



Faktenblatt LED-Lampen

LED-Lampen bzw. LED-Leuchtmittel eignen sich für energieeffiziente Innen- und Aussenbeleuchtungen. Sie stellen eine Alternative für Energiespar- und Halogenlampen dar. LED-Lampen können aus technischen Gründen kein weisses Licht erzeugen, sondern strahlen gelbliche und blaue Lichtanteile ab, die zusammen gemischt weisses Licht ergeben. Da blaues Licht ab einer bestimmten Stärke und Bestrahlungszeit ein Risiko für die Netzhaut des Auges darstellt, müssen Lampen den Grenzwert für die Blaulichtgefährdung einhalten. Dieser Grenzwert wird je nach Stärke des blauen Lichtanteils nach längerer oder kürzerer Bestrahlungszeit erreicht.

Handelsübliche LED-Lampen stellen bei sachkundiger Verwendung kein gesundheitliches Risiko dar. Dies gilt auch für empfindliche Bevölkerungsgruppen wie Kinder oder Personen, die sehr klare, keine oder künstliche Augenlinsen haben.

Lampen sind in die folgenden Risikogruppen eingeteilt: Lampen der „freien Gruppe“ sind auch bei zeitlich unbeschränkter Verwendung risikofrei. Lampen der Risikogruppen 1 und 2 sind bei einer zeitlich beschränkter Verwendung risikolos, währenddessen Lampen der Risikogruppe 3 bereits nach sehr kurzer Verwendungsdauer ein hohes Risiko aufweisen.

Folgende Informationen helfen Ihnen dabei, LED-Lampen sachkundig einzusetzen:

- Verwenden Sie LED-Lampen generell in einem Abstand von mindestens 20 cm.
- Verwenden Sie LED-Lampen der „freien Gruppe“, wenn Ihre Augen sehr lange direktem Licht ausgesetzt sind. Der freien Gruppe gehören vorwiegend glühlampenförmige LED-Lampen mit matter Oberfläche und Schraubgewinde sowie röhrenförmige LED an.
- Für den Haushalt eignen sich auch LED-Lampen der Risikogruppe 1, welche die Augen nicht gefährden, sofern Personen nicht während längerer Zeit in die LED blicken. Dieser Risikogruppe gehören vorwiegend spotförmige LED wie auch teilweise Tischlampen an.
- Verwenden Sie keine LED-Lampen der Risikogruppen 2 oder 3 im privaten Bereich, da akute Augenschädigungen bereits nach einer sehr kurzen Sicht in die LED-Lampe möglich sind. Der Hinweis auf die Risikogruppen 2 oder 3 finden Sie auf der Verpackung.
- Ordnen Sie Leuchten, Tisch-, Lese- und Nachtlampen mit sichtbarem LED-Chip nach Möglichkeit so an, dass der Chip nicht direkt sichtbar ist. Mattierte Lampen verringern mögliche Blendwirkungen.
- Verwenden Sie an Orten, an denen sich Personen während der Abendstunden vor dem Schlafen während längerer Zeit aufhalten, warmweisse LED- oder Energiesparlampen mit Farbtemperaturen von ca. 3000 Kelvin. Farbtemperaturen sind auf den Lampen angegeben. Kaltweisse Lampen mit Farbtemperaturen von grösser als 4000 Kelvin sind für solche Orte weniger geeignet, da ihre blauen Lichtanteile aktivierend auf den Körper wirken und den Schlaf und andere Prozesse im Körper beeinflussen.
- Gewisse LED-Fabrikate sowie teilweise auch gedimmte LED-Lampen können flimmern. Ob sie ein Risiko für Personen mit Kopfweg, Migräne oder Epilepsie darstellen, ist nicht klar. Verwenden Sie deshalb flimmerfreie bzw. nicht gedimmte LED-Lampen für die Beleuchtung von Orten, an denen sich Personen während längerer Zeit aufhalten. Flimmereigenschaften von LED lassen sich auf dem Display einer Smartphone- oder Digitalkamera, die aus kurzer Distanz auf die LED



scharfgestellt wird, einfach feststellen. Die LED flimmert, wenn auf dem Display ein Bild mit Streifen sichtbar ist.

- Die beim Betrieb von LED entstehenden elektromagnetischen Felder der Elektronik stellen kein gesundheitliches Risiko dar, da sie weit unterhalb der Gesundheitsgrenzwerte liegen, die gesundheitliche Risiken verhindern sollen.
- Auf Grund ihrer nicht vorhandenen oder kleinen ultravioletten Strahlungsabgabe stellen LED-Lampen für Personen, die überempfindlich auf ultraviolette Strahlung reagieren, eine Alternative zu Halogen- oder Energiesparlampen dar.



Ausführliche Informationen

1 Einführung zu weissen LED-Lampen

1.1 Aufbau

LED-Lampen bestehen in der Regel aus einer oder mehreren Leuchtdioden (LED). Kernstück einer Leuchtdiode bildet ein Chip aus zwei zusammengeführten Halbleitern, der im stromdurchflossenen Zustand Licht aussendet. Die Kombination der verwendeten Halbleitermaterialien bestimmt die Wellenlänge und des abgestrahlten Lichtes, das ein engbandiges Spektrum bzw. eine charakteristische Farbe aufweist. Die mit den heutigen Halbleitermaterialien möglichen Farben liegen im ultravioletten, sichtbaren oder infraroten Strahlungsbereich. Weisses Licht, das aus einer Mischung mehrerer Farbanteile besteht, können LED-Lampen nicht direkt, sondern durch Mischung verschiedener Farben erzeugen.

LED-Dioden arbeiten im Niedervoltbereich. Deshalb enthalten LED-Lampen einen elektronischen Wandler, der die Höhe der Spannung verkleinert und ihre Frequenz erhöht. Dieser Wandler wie auch weitere stromführende Bauteile erzeugen elektromagnetische Felder, die in unmittelbarer Nähe zur LED-Lampe messbar sind.

1.2 Strahlungseigenschaften

Spektrale Eigenschaften und Farbtemperaturen

LED-Leuchtmittel, deren Lichtfarbe Menschen als weiss wahrnehmen, bestehen im Prinzip aus LED, die blaues oder violettes Licht abstrahlen. Um weisses Licht zu erhalten, ist die durchsichtige Kapselung der LED auf der Innenseite mit einem oder mehreren fluoreszierenden Farbstoffen beschichtet. Die Moleküle dieser Schicht absorbieren einen Teil des violetten oder blauen Lichtes und nehmen dadurch kurzzeitig Energie auf. Sie strahlen diese Energie anschliessend je nach Art der Schicht in Form von gelb-rötlichem Licht wieder ab. Die gelb-rötlichen und violett-bläulichen Lichtanteile stimulieren auf der Netzhaut des Auges sowohl die blauen, grünen als auch roten Photorezeptoren. Für Menschen entsteht dadurch der Sinneseindruck von weissem Licht, das je nach Mischungsverhältnis der einzelnen Farbanteile einen kaltweissen bläulichen beziehungsweise warmweissen gelblichen Charakter hat. Dieser Farbcharakter von Lampen lässt sich durch ihre Farbtemperatur beschreiben. Sie liegt bei warmweissen Lampen im Bereich von 3000 Kelvin und bei kaltweissen Lampen im Bereich zwischen 4000 bis 8000 Kelvin.

Je nach Bauart oder Betriebsmodus versorgen die elektronischen Wandler die LED-Leuchtdioden mit einem Strom, der mehr oder weniger stark schwankt. Dies hat zur Folge, dass auch die Intensität des abgestrahlten Lichtes flimmert bzw. so genannte Flicker aufweist.

2 Gesundheitliche Auswirkungen von weissen LED-Lampen

Die Eigenschaften der Strahlung von weissen LED-Lampen sind vielfältig. LED unterscheiden sich diesbezüglich von den Eigenschaften der Glühlampen und teilweise auch von denjenigen der Energiesparlampen. Es bestehen verschiedene mögliche Mechanismen, wie die Strahlung der LED auf die Gesundheit wirken kann. Sie sind im nachfolgenden einzeln beschrieben und bewertet.



2.1 Ultraviolette Strahlung

Gesundheitliche Wirkungen

Ultraviolette Strahlung (UV) ist sehr energiereich. Bei zu hohen Dosen verursacht sie schwere Schädigungen der Augen und der Haut, wobei Augen und Haut unterschiedlich empfindlich sind. Beim Auge sind insbesondere die Hornhaut und das Auge betroffen, welche die meiste ultraviolette Strahlung absorbieren. Zur Netzhaut kann insbesondere bei Kindern und Jugendlichen Jahren ein Teil der UV-A -Strahlung dringen. Empfindlich reagieren auch Personen, die an Hautkrankheiten leiden, die durch kleine ultraviolette Strahlendosen ausgelöst werden können.

Grenzwerte

Die internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung hat Grenzwerte für ultraviolette Strahlung empfohlen, welche die Haut und die Augen schützen sollen (ICNIRP 2004). Die für die Haut empfohlenen Grenzwerte sollen Hautrötungen verhindern, die für die Augen empfohlenen Grenzwerte sollen verhindern, dass sich die Hornhaut entzündet oder dass Katarakte entstehen.

Intensität der ultravioletten Strahlung von LED

Die von LED erzeugte ultraviolette Strahlung wurde im Auftrag der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt AUVA in Österreich bestimmt (Schulmeister et al. 2011; Buberl et al. 2011). Die Messungen zeigen, dass die ultraviolette Strahlung heutiger LED die Grenzwerte für ultraviolette Strahlung um ein Vielfaches unterschreiten.

Gesundheitliche Bewertung

LED-Leuchtmittel strahlen nur sehr wenig ultraviolette Strahlung ab, so dass die Gesundheit von Haut und Augen nicht gefährdet ist. LED-Leuchtmittel eignen sich deshalb als Beleuchtungsmittel für diejenigen Personen, die an einer UV-Empfindlichkeit leiden.

2.2 Sichtbares Licht

Gesundheitliche Wirkungen

Sichtbares Licht fällt je nach Alter mehr oder weniger ungehindert auf die Netzhaut. Bei sehr starken Lichtstärken werden die Netzhaut, andere Gewebe und die Photorezeptorzellen des Auges zu stark beleuchtet. Dabei entstehen thermische und photochemische Prozesse, die das Auge schwer und irreversibel schädigen und die zu einem partiellen Verlust der Sehkraft oder sogar zu Erblindungen führen.

Bei handelsüblichen LED-Lampen für den Allgemeingebrauch sind thermische Schädigungen der Netzhaut unwahrscheinlich, photochemische Schädigungen auf Grund des energiereichen blauen Lichtanteils jedoch nicht von vornweg ausgeschlossen (Anses 2010). Ein zu starker blauer Lichtanteil bzw. eine Blaulichtgefährdung (engl. blue light hazard) stellt für die Allgemeinbevölkerung und insbesondere für Kinder und Personen mit operiertem grauen Star ein Risiko dar, deren Augenlinsen sehr klar sind, keine Filterwirkung für blaues Licht aufweisen oder in seltenen Fällen fehlen. Photochemische Schädigungen können zudem durch die Reaktion von blauem Licht mit im Auge eingelagerten Substanzen wie Lipofuscin entstehen, die sich mit zunehmendem Alter im Auge ablagern. (Behar-Cohen et al. 2011)



Grenzwerte und Normierung

Um akute Risiken von sichtbarer und infraroter Strahlung zu verhindern, hat die Internationale Kommission zum Schutz nichtionisierender Strahlung Grenzwerte empfohlen (ICNIRP 2013), welche auch die Blaulichtgefährdung betreffen. Der Grenzwert für Blaulichtgefährdung beschränkt die auf die Netzhaut fallende blaue Lichtstrahlung und soll akute Gesundheitsgefährdungen verhindern. Ob dieser Grenzwert auch eventuelle gesundheitliche Wirkungen chronischer lebenslanger Blaulichtbelastungen verhindern kann, lässt sich auf Grund der heutigen wissenschaftlichen Erkenntnisse nicht beurteilen (Shang et al. 2014)

Basis dieses Grenzwertes bildet die Strahlungsquantität, bei der bereits bei 50 % der untersuchten Augen sichtbare Schädigungen der Netzhaut aufgetreten sind. Dieser Grenzwert hat die Eigenschaften einer Dosis, also des Produktes der Strahlung mal die Bestrahlungsdauer. Das heisst, dass bei sehr langen Bestrahlungsdauern der Netzhaut die auf sie fallende Strahlung klein sein muss bzw. bei sehr kurzen Bestrahlungsdauern die Strahlung gross sein kann. Der Grenzwert für Blaulichtgefährdung unterscheidet zwei Fälle. 1) Normale Augen mit Augenlinsen und 2) blaulichtempfindliche Augen wie von Kindern oder von Personen, die entweder keine oder eine sehr klare künstliche Augenlinse als Folge einer Operation des grauen Stars haben.

Die europäische Lampennorm setzt den Grenzwert für die Blaulichtgefährdung in eine (risiko)freie Gruppe und drei verschiedene Risikogruppen um. Eine Lampe mit ihrer gegebenen Strahlung wird einer Risikogruppe auf Grund der Bestrahlungsdauer zugeordnet, ab welcher der Grenzwert erreicht wird. Die Norm unterscheidet dabei zwischen Lampen, die auf Grund ihrer kleinen Strahlung auch bei zeitlich unbeschränktem Einsatz kein Risiko darstellen, und Lampen, die auf Grund ihrer stärkeren oder starken Strahlung nur während zeitlich beschränkten oder sehr kurzen Einsatzdauern ungefährlich sind. Diese Gruppen sind wie folgt definiert:

- Freie Gruppe: auch bei sehr langen Bestrahlungsdauern der Netzhaut bis 10000 Sekunden (166, 6 Minuten) risikolos einsetzbar
- Risikogruppe 1: bei Bestrahlungsdauern bis 100 Sekunden risikolos einsetzbar („geringes Risiko“).
- Risikogruppe 2: bei Bestrahlungsdauern bis 0,25 Sekunden risikolos einsetzbar („mittleres Risiko“)
- Risikogruppe 3: selbst bei sehr kurzen Bestrahlungsdauern nicht risikolos einsetzbar („hohes Risiko“)

Die Risikogruppen bilden das Schädigungspotenzials von Lampen relativ grob ab, da die zulässigen Bestrahlungsdauern innerhalb einer Risikogruppe einen grossen Bereich überstreichen. Aussagekräftiger für die Beurteilung einer Lampe ist die Bestrahlungsdauer der Netzhaut, bei welcher der Grenzwert nicht mehr eingehalten ist.

Lampen, die nicht der freien Gruppe angehören, sollten gemäss den Empfehlungen der Internationalen elektrotechnischen Kommission (IEC) mit einer entsprechenden Information und den notwendigen Verwendungsvorgaben des Herstellers versehen sein. Lampen der Risikogruppen 2 und 3 sollten zusätzlich mit einen Vorsichts- bzw. Warnhinweis auf der Verpackung oder einem Beipackzettel versehen sein (IEC TR 62471-2) (IEC TR 62778).



Blaulichtbelastungen von LED

Im Auftrag des Bundesamtes für Gesundheit und des Bundesamtes für Energie hat das Eidgenössische Institut für Metrologie METAS eine Auswahl von LED-Lampen und -Leuchten mit verschiedenen Bauformen ausgemessen, die 2015 auf dem Markt waren (Rinderer und Thalmann 2015). Die Studie hat die maximale Bestrahlungsdauer bestimmt, ab denen der Grenzwert für Blaulichtgefährdung überschritten wird.

Gemäss europäischer Lampennorm sollen Haushaltslampen in demjenigen Abstand gemessen, bei eine Beleuchtungsstärke von 500 Lux resultiert. Da diese Vorgabe zu Abständen führen kann, die nicht allen denkbaren realen Situationen entsprechen (z.B. bodennahe Leuchten in Reichweite von Kleinkindern), wurde diese Vorgabe abgeändert und der Messabstand auf 20 cm bzw. 10 cm festgesetzt. Der Abstand von 20 cm entspricht der Distanz, ab der erwachsene Personen ein Objekt scharf sehen können, 10 cm ist die entsprechende Distanz für Kinder (Duane 1908). Zudem wurden die bereits erwähnten folgenden zwei Fälle unterschieden. 1) Augen mit Augenlinsen und normaler Blaulichtempfindlichkeit sowie 2) Augen mit fehlenden oder sehr klaren Augenlinsen und hoher Blaulichtempfindlichkeit. Die maximalen Bestrahlungsdauern für verschiedene LED-Bauformen sind in Tabelle 1 in Abhängigkeit vom Abstand und der Blaulichtabhängigkeit des Auges dargestellt:

LED-Bauform	Abstand Lampe-Auge				Zuordnung zu Risikogruppen
	10 cm		20 cm		
	Blaulichtempfindlichkeit des Auges				
	Normal	Hoch	Normal	Hoch	
Glühbirnenförmig, Schraubgewinde matt	412 / >500	404 / >500	431 / >500	424 / >500	Freie Gruppe
Glühbirnenförmig, Schraubgewinde, klar	53 / >500	49 / >500	76 / >500	71 / >500	RG1 / Freie Gruppe
Spot matt	1.5 / 9	1.4 / 8.5	1.5 / 14.6	1.5 / 13.8	RG2 / RG1
Spot klar	5.2 / >500	5 / >500	5.6 / >500	5.4 / >500	RG1 / Freie Gruppe
Röhrenförmig für Röhrenersatz	338 / >500	321 / >500	>500	>500	Freie Gruppe
Reflektorlampe	2.7 / 258	2.6 / 243	2.9 / 320	2.7 / 301	RG1 / Freie Gruppe
Tischlampe	1.8 / 368	1.7 / 353	2 / >500	1.8 / >500	RG1 / Freie Gruppe
Gartenspot	4 / >500	3.8 / >500	14.7 / >500	13.3 / >500	RG1 / Freie Gruppe
streifenförmig, zylinderförmig, Bodenspot	>500	480 / >500	>500	>500	Freie Gruppe

Tabelle 1. Bestrahlungsdauer in Minuten, bei deren Überschreiten eine Blaulichtgefährdung bei direkter Sicht auf die LED möglich ist. Angegeben pro Bauform sind jeweils das LED-Produkt mit der kürzesten und der längsten Bestrahlungsdauer in den Abständen von 10 cm und 20 cm.



Da die Studie eine Stichprobe der handelsüblichen LED darstellt, können keine generellen Schlüsse aus den Resultaten gezogen werden. Trotzdem lassen sich einige Hinweise zur Blaulichtgefährdung bzw. zu den entsprechenden Bestrahlungsdauern ableiten:

- Die meisten der ausgemessenen LED gehören der Freien Gruppe und der Risikogruppe 1 an
- Matte glühlampenförmige und röhrenförmige LED erfüllen die Anforderungen der Freien Gruppe. Blaulichtgefährdungen sind erst ab 400 Minuten, in den meisten Fällen sogar erst ab 500 Minuten möglich
- Bei anderen Bauformen wie Spots oder LED mit eingebautem Reflektor kommen je nach Produkt die Freie Gruppe, die Risikogruppe 1 und in einem Fall die Risikogruppe 2 vor
- Bei Tischlampen, die sehr nahe am Auge positioniert sein können, kann je nach Modell eine Blaulichtgefährdung bereits nach kurzer, aber auch erst nach langer Zeit auftreten
- Bei LED, die der Risikogruppe 1, sind Blaulichtgefährdungen bereits ab zirka 2 Minuten möglich. Bei LED der Risikogruppe 2 verringert sich dieses Zeit auf 90 Sekunden.
- Ein Abstand von 10 cm zwischen LED und Auge kann im Vergleich zu einem Abstand von 20 cm die Bestrahlungsdauer verkürzen, ab der eine Blaulichtgefährdung möglich ist. Bei Lampen mit kurzer Bestrahlungsdauer ist dieser Effekt aber nicht ausgeprägt
- Bei blaulichtempfindlichen Augen mit sehr klarer oder fehlender Augenlinse treten Blaulichtgefährdungen tendenziell bei kürzeren Bestrahlungsdauern auf, der Unterschied zu normalen Augen ist aber nicht ausgeprägt
- Die Bestrahlungsdauern für eine Blaulichtgefährdung hängen weder systematisch von der Farbtemperatur der LED noch von der Leistung der LED ab (Fig. 1, Fig. 2)

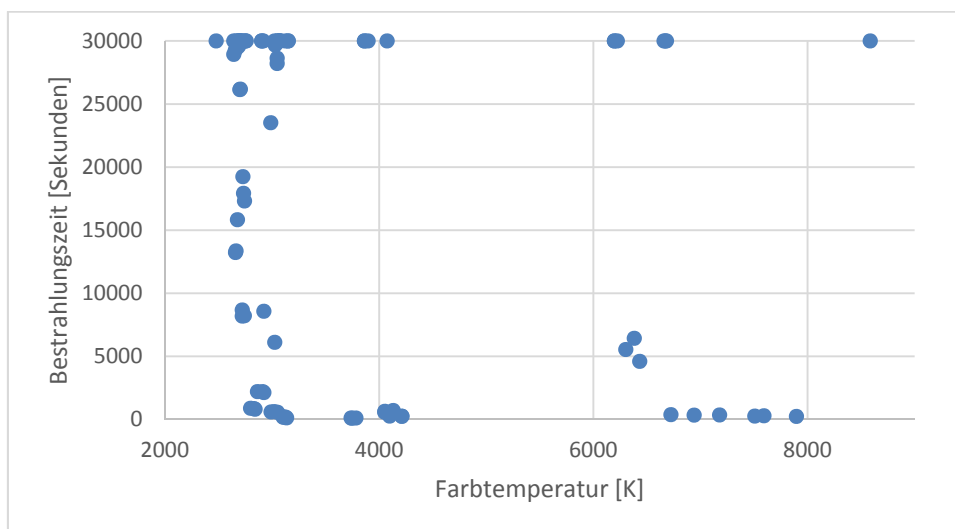


Fig. 1 Bestrahlungsdauer bis zum Erreichen des Grenzwertes für Blaulichtgefährdung als Funktion der Farbtemperatur (36 verschiedene LED)

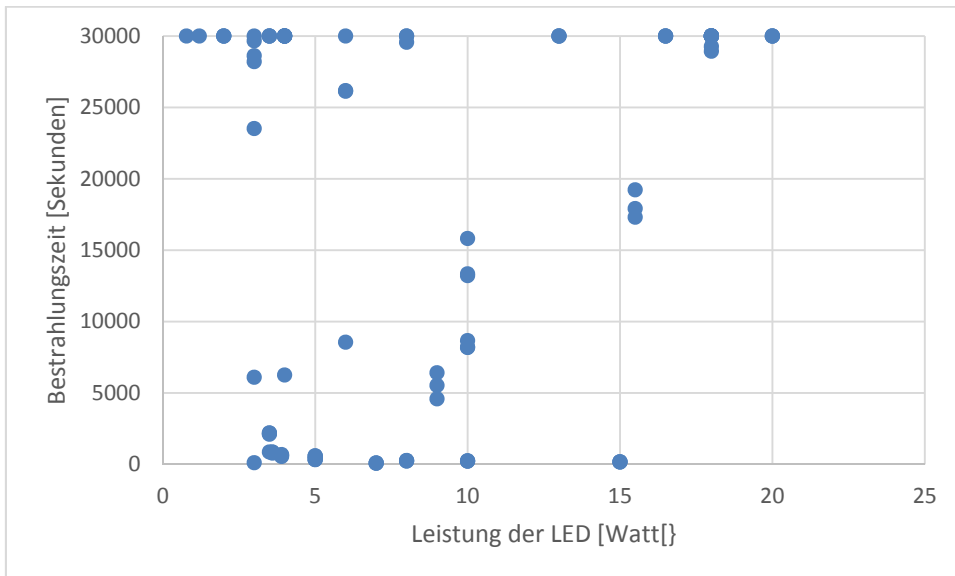


Fig. 2 Bestrahlungsdauer bis zum Erreichen des Grenzwertes für Blaulichtgefährdung als Funktion der elektrischen Leistung (36 verschiedene LED)

Gesundheitliche Bewertung

Der blaue Lichtanteil von LED gefährdet gemäss aktuellem Wissensstand die Gesundheit der Augen nicht. Dies gilt auch für Kinder und Personen mit sehr klaren oder fehlenden Augenlinsen. Vorsicht ist jedoch dann geboten, wenn LED in kleinem Abstand zum Auge verwendet werden. Da die heutige Produktklassifizierung die Gesundheitsgefährdung durch Blaulicht nur grob abdeckt, empfiehlt es sich, in solchen Fällen LED-Lampen oder -Röhren zu verwenden, die der Freien Gruppe angehören. Langzeitwirkungen des blauen Lichtes von LED können nicht beurteilt werden.

2.3 Infrarote Strahlung

Der infrarote Strahlungsanteil heutiger LED-Lampen liegt unter den Grenzwerten für infrarote Strahlung, so dass die Gesundheit von Augen und Haut nicht gefährdet ist (Anses 2010).

2.4 Biologische Rhythmen

Zirkadiane Wirkungen von blauem Licht auf Körperfunktionen

Viele physiologische Prozesse des Menschen laufen nach einem zeitlich vorgegebenen Muster ab bzw. sind (zirkadianen) 24-Stunden-Rhythmen unterworfen, die hauptsächlich durch die im Gehirn lokalisierte so genannte "innere Uhr" gesteuert werden. Da diese Hirnfunktion keinen genauen 24-Stunden-Rhythmus aufweist, muss sie täglich neu justiert werden. Dies geschieht mit Hilfe des blauen Lichtanteils des Tageslichtes, das ab den Morgenstunden auf die Netzhaut des Auges fällt. Dieses blaue Licht wird von lichtempfindlichen Nervenzellen der Netzhaut wie von den Sehzellen absorbiert und in Nervenimpulse umgewandelt, die an die innere Uhr im Hirn weitergeleitet werden. Die innere Uhr steuert auf Grund dieser Nervenimpulse die Rhythmik von Hormonen wie Melatonin oder Kortisol, das Immunsystem, die Körpertemperatur, den Schlaf/Wach-Rhythmus, die geistige Leistungsfähigkeit und viele weitere Prozesse (CIE 2009).



Blaues Licht, das im Tageslicht ausgeprägt vorkommt, wirkt am Morgen und während des Tages aktivierend auf den Organismus. Am Abend oder in der Nacht hingegen kann die aktivierende Wirkung von blauem Licht unerwünschte Folgen haben, da es trotz der Nachtphase dem Körper die Information für die Tagesphase vorgibt. Damit werden diejenigen Prozesse gestört, die den Menschen auf die Schlafphase vorbereiten oder die während der Schlafphase stattfinden. So wird beispielsweise die Wachheit und Aufmerksamkeit verstärkt und die Synthese des Dunkelhormons Melatonin gedämpft, was Einschlafstörungen hervorrufen kann. Solche Effekte treten bereits bei Beleuchtungsstärken von wenigen Lux auf, wie sie beispielsweise in schwach beleuchteten Wohnungen vorkommen können (Chellappa et al. 2011). Neben solchen akuten Wirkungen zeigen wissenschaftliche Erkenntnisse zunehmend, dass auf Grund der gestörten physiologischen Rhythmen auch langfristige gravierende Gesundheitsfolgen wie beispielsweise Krebs oder Übergewicht nicht auszuschliessen sind (IARC 2010).

Da LED-Lampen je nach Farbtemperatur einen mehr oder weniger grossen Blaulichtanteil haben, wurden ihre die zirkadianen Eigenschaften charakterisiert.

Grenzwerte und Normen

Im Moment sind keine Grenzwerte für zirkadiane Wirkungen von sichtbarem Licht publiziert. Die einzige die Thematik behandelnde Norm definiert das zirkadiane Wirkungsspektrum von sichtbarem Licht, um die zirkadianen Eigenschaften verschiedener Lichtquellen miteinander vergleichen zu können (DIN SPEC 5031-100). Mass ist der melanotische oder zirkadiane Wirkungsfaktor, der das Verhältnis des zirkadian aktiven Strahlungsanteils einer Lichtquelle zu ihrem vom Auge sichtbaren Strahlungsanteil beschreibt (Bellia et al. 2014; Bellia und Seraceni 2014). Ein melanopischer Wirkungsfaktor von 1 entspricht ungefähr dem Tageslicht im Freien unter bewölkten Himmel. Melanopische Wirkungsfaktoren von kleiner 1 haben weniger aktivierende Eigenschaften auf den Organismus im Vergleich zum Tageslicht. So weisen Glühlampen oder warmweisse Energiesparlampen melanopische Wirkungsfaktoren im Bereich von 0,4 auf (Gall und Bieske 2004)

Die im Auftrag des BAG und BFE durchgeführte Studie hat die melanopischen Wirkungsfaktoren der LED bestimmt (Fig. 3). Die Resultate zeigen, dass LED mit Farbtemperaturen von 3000 Kelvin melanopische Wirkungsfaktoren aufweisen, die ungefähr denjenigen von Glühlampen und warmweissen Energiesparlampen entsprechen. Bei Farbtemperaturen von 6000 K und höher treten Wirkungsfaktoren auf, die dem Tageslicht entsprechen.

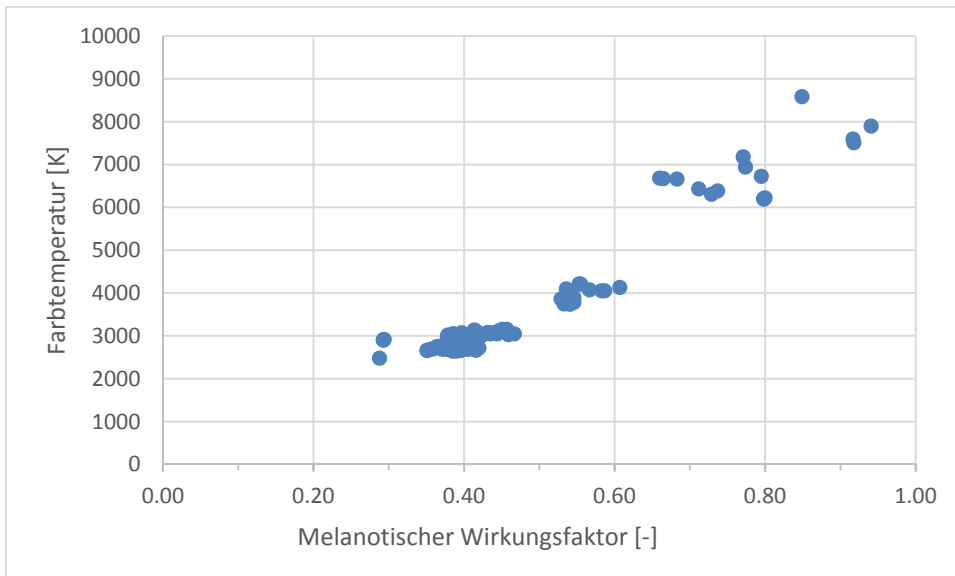


Fig. 3 Zirkadiane Wirkungen von LED: Melanotischer Wirkungsfaktor (Verhältnis des zirkadian aktiven Strahlungsanteils einer Lichtquelle zu ihrem vom Auge sichtbaren Strahlungsanteil) als Funktion der Farbtemperatur (34 verschiedene LED).

Gesundheitliche Bewertung

Der blaue Lichtanteil von LED kann je seinem Ausmass und der Verwendung der LED zirkadiane Wirkungen beeinflussen. Ein Mass dafür ist die Farbtemperatur, die auf der Verpackung der Lampen angegeben ist. LED mit Farbtemperaturen von 3000 Kelvin haben ähnliche Eigenschaften wie Glühlampen oder warmweisse Energiesparlampen. Sie eignen sich für die Beleuchtung von Räumen, in denen sich Personen am Abend während längerer Zeit vor der Schlafphase aufhalten. Kaltweisse oder bläulichweisse LED mit höheren Farbtemperaturen von 4000-8000 Kelvin eignen sich für die Beleuchtung von Räumen, in denen sich Personen während des Tages aufhalten und aktiven Beschäftigungen nachgehen. Farbtemperaturen sind auf den LED angegeben (Europäische Kommission 2012)

2.5 Flicker

Bei LED-Lampen kann das abgestrahlte Licht flimmern, wenn der in der Lampe fliessende Strom zeitlich nicht konstant ist. Grund für diese so genannten Flicker ist der Wechselstrom des Versorgungsnetzes, der 50-mal pro Sekunde bzw. mit 50 Hertz seine Richtung und somit 100-mal pro Sekunde seine Grösse ändert. Falls die elektronischen Wandler von LED-Lampen diese Änderungen nicht ausgleichen, ist auch das im LED-Chip erzeugte Licht nicht konstant. Flicker können aber auch beim Dimmen von LED-Lampen entstehen, so dass bereits im nicht gedimmten Zustand vorhandene Flicker verstärkt oder bei flimmerfreien LED-Lampen neue Flicker verursacht werden (Poplawski und Miller 2013; Kitsinelis et al. 2012).

Wirkungsmechanismus

Die meisten Menschen können mit ihren Augen Lichtschwankungen bis zu einer Frequenz von 60 Hertz erkennen. Flicker mit Frequenzen von 100 Hertz und höher, wie sie typischerweise bei LED-Lampen entstehen, sind für Menschen nicht mehr bewusst erkennbar. Allerdings kann die Netzhaut Flicker bis zu 200 Hertz detektieren, ohne dass der Mensch sie bewusst wahrnimmt.



Zu gesundheitlichen Wirkungen von Flicker gibt es sehr wenige Erkenntnisse, die hauptsächlich aus Studien zu Leuchtstoffröhren mit konventionellen Vorschaltgeräten stammen. Flicker können sowohl unmittelbar eintretende wie auch längerfristige gesundheitliche Effekte hervorrufen. Unmittelbare Wirkungen betreffen insbesondere Personen, die an photosensitiver Epilepsie erkrankt sind. Sie sind dann gefährdet, wenn die Flickerfrequenz zwischen 3 und 70 Hertz liegt. Länger andauernde Flickerercheinungen können zu Kopfwahl, Migräne, Augenschmerzen, eingeschränkter Sehleistung, Ablenkung oder eingeschränkter Leistungsfähigkeit führen (Wilkins et al. 2010; Karanovic et al. 2011; Shepherd 2010). Im Allgemeinen stören die Flicker grossflächiger Lichtquellen wie matter Lampen stärker als Flicker von kleinen Punktquellen, da sie einen grösseren Teil der Netzhaut bestrahlen.

Grenzwerte

Im Moment bestehen keine verbindlichen Grenzwerte für Flicker. Flickereigenschaften werden einer Lampe als „Prozent Flicker“ oder auch als Flickerindex angegeben (Poplawski und Miller 2013). Ein Prozentwert von 0 bedeutet, dass eine Lampe keine Flicker aufweist und kontinuierlich strahlt, ein Prozentwert von 100 bedeutet, dass die Intensität des Lichtes periodisch zwischen dem Maximum und Dunkel wechselt. Flickereigenschaften von LED werden von den Hersteller nicht deklariert und sind auf der Verpackung der Lampen nicht ersichtlich

Intensität der Flicker LED

Die im Auftrag des BAG und BFE durchgeführte Studie zeigt, dass Flickereigenschaften der heute gehandelten LED rein produktspezifisch ist und weder vom Hersteller noch von der Bauform abhängt. Stark flimmern können LED-Leuchten wie z.B. gewisse Tischlampen, die tendenziell nahe an den Augen verwendet werden. Der Prozent Flicker-Wert heutiger LED liegt zwischen kleiner 5% (flimmerfrei) und 100% (stark flimmernd).

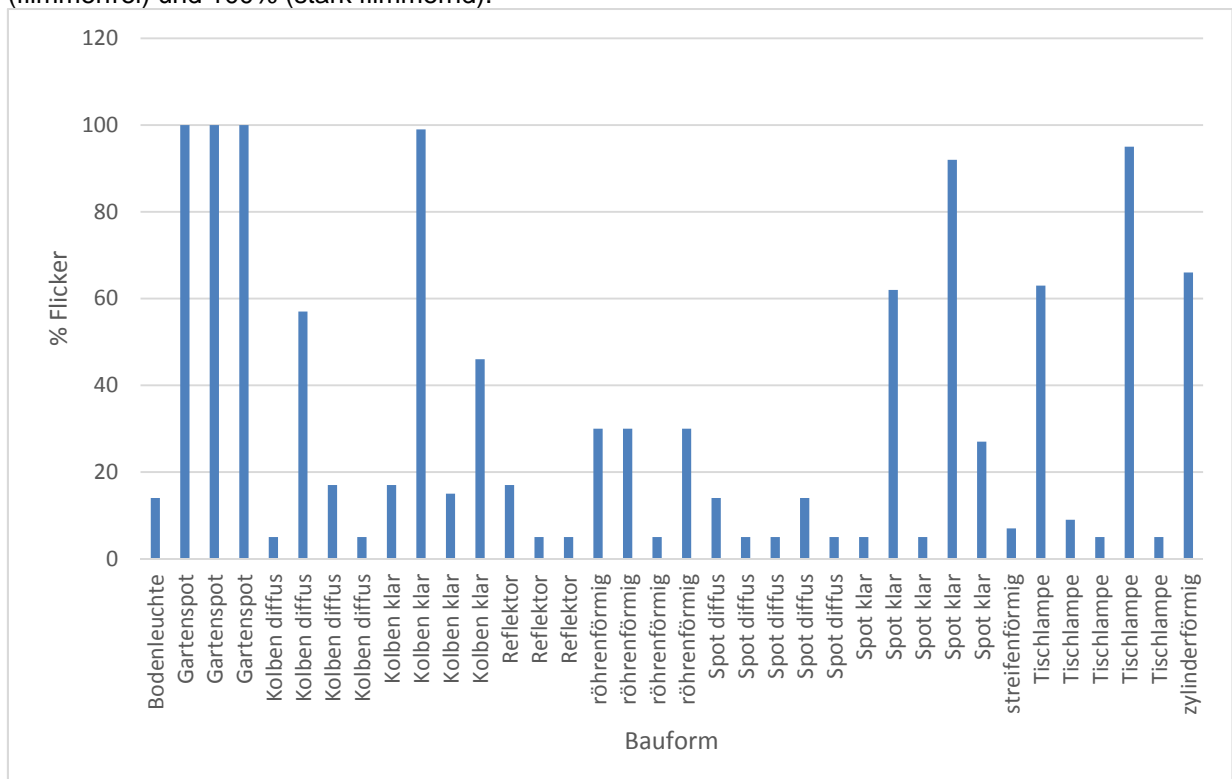


Fig. 4 Flickereigenschaften von LED (36 verschiedene LED)



Gesundheitliche Bewertung

Je nach Fabrikat können LED ein flickerfreies oder aber auch ein stark flimmerndes Licht abgeben. Ob Flicker von LED ein gesundheitliches Risiko darstellen, lässt sich im Moment nicht beurteilen (SCENIHR 2012). Aus vorsorglichen Gründen ist es deshalb empfehlenswert

- für die Beleuchtung von Orten, an denen sich Personen während längerer Zeit aufhalten, flickerfreie LED einzusetzen. Flickereigenschaften von LED-Lampen lassen sich auf dem Display einer Smartphone- oder Digitalkamera, die aus kurzer Distanz auf die Lampe scharfgestellt wird, feststellen. Die LED weist Flicker auf, wenn auf dem Display ein Bild mit Streifen sichtbar ist
- auf das Dimmen von LED an Orten zu verzichten, an denen Personen aufhalten, die an Epilepsie, Migräne oder Kopfweh leiden

3 Rechtliche Regelung und Normierung

LED-Leuchtmittel müssen als Niederspannungserzeugnisse den Anforderungen der Verordnung über elektrische Niederspannungserzeugnisse (SR 734.26) entsprechen. Niederspannungserzeugnisse dürfen weder Personen noch Sachen gefährden und nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn sie die grundlegenden Anforderungen an die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der europäischen (EG)-Niederspannungsrichtlinie erfüllen. Die grundlegenden Anforderungen sind in europäischen Normen spezifiziert. Elektromagnetische Felder von Beleuchtungseinrichtungen sind sowohl in der Norm IEC 62493 der Internationalen elektrotechnischen Kommission als auch in der gleichlautenden Norm EN SN 62493: 2010 der EU und der Schweiz geregelt. Die zulässigen elektrischen und magnetischen Felder entsprechen der Empfehlung des europäischen Rates zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (European council 1999). Die zulässige optische Strahlung ist in der europäischen Norm EN SN 62471:2008 definiert und basiert auf den Grenzwertempfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz nichtionisierender Strahlung zu nichtkohärenter sichtbarer und infraroter Strahlung (ICNIRP 2013).

Die Hersteller sind selber dafür verantwortlich, dass ihre Geräte diesen Konformitätskriterien entsprechen, es gibt in der Schweiz keine umfassende Marktkontrolle. Das Einhalten der Vorschriften wird durch das schweizerische Starkstrominspektorat (www.esti.admin.ch) mit nachträglichen Stichproben auf dem Markt kontrolliert.

4 Bibliographie

- Anses (2010): Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED).
- Behar-Cohen, F.; Martinsons, C.; Vienot, F.; Zissis, G.; Barlier-Salsi, A.; Cesarini, J. P. et al. (2011): Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye? In: Prog.Retin.Eye Res. 30 (4), S. 239-257
- Bellia, L.; Pedace, A.; Barbato, G. (2014): Indoor artificial lighting: Prediction of the circadian effects of different spectral power distributions. In: Lighting Research and Technology 46 (6), S. 650-660.
- Bellia, L.; Seraceni, M. (2014): A proposal for a simplified model to evaluate the circadian effects of light sources. In: Lighting Research and Technology 46, S. 493-505.
- Buberl, A.; Schulmeister, K.; Weber, M.; Kitz, E.; Brusl, H. (2011): Report Nr. 55b Optische Strahlung Ultraviolett-Strahlungsemission von Beleuchtung Datenkatalog Report 55b. Hg. v. AUVA. Online verfügbar unter <http://www.auva.at/portal27/portal/auvaportal/content/contentWindow?contentid=10008.544771&action=b&cacheability=PAGE&version=1391167515>.



- Chellappa, S. L.; Gordijn, M. C.; Cajochen, C. (2011): Can light make us bright? Effects of light on cognition and sleep. In: Prog.Brain Res. 190, S. 119-133.
- CIE (2009): Ocular lighting effects on human physiology and behaviour. Technical report. Vienna: CIE Central Bureau (CIE technical report, 158).
- DIN SPEC 5031-100 (2015): Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik - Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen - Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren.
- Duane, A. (1908): An attempt to determine the normal range of accommodation at various ages, being a revision of Donder's experiments. In: Trans.Am Ophthalmol.Soc. 11 (Pt 3), S. 634-641.
- EN 62471:2008 - Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen.
- EN 62493:2010 Beurteilung von Beleuchtungseinrichtungen bezüglich der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern
- Europäische Kommission (2012): Verordnung (EU) Nr. 1194/2012 der Kommission vom 12. Dezember 2012 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lampen mit gebündeltem Licht, LED-Lampen und dazugehörigen GerätenText von Bedeutung für den EWR. In: Amtsblatt der Europäischen Union L 342/1.
- Rat der europäischen Union (1999): EMPFEHLUNG DES RATES vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz - 300 GHz). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 199/59
- Gall, D.; Bieske, K. (2004): Definition and measurement of circadian radiometric quantities. Non-visual effects, proceedings of the CIE symposium '04, 30 September - 2 October 2004, University of Music and Performing Arts, Vienna, Austria. Vienna, Austria: Commission internationale de l'eclairage (CIE, x027). Online verfügbar unter [http%3A//www.worldcat.org/oclc/61877305](http://www.worldcat.org/oclc/61877305).
- IARC (2010): IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans VOLUME 98 Painting, Firefighting, and Shiftwork.
- ICNIRP (2004): Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths Between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation) 35 343. In: Health Physics 87 (2), S. 171-186.
- ICNIRP (2013): ICNIRP GUIDELINES ON LIMITS OF EXPOSURE TO INCOHERENT VISIBLE AND INFRARED RADIATION. In: Health physics 105 (1), S. 74-96.
- IEC TR 62471-2:2009 Photobiological safety of lamps and lamp systems - Part 2: Guidance on manufacturing requirements relating to non-laser optical radiation safety
- IEC 62493:2009 Beurteilung von Beleuchtungseinrichtungen bezüglich der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern
- IEC TR 62778:2014 Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires.
- Karanovic, Olivera; Thabet, Michel; Wilson, Hugh R.; Wilkinson, Frances (2011): Detection and discrimination of flicker contrast in migraine. In: Cephalalgia : an international journal of headache 31 (6), S. 723-736.
- Kitsinelis, S.; Zissis, G.; Arexis, Lydie (2012): A study on the flicker of commercial lamps. In: Light and Engineering 20 (3), S. 25.
- Poplawski, M. E.; Miller, N. M. (2013): Flicker in Solid-State Lighting: Measurement Techniques, and Proposed Reporting and Application Criteria. CIE Centenary Conference "Towards a New Century of Light", Paris, France: April 15/16, 2013.
- Rinderer, F.; Thalmann, R. (2015): Untersuchung der Blaulichtgefährdung von LED-Lampen und - Leuchten. Hg. v. METAS. Wabern (116-02688).
- SCENIHR (2012): Health Effects of Artificial Light. http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_035.pdf
- Schulmeister, K.; Buberl, A.; Weber, M.; Brusl, H.; Kitz, E. (2011): Band 55a Optische Strahlung: UV-Strahlungsemission von Beleuchtungsquellen - Endbericht. Hg. v. AUVA. Online verfügbar unter



<https://www.sozialversicherung.at/portal27/portal/auvaportal/content/contentWindow?viewmode=content&action=2&contentid=10007.672892>.

- Shang, Y. M.; Wang, G. S.; Sliney, D. H.; Yang, C. H.; Lee, L. L. (2014): White light-emitting diodes (LEDs) at domestic lighting levels and retinal injury in a rat model. In: Environ.Health Perspect. 122 (3), S. 269-276.
- Shepherd, Alex J. (2010): Visual Stimuli, Light and Lighting are Common Triggers of Migraine and Headache. In: J. Light & Vis. Env. 34 (2), S. 94-100.
- Wilkins, A. J.; Veitch, J. A.; Lehmann, B. (2010): LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update. Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE