenzwert bereits nach wenigen Minuten überschritten werden.

Bei der obigen Bewertung ist bzgl. des Auges zu berücksichtigen, dass die Angaben jeweils auf Expositionswerten in Situationen basieren, in denen der Blick direkt auf die beschriebene Lichtquelle gerichtet ist. Obwohl dies eine Überschätzung des Risikos zu sein scheint, da ein längerer Blick in intensive Lichtquellen aufgrund der Blendung meist vermieden wird, sollten die gesundheitlich riskanten Anteile der emittierten Strahlung so gering wie möglich gehalten werden. Dies trifft insbesondere für die UV-Strahlung zu, die für den Sehvorgang nicht benötigt wird.

2 Niederfrequente elektrische und magnetische Felder

Kompaktleuchtstofflampen emittieren elektrische und magnetische Felder mit der Frequenz der Netzstromversorgung (50 Hz) sowie mit der Betriebsfrequenz, die je nach Hersteller und Lampentyp etwa zwischen 25 und 70 kHz liegt (siehe Anhang Technik) und moduliert sein kann. Hinzu kommen Feldanteile mit Frequenzen etwaiger Oberwellen, also von Vielfachen von 50 Hz bzw. der jeweiligen Betriebsfrequenz. Hinsichtlich des Auftretens von Feldkomponenten mit der Frequenz der Netzstromversorgung unterscheiden sich Kompaktleuchtstofflampen nicht von Glühlampen. Quelle der Feldkomponenten mit Frequenzen im Kilohertzbereich sind die integrierten elektronischen Vorschaltgeräte (EVG), wobei die Abstrahlung entlang der gesamten Entladungsstrecke, also entlang des gebogenen Glaskolbens stattfindet. Bei den schon lange gebräuchlichen stabförmigen Leuchtstofflampen („Leuchtstoffröhren“) treten diese Felder ebenfalls auf, wenn sie mit einem EVG betrieben werden. Mit der Abstrahlung der Feldkomponenten ist keine Funktion verbunden, d.h. es handelt sich um eine ungewollte Abstrahlung.

¹¹ „Blaulicht ist nicht gleich Blaulicht“, Leserbrief von Dieter Lang, LiTG Bezirksgruppe Südbayern zum Artikel „Die Glühlampe aus gesundheitlichen Gründen bewahren, oder ist Tageslicht wirklich am besten für die Gesundheit?“ von Prof. Klaus Stolzenberg in (LICHT 2008-4)

2.1 Normative Grundlagen

Die Hersteller bzw. Inverkehrbringer sind für die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) eines elektrischen Geräts verantwortlich. Gemäß Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln⁽¹²⁾ muss dafür Sorge getragen werden, dass die von Geräten ausgesendeten elektrischen und magnetischen Felder andere Geräte nicht in unannehmbare Weise stören. Dies gilt auch für Kompaktleuchtstofflampen. Eine Norm, mit der die Einhaltung von Anforderungen für elektrische Beleuchtungseinrichtungen und ähnliche Elektrogeräte nachgewiesen werden kann, ist DIN EN 55015⁽¹³⁾. Sie bezieht sich allerdings ausschließlich auf magnetische Störfeldstärken, elektrische Felder werden nicht bewertet.

Befindet sich eine Person im Einwirkungsbereich der Lampen, dann können die Felder Ströme im Inneren des menschlichen Körpers hervorrufen. Zum Schutz der Bevölkerung empfiehlt der Rat der Europäischen Union auf Grundlage der Leitlinien der Internationalen Kommission zum Schutz vor Nichtionisierender Strahlung⁽¹⁴⁾ in der Empfehlung⁽¹⁵⁾ 1999/519/EG ein System aus Basisgrenzwerten und Referenzwerten. Werden die Referenzwerte, die außerhalb des Körper gemessen werden können, unterschritten, so kann von der Einhaltung der empfohlenen Basisgrenzwerte, die sich im hier zu berücksichtigenden Frequenzbereich hauptsächlich auf die hervorgerufenen elektrischen Ströme im Körper beziehen, ausgegangen werden. Werden die Referenzwerte dagegen überschritten, muss mittels zusätzlicher Untersuchungen geprüft werden, ob die Basisgrenzwerte eingehalten werden. Verfahren zur Überprüfung der Konformität, die speziell auf die Feldbedingungen in der Umgebung von Haushaltsgeräten zugeschnitten sind, werden in der Norm DIN EN 62233⁽¹⁶⁾ beschrieben. Spezielle Methoden für die Bewertung von Lampen sind allerdings nicht darunter. Auch zielt DIN EN 62233 ähnlich wie DIN EN 55015 vornehmlich auf magnetische Felder ab, ohne elektrische Felder hinreichend zu berücksichtigen. Für Lampen ist aktuell der IEC-Normentwurf 62493⁽¹⁷⁾ in Beratung, der ein genormtes Messverfahren für die Bewertung elektrischer Felder vorschlägt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es derzeit kein allgemein akzeptiertes standardisiertes Mess- oder Berechnungsverfahren zur Bewertung der Exposition von Personen gegenüber den elektrischen und magnetischen Feldern von Kompaktleuchtstofflampen gibt.

2.2 Empfohlene Referenz- und Basisgrenzwerte

Die von den elektrischen und magnetischen Feldern von Kompaktleuchtstofflampen im menschlichen Körper hervorgerufenen Ströme sind aufgrund ihrer Frequenzzusammensetzung bei einer entsprechend hohen Exposition grundsätzlich in der Lage, Körperzellen elektrisch zu stimulieren. Ab einer Frequenz von 100 kHz

¹² Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG)
<http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/emvbg/gesamt.pdf>

¹³ DIN EN 55015 „Grenzwerte und Messverfahren für Funkstörungen von elektrischen Beleuchtungseinrichtungen und ähnlichen Elektrogeräten“

¹⁴ ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics: 494-522; 1998.

¹⁵ EMPFEHLUNG DES RATES vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz — 300 GHz)

¹⁶ DIN EN 62233 „Verfahren zur Messung der elektromagnetischen Felder von Haushaltsgeräten und ähnlichen Elektrogeräten im Hinblick auf die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern“

¹⁷ DIN IEC 62493 „Beurteilung von Beleuchtungseinrichtungen bezüglich der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern“, Entwurf Juni 2008

sind zusätzlich thermische Wirkungen zu berücksichtigen. Frequenzen über 100 kHz treten bei Induktionslampen (siehe Anhang Technik) auf. Die Betriebsfrequenzen der Kompaktleuchtstofflampen liegen üblicherweise unterhalb von 100 kHz, so dass diesbezüglich nur Oberwellenanteile zu berücksichtigen sind. Glühlampen verursachen ausschließlich Felder bei der Netzstromfrequenz.

Elektrische Reizwirkungen können ausgeschlossen werden, wenn im Körper der von der ICNIRP und der EU empfohlene Basisgrenzwert nicht überschritten wird. Aufgrund der frequenzabhängigen elektrischen Erregbarkeit menschlicher Zellen ist auch der empfohlene Basisgrenzwert frequenzabhängig. Er beträgt im Bereich der Netzstromfrequenz 2 mA/m^2 und nimmt ab 1 kHz proportional zur Frequenz zu. Für Frequenzen über 10 MHz ist kein Basisgrenzwert für elektrische Reizwirkungen definiert. Für die Netzstromfrequenz und ihre Oberwellen beträgt der empfohlene Grenzwert demnach 2 mA/m^2 , während er für die Betriebsfrequenzen von Kompaktleuchtstofflampen zwischen 50 und 140 mA/m^2 liegt. Bei der für Induktionslampen verwendeten Betriebsfrequenz ist ein Wert von 5300 mA/m^2 maßgebend. Für die Bewertung der Stromdichten gegen den empfohlenen Basisgrenzwert sind diese über einen Querschnitt von 1 cm^2 senkrecht zur Stromrichtung zu mitteln. Der Basisgrenzwert ist im Gewebe des Zentralen Nervensystems einzuhalten, in anderen Gewebereichen können höhere Stromdichten auftreten⁽¹⁸⁾. Gesundheitlich relevante thermische Wirkungen können nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand ausgeschlossen werden, wenn für Frequenzen über 100 kHz die Spezifische Absorptionsrate SAR gemittelt über den gesamten Körper unter $0,08 \text{ W/kg}$ bleibt und bei Mittelungen über zusammenhängende Gewebevolumenta mit einer Masse von 10 g lokal den Wert von 2 W/kg nicht übersteigt.

Da die Bestimmung von gewebespezifischen Stromdichten und Spezifischen Absorptionsraten im menschlichen Körper messtechnisch nicht möglich ist, müssen hierfür rechentechnische Verfahren eingesetzt werden. Von derartigen Simulationsrechnungen wurden Referenzwerte für die externen, also außerhalb des Körpers messbaren, elektrischen und magnetischen Feldstärken abgeleitet, mit denen die Einhaltung der empfohlenen Basisgrenzwerte geprüft werden kann (siehe auch Kapitel 2.1). Hierbei wurde berücksichtigt, dass sowohl die Basisgrenzwerte wie auch die Einkopplung externer Felder in den Körper frequenzabhängig sind:

Frequenz f [Hz]	Elektrische Feldstärke [kV/m]
$2,5 \times 10^1 - 3,0 \times 10^3$	$250 \times f^{-1}$
$3,0 \times 10^3 - 1,0 \times 10^6$	0,087
$1,0 \times 10^6 - 1,0 \times 10^7$	$0,087 \times (10^{-6} \times f)^{-0,5}$

Tabelle 2-1: Referenzwerte für das elektrische Feld (Effektivwerte)

Bei der Netzstromfrequenz beträgt der Referenzwert für elektrische Feldstärken 5 kV/m , bei den Betriebsfrequenzen von Kompaktleuchtstofflampen 87 V/m . Bei der Betriebsfrequenz von Induktionslampen ($2,65 \text{ MHz}$) ist ein Wert von 53 V/m zu berücksichtigen.

Frequenz f [Hz]	Magnetische Flussdichte [μT]
$2,5 \times 10^1 - 8,0 \times 10^2$	$5000 \times f^{-1}$
$8,0 \times 10^2 - 1,5 \times 10^5$	6,25
$1,5 \times 10^5 - 1,0 \times 10^7$	$0,92 \times (10^{-6} \times f)^{-1}$

Tabelle 2-2: Referenzwerte für das magnetische Feld (Effektivwerte)

¹⁸ ICNIRP: Response to Questions and Comments on the Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)* Health Physics 75 (4), 438-439; 1998

Bei der Netzstromfrequenz beträgt der Referenzwert für magnetische Flussdichten $100 \mu\text{T}$, bei den Betriebsfrequenzen von Kompaktleuchtstofflampen $6,25 \mu\text{T}$. Bei der Betriebsfrequenz von Induktionslampen ($2,65 \text{ MHz}$) ist ein Wert von $0,34 \mu\text{T}$ zu berücksichtigen.

2.3 Untersuchungen von Expositionen

Im Jahr 2004 wurde ein im Auftrag der schweizerischen Bundesämter für Gesundheit (BAG) und Energie (BFE) von der Forschungsstiftung Mobilkommunikation durchgeführtes Vorhaben⁽¹⁹⁾ abgeschlossen. Gemessen wurden die elektrischen und magnetischen Felder in der unmittelbaren Umgebung von 11 unterschiedlichen Kompaktleuchtstofflampen. Angegeben wurden Werte, die bei frequenzselektiven Messungen in einer Entfernung von 30 cm auftraten. Oberwellen wurden nur bei den Betriebsfrequenzen berücksichtigt. Demnach lagen bei der Netzstromfrequenz die magnetischen Felder bei 10 nT (Faktor 10.000 unter dem Referenzwert) und die elektrischen Felder zwischen 70 V/m und 115 V/m (ca. Faktor 40 bis 70 unter dem Referenzwert). Bei den Betriebsfrequenzen erreichten die magnetischen Felder Werte bis etwa 30 nT (Faktor 200 unter dem Referenzwert) und die elektrischen Feldstärken lagen unterhalb von 1 V/m (mehr als Faktor 87 unter dem Referenzwert).

Im Jahr 2007 wurden im Auftrag der schweizerischer Konsumentenzeitschrift „K-Tipp“ Messungen an 14 Kompaktleuchtstofflampen durchgeführt. Angegeben wurden auch hier Feldstärkewerte, die bei Messungen in einer Entfernung von 30 cm auftraten. Es wurde jeweils breitbandig im Bereich der Netzstromfrequenz (5 Hz bis 2 kHz) und der Betriebsfrequenzen (2 kHz bis 400 kHz) gemessen. Demnach lagen die magnetischen Wechselfelder im Bereich der Betriebsfrequenzen bei allen Lampen unter 80 nT (Faktor 78 unter dem Referenzwert). Die elektrischen Felder lagen bei der Netzstromfrequenz zwischen 40 und 63 V/m (Faktor 79 bis 125 unter dem Referenzwert für 50 Hz) und im Bereich der Betriebsfrequenzen zwischen 7 und 40 V/m (ca. Faktor 2 bis 12 unter dem Referenzwert). Die durchgeführten Untersuchungen unterscheiden sich von denen für die schweizerischen Bundesämter durchgeführten Messungen hinsichtlich der eingesetzten Messmittel, insbesondere der Antennen.

Für die Ausgaben 01/2006 und 03/2008 der Zeitschrift „test“ wurden im Auftrag der Stiftung Warentest die elektrischen Feldstärken im Abstand von 30 cm (in der Ausgabe 03/2008 zusätzlich auch 50 cm) von 27 bzw. 28 verschiedenen Kompaktleuchtstofflampen im Bereich der Betriebsfrequenzen gemessen. Die Werte lagen zwischen 7 und 67 V/m bei 30 cm Abstand (Faktor 1,3 bis 12 unter dem Referenzwert) und zwischen 3 und 14 V/m bei 50 cm Abstand (Faktor 6 bis 29 unter dem Referenzwert).

Für die Ausgabe 10/2008 der Zeitschrift „Ökotest“ wurden 16 verschiedene Kompaktleuchtstofflampen getestet. Als Ergebnis wird angegeben, ob im Abstand von 30 cm unter bzw. oberhalb einer Frequenz von 2000 Hz elektrische Wechselfelder vorhanden sind (bzw. „wenige“ oder „keine“) und ob elektrische Oberwellen auftreten („viele“ bzw. „wenige“ oder „keine“). Bei allen

¹⁹ EMF von Energiesparlampen: Feldmessungen und Expositionsabschätzungen mit Vergleich zu anderen Quellen im Alltag, DIS-Projekt Nr. 100898,
<http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/02326/index.html?lang=de&download=M3wBPgDB/8ull6Du36WenojQ1NTTjaXZnqWfVpzLhmfhnapmmc7Zi6rZnqCkkIV0gXd7bKbXrZ6lhuDZz8mMps2gpKfo>

Kompaktleuchtstofflampen wurden elektrische Wechselfelder und „viele“ Oberwellen gefunden. Das verwendete Mess- und Bewertungsverfahren ist in dem Bericht nur ansatzweise beschrieben, die Bewertung der Ergebnisse auf Grundlage dieser Informationen nicht möglich. Elektrische oder magnetische Feldstärkewerte werden nicht angegeben.

Das BfS hat 2008 zusammen mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt und der Fachhochschule Augsburg Messungen an 37 Kompaktleuchtstofflampen durchgeführt⁽²⁰⁾. Bei den Betriebsfrequenzen wurden in 30 cm Abstand Messwerte zwischen 1 V/m und 59 V/m für das elektrische Feld ermittelt (Faktor 1,5 bis 87 unter dem Referenzwert). Oberwellen wurden berücksichtigt. Elektrische Felder bei der Netzstromfrequenz wurden nur exemplarisch an einigen Lampen gemessen. In 30 cm Abstand ergaben sich dabei nur geringfügig höhere Werte, verglichen mit den Werten, die durch eine unter Spannung stehende Lampenfassung alleine auftraten (alle Werte unter 100 V/m, Faktor 50 unter dem Referenzwert). Die magnetischen Felder waren bei allen untersuchten Lampen gering (Netzstrom- und Betriebsfrequenz) und erreichten in keinem Fall mehr als 1% des jeweiligen Referenzwertes. Einzige Ausnahme stellte eine Kolbenform-Induktionslampe dar (siehe Anhang Technik), bei der im Abstand von 30 cm eine maximale Magnetfeldstärke von 35 nT (Faktor 10 unter dem Referenzwert) auftrat.

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass die von verschiedenen Kompaktleuchtstofflampen zu erwartenden Expositionen großen Variationen unterliegen und vom elektrischen Feld bei der Betriebsfrequenz dominiert werden (Ausnahme sind Kolbenform-Induktionslampen). Andere Feldkomponenten sind gering. Da derzeit kein allgemein akzeptiertes standardisiertes Messverfahren zur Verfügung steht, sind Unterschiede in den berichteten Messergebnissen z.T. auf unterschiedliche Messverfahren zurückzuführen. Allerdings streuen die Ergebnisse auch innerhalb einzelner Untersuchungen deutlich. Alle für Abstände von 30 cm dokumentierten Messwerte unterschreiten den Referenzwert von 87 V/m, auch wenn einige leistungsstarke Lampen den Referenzwert zu einem hohen Prozentsatz ausschöpfen. Von der Einhaltung des empfohlenen Basisgrenzwerts kann bei Abständen von 30 cm und mehr daher ausgegangen werden. Auf numerischen Simulationsrechnungen beruhende Abschätzungen der im Körper induzierten Stromdichten⁽²⁰⁾ lassen vermuten, dass auch bei geringeren Abständen keine Überschreitungen des Basisgrenzwertes auftreten. Eine gesundheitliche Beeinträchtigung durch niederfrequente elektrische oder magnetische Felder, die in praxisrelevanten Entfernungen von Kompaktleuchtstofflampen auftreten, ist nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand nicht zu erwarten.

Da die Exposition bei Kompaktleuchtstofflampen wesentlich durch elektrische Felder bestimmt wird, ist eine vorsorgliche Verringerung von Expositionen auch in solchen Situationen, in denen nur ein geringer Abstand zu Personen besteht (z.B. Verwendung in einer Schreibtischleuchte) vergleichsweise einfach möglich. Die Verwendung geerdeter Lampenschirme oder technische Maßnahmen der Hersteller direkt an den Lampen bieten sich an. Letzteres wird durch die ersten auf dem Markt verfügbaren, als „strahlungsarm“ bezeichneten Kompaktleuchtstofflampen belegt. Im Vergleich zu Kompaktleuchtstofflampen gleicher Leistung waren bei diesen Lampen die maximalen elektrischen Feldstärken (im Abstand von 30 cm) um mehr als 90% reduziert.

²⁰ „Ermittlung und Bewertung elektrischer und magnetischer Felder von Kompaktleuchtstofflampen“, erscheint in Strahlenschutzpraxis 3/2009

3 Zusammenfassung und Empfehlungen

Der Einsatz von Kompaktleuchtstofflampen für allgemeine Beleuchtungszwecke im Haushalt ist unter Strahlenschutzaspekten nicht bedenklich. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass die von den Lampen emittierte optische Strahlung sowie die elektrischen und magnetischen Felder die internationalen Grenzwertempfehlungen einhalten. Hinsichtlich mehrerer für den Strahlenschutz wichtiger Charakteristika unterscheiden sich Glühlampen und Kompaktleuchtstofflampen nur graduell. Beim direkten Blick in eine Lichtquelle kann das Auge durch den Blaulichtanteil einer Glühlampe sogar deutlich stärker gefährdet sein als durch die entsprechende Emission einer Kompaktleuchtstofflampe. Mit den üblichen Leuchtstoffröhren sind zudem seit langem Leuchtmittel mit einer Technologie am Markt vertreten, die der von Kompaktleuchtstofflampen sehr ähnlich ist.

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:

- UV-Strahlung ist als karzinogen eingestuft.
- Bereits schwache UV-Strahlung kann negative gesundheitliche Wirkungen auslösen.
- 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.

Lampen für den Hausgebrauch sollten daher insgesamt nur geringe elektromagnetische Strahlung außerhalb des sichtbaren Wellenlängenbereichs emittieren. 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. Dieser Befund beschränkt sich allerdings nicht allein auf Kompaktleuchtstofflampen, sondern gilt auch für Lampen anderer Technologien. 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.

A. Technik

Anders als bei herkömmlichen Glüh- und Halogenlampen, in denen eine in einem gasgefüllten Glaskolben befindliche Wolframwendel durch elektrischen Strom so stark erhitzt wird, dass sie zu glühen beginnt und dabei elektromagnetische Strahlung u.a. in der Form sichtbaren Lichts emittiert („Temperaturstrahler“), beruht die Lichterzeugung bei Kompaktleuchtstofflampen auf dem Prinzip der Gasentladung. Dabei werden in einer teilweise ionisierten Gasatmosphäre (Plasma) Quecksilberatome energetisch angeregt, um die aufgenommene Energie anschließend vollständig oder teilweise als Photon bzw. als elektromagnetische Welle wieder abzugeben. Die hierbei entstehende Strahlung liegt vornehmlich im ultravioletten Spektralbereich und ist für das menschliche Auge daher unsichtbar. Die Umwandlung in sichtbares Licht geschieht bei Kompaktleuchtstofflampen an der mit einem Leuchtstoff beschichteten Innenwand des Glaskolben. Durch die Wahl des Leuchtstoffs kann dabei Licht unterschiedlicher Farbtemperaturen, z.B. „warmweißes“ oder „tageslichtweißes“ Licht, erzeugt werden. Die Lichterzeugung bei Kompaktleuchtstofflampen funktioniert somit grundsätzlich nach dem gleichen Prinzip wie bei den schon sehr viel länger gebräuchlichen stabförmigen Leuchtstofflampen, den sogenannten „Leuchtstoffröhren“. Beide Lampentypen werden als *Niederdruckgasentladungslampen* bezeichnet, weil im Inneren ihrer Glaskolben jeweils nur geringe Gasdrücke herrschen. Zusätzlich zum Quecksilberdampf verwendet man Edelgase wie Argon oder Krypton als Füllgase.

Leuchtstofflampen haben eine hohe Lichtausbeute von ca. 60 lm/W, herkömmliche Glühlampen von nur 12 bis 15 lm/W. Leuchtstofflampen benötigen bei gleicher Helligkeit also bis zu 80% weniger elektrische Leistung als Glühlampen, weshalb insbesondere Kompaktleuchtstofflampen auch als Energiesparlampen bezeichnet werden. Mit bis zu 200 lm/W ist die Natriumdampf-Niederdrucklampe die derzeit effizienteste elektrische Lichtquelle. Wie der Name besagt wird bei diesem Lampentyp Natrium statt Quecksilberdampf verwendet. Mit Natrium kann ohne den Umweg über einen zusätzlichen Leuchtstoff sichtbares Licht erzeugt werden. Wegen ihrer Einfarbigkeit (gelbliches Licht mit einer Wellenlänge von 589 nm) werden Natriumdampf-Niederdrucklampen allerdings nur in Bereichen verwendet in denen keine farbtreue Wiedergabe benötigt wird, z.B. bei der Straßenbeleuchtung. Neue Entwicklungen bei Licht emittierenden Dioden wie z.B. Hochleistung-LEDs mit Lichtausbeuten bis 150 lm/W lassen in absehbarer Zeit weitere Konkurrenz zu Glühlampen und Kompaktleuchtstofflampen erwarten.

Im Vergleich zu langgestreckten Leuchtstoffröhren haben Kompaktleuchtstofflampen üblicherweise einen etwas höheren Innendruck bei kleineren Abmessungen, was eine höhere Leuchtdichte ermöglicht. Weiterhin weisen sie einen gebogenen Glaskolben und damit eine kompaktere Bauweise auf. Der gebogene Glaskolben ermöglicht einen einseitigen elektrischen Anschluss in einem Standardschraubsockel (z.B. E-27) und somit die Verwendung in gebräuchlichen Lampenfassungen. Das so genannte Vorschaltgerät, welches zum Starten und zum Betrieb der Lampe benötigt wird, ist bei Kompaktleuchtstofflampen in der Regel in den Sockel integriert. Aufgabe des Vorschaltgeräts ist es, beim Einschalten der Lampe die Elektroden an den Enden des Glaskolbens vorzuheizen, so dass diese Elektronen emittieren. Anschließend startet das Vorschaltgerät die Gasentladung mittels einer hohen Zündspannung, um nach erfolgter Zündung für eine Begrenzung des Stroms und eine Überwachung der Betriebsspannung zu sorgen. Im Unterschied zu Leuchtstofflampen mit konventionellen Vorschaltgeräten, in denen ein Lampenstrom mit der Frequenz der Energieversorgung (50 Hz) fließt, werden elektronische Vorschaltgeräte für Kompakt-

Informationen zu elektromagnetischen Emissionen von Kompaktleuchtstofflampen

leuchtstofflampen bei einer weitaus höheren Frequenz betrieben. Typischerweise wird bei Lampen ohne Dimmfunktion eine Frequenz von 45.000 Hz (45 kHz) verwendet. Frequenzen um 70 kHz werden bei dimmbaren Lampentypen verwendet⁽²¹⁾. Die im Vergleich zur Netzstromfrequenz höheren Betriebsfrequenzen der Kompaktleuchtstofflampen sorgen für eine verbesserte Lichtausbeute und erlauben einen kompakteren Aufbau des Vorschaltgeräts.

Kompaktleuchtstofflampen werden heute auch mit einem zusätzlichen Glas- oder Kunststoffkolben angeboten, der ihnen ein den herkömmlichen Glühlampen ähnliches Erscheinungsbild verleiht.



Abbildung A-1: Kompaktleuchtstofflampe links ohne, rechts mit zusätzlichem Kolben

Eine Sonderform der Kompaktleuchtstofflampen stellen kompakte *Induktionslampen* („Kolbenform-Induktionslampen“) dar, die ohne Elektroden arbeiten. Stattdessen erfolgt bei diesem Lampentyp die Ionisierung des Gases im Entladungsgefäß durch die Induktionswirkung eines hochfrequenten Magnetfelds. Als Betriebsfrequenz wird 2,65 MHz (= 2.650 kHz) verwendet⁽²²⁾. Als Vorteile werden u.a. das besonders schnelle Startverhalten und die lange Lebensdauer genannt. Letztere ist auf das Fehlen der mit der Zeit verschleißenden Elektroden zurückzuführen.

²¹ Firma Osram, <http://www.osram.de>; In Abhängigkeit von Typ und Hersteller kann die Betriebsfrequenz variieren, liegt aber üblicherweise nicht tiefer als etwa 30 kHz.

²² <http://www.imt-deutschland.de/knowhow>