



# Gefahr durch LED-Licht?

## Eine vergleichende Untersuchung

In der aktuellen Diskussion über die möglichen Gefahren und gesundheitlichen Folgen von LED-Licht für verschiedene Beleuchtungszwecke inklusive Bildschirmen wird oft nicht beachtet, dass LEDs nicht die einzigen Lichtquellen mit signifikantem Blauanteil sind. Leuchtstoffröhren oder Energiesparlampen werden seit Jahrzehnten genutzt, obwohl auch sie Emissionspeaks im blauen, violetten und ultravioletten Spektralbereich aufweisen. Und mit der Sonne existiert seit Beginn des Lebens auf der Erde eine Lichtquelle mit starkem blauem und sogar ultraviolettem Anteil.

### Hintergrund und Fragestellung

Weißer und farbige LEDs (Leuchtdioden) und OLEDs (organische Leuchtdioden) halten in Bildschirmen, Scheinwerfern, Straßen- und Raumbelichtungen Einzug in den Alltag. Dies löst in der Allgemeinheit und in der Fachwelt Befürchtungen aus, dass die charakteristische Strahlung der LEDs sich negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken könnte. Gegenstand der öffentlichen Diskussion sind insbesondere mögliche Gefahren für das Auge, aber auch für den Melatonin-gesteuerten Tag-Nacht-Rhythmus, der neben psychischen Folgen auch noch Auswirkungen auf das Krebsrisiko haben soll [8, 12, 13].

### Weißer Leuchtdioden

Im Fokus der Debatte stehen dabei die blauen Emissionspeaks um 450 nm, die sowohl blaue als auch weiße LEDs auf-

weisen. Die Ursachen dafür ist, dass auch weiße LEDs einen blau emittierenden Halbleiterchip nutzen, der mit einem Leuchtstoff beschichtet ist und das blaue Licht teilweise absorbiert und langwelligere (grüne, gelbe und rote) Strahlung abgibt. Daher weisen weiße LEDs in den meisten Fällen ein Emissionsspektrum mit einem Peak im Blauen und einem weiteren langwelligeren Peak auf. Die genauen Eigenschaften hängen unter anderem vom verwendeten Leuchtstoff ab. Bei bläulich wirkenden „kaltweißen“ LEDs dominiert der blaue Peak, bei rötlicheren „warmweißen“ LEDs der langwelligere Leuchtstoffpeak (Abb. 1).

### Netzhautgefährdung durch blaues Licht

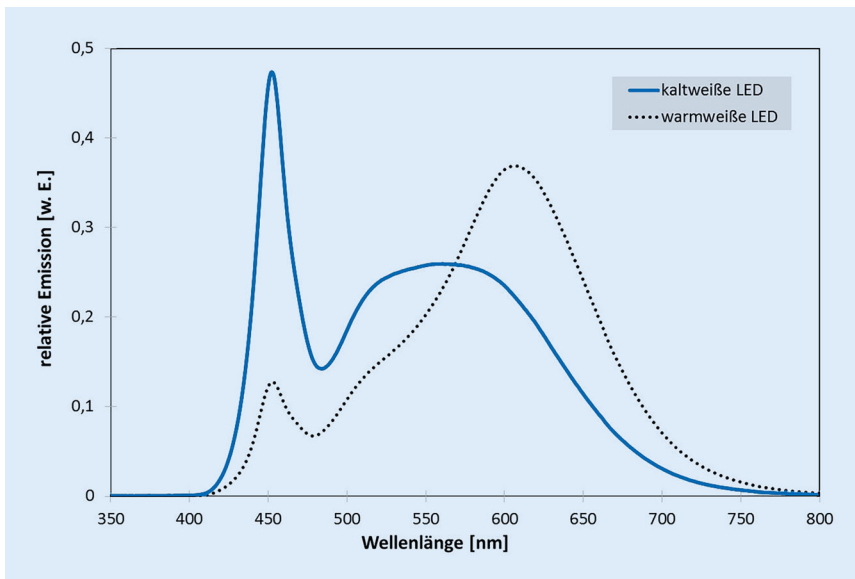
Energieresichtes kurzwelliges Licht kann bekanntermaßen photochemische Netzhautschäden auslösen. Dabei werden energiereiche Photonen im Gewebe absorbiert und produzieren reaktive Sauerstoffspezies. Das sind Radikale, wie z. B. Singulett-Sauerstoff-Atome und Hydroxylradikale, die Zellstrukturen angreifen und damit Photorezeptoren zerstören [22]. Die schädigende Wirkung für die Netzhaut steigt mit abnehmender Wellenlänge, d. h. ultraviolette und violette Strahlung sind zunächst gefährlicher als blaues Licht [9, 10]. Für die Netzhaut des adulten Auges stellt blaues Licht dennoch die größte Gefahr dar, da die okularen Medien vor der Netzhaut, insbesondere die Linse, ultraviolettes und violettes Licht zu einem großen Teil absorbieren [3]. Die resultierende photochemische

Netzhautgefährdung wird spektral durch die Blaulicht-Netzhautgefährdungs-Bewertungskurve  $B(\lambda)$  [6] beschrieben und ist in Abb. 2 zu finden.

### Hemmung der Melatoninbildung

Melatonin ist an der Steuerung des menschlichen Tag-Nacht-Rhythmus beteiligt, wobei die Melatoninbildung selber durch den Einfall von blauem Licht ins Auge gesteuert wird. Der Mechanismus beruht darauf, dass es in der Netzhaut außer den Zapfen und Stäbchen noch weitere Photorezeptoren gibt, sog. intrinsisch photosensitive retinale Ganglionzellen [2, 11, 14], die ein Empfindlichkeitsmaximum im blauen Spektralbereich haben und bei entsprechender Bestrahlung die Melatoninbildung hemmen [15]. Bei direkten Untersuchungen an menschlichen Probanden wurde genauer untersucht, wie diese hemmende Wirkung von der Wellenlänge abhängt [4, 20]. Auf der Basis dieser Daten wurde eine zirkadiane Wirkungsfunktion  $C(\lambda)$  aufgestellt [7], die die spektrale Abhängigkeit von Licht auf die Hemmung der Melatoninbildung mathematisch beschreibt. Diese ist zusammen mit der Hellempfindlichkeitskurve  $V(\lambda)$  [5], die die spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Sehvermögens beschreibt, ebenfalls in Abb. 2 dargestellt.

Aufgrund der spektralen Nähe des blauen LED-Peaks um 450 nm sowohl zum Maximum der photochemischen Bewertungskurve  $B(\lambda)$  als auch zum Maximum der zirkadianen Wirkungsfunktion  $C(\lambda)$  sind die Befürchtungen



**Abb. 1** ▲ Emissionsspektren einer kaltweißen und einer warmweißen LED. (Die Spektren sind so normiert, dass die LEDs für den Betrachter gleich hell wirken.)

zu kurz- und langfristigen Folgen von LED-Emissionen nachvollziehbar. Um einzuschätzen, ob die Gefahr für unsere Gesundheit durch die Anwendung von LEDs steigt, wird im Folgenden versucht, diese neuen Alltagsbelastungen mit den Belastungen von bereits lange eingesetzten Lichtquellen (Halogenlichtquellen, Leuchtstoffröhren/Energiesparlampen) und auch Tageslicht zu vergleichen.

## Studiendesign und Untersuchungsmethoden

Da es zwischen verschiedenen LED-Typen eine große Vielfalt gibt, sind Aussagen zu LEDs im Allgemeinen eher schwierig. Bereits die beiden vorgestellten weißen LEDs (■ **Abb. 1**) verfügen über zwei sehr unterschiedliche Emissionsspektren. Eine ähnliche Vielfalt gibt es für Leuchtstoffröhren und Halogenlampen, aber auch für alle Arten von Bildschirmen, und auch das Sonnenlicht, das zum Vergleich herangezogen wird, zeigt große Variationen in seiner Intensität und spektralen Zusammensetzung.

Um zu sinnvollen Aussagen zu kommen, werden weitverbreitete Lichtquellen für die Untersuchungen ausgewählt. Es sind dies eine warmweiße LED von Osram („LED Star Classic“, Farbtemperatur 2700 K), eine kaltweiße LED von Sylvania („Day Light“, Farbtem-

peratur 6500 K, Sylvania, Wilmington, USA), eine Leuchtstoffröhre von Osram („Lumilux Cool White“, Farbtemperatur 6000 K, Osram, München, Deutschland), eine Halogenlampe von Lightway/Osram (Farbtemperatur 2800 K, Osram, München, Deutschland), ein weißes LED-Display des Ipad Mini 2 von Apple (Apple, Cupertino, CA, USA) und das Sonnenlicht (Globalstrahlungsspektrum aus der Norm ASTM G173-03 [1], das ungefähr der mittäglichen Sonnenstrahlung bei unbewölktem Himmel im April oder September in Berlin entspricht).

Außerdem wird von der Annahme für die weiteren Untersuchungen ausgegangen, dass der Betrachter alle Lichtquellen oder alle von Lichtquellen beleuchteten Objekte immer mit ungefähr der gleichen Helligkeit beobachtet. Entweder indem er die Intensität der Lichtquelle regelt oder indem sich die Pupille adaptiert.

Die hier genannte Voraussetzung der gleich empfundenen Helligkeit aller zuvor gemessenen spektralen Strahlungsstärken  $I_{e,\lambda}$  erfolgt rechnerisch durch Berechnung der Helligkeit jedes Emissionsspektrums mithilfe der spektralen Hellempfindlichkeitskurve  $V(\lambda)$  [5] und einer anschließenden Normierung auf dieselbe Leuchtstärke für alle Licht-

quellen. Dies geschieht nach folgender Formel:

$$I_v = K_m \sum_{380}^{780} I_{e,\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot \Delta\lambda = \text{konstant.} \quad (1)$$

mit

$K_m$  photometrisches Strahlungsäquivalent

$I_v$  Lichtstärke (konstant)

$I_{e,\lambda}$  Strahlungsstärke bei Wellenlänge  $\lambda$

$V(\lambda)$  spektrale Hellempfindlichkeit

$\Delta\lambda$  Schrittweite (1 nm).

Für die Abschätzung der Blaulichtnetzhaufgefährdung wird eine Maßzahl  $B_{\text{gesamt}}$  definiert. Dazu wird die Strahlungsstärke des normierten Spektrums  $I_{e,\lambda,\text{normiert}}$  für jede Wellenlänge mit dem zugehörigen Wert der Bewertungsfunktion  $B(\lambda)$  berechnet und darüber summiert:

$$B_{\text{gesamt}} = \sum_{300}^{700} I_{e,\lambda,\text{normiert}} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda. \quad (2)$$

mit

$I_{e,\lambda,\text{normiert}}$  normierte Strahlungsstärke

$B(\lambda)$  spektrale photochem. Bewertung

$\Delta\lambda$  Schrittweite (1 nm).

Auf ähnliche Weise wird auch die Maßzahl  $C_{\text{gesamt}}$  für die zirkadiane Wirkung definiert:

$$C_{\text{gesamt}} = \sum_{380}^{580} I_{e,\lambda,\text{normiert}} \cdot C(\lambda) \cdot \Delta\lambda. \quad (3)$$

mit

$I_{e,\lambda,\text{normiert}}$  normierte Strahlungsstärke

$C(\lambda)$  spektrale zirkadiane Bewertung

$\Delta\lambda$  Schrittweite (1 nm).

## Ergebnisse

Die Spektren aller genannten und vermessenen Lichtquellen, außer den beiden weißen LEDs, sind in ■ **Abb. 3** zu finden. Sie sind mithilfe der Hellempfindlichkeitskurve  $V(\lambda)$  so normiert, dass sie dem Betrachter gleich hell erscheinen.

Ophthalmologe <https://doi.org/10.1007/s00347-018-0778-x>  
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2018

M. Heßling · P. S. Kölbl · P. Singh · S. Deuchler · D. Sinning · F. H. J. Koch · C. Lingenfelder

## Gefahr durch LED-Licht? Eine vergleichende Untersuchung

### Zusammenfassung

**Hintergrund.** Der zunehmende Einsatz von Leuchtdioden (LEDs) für Beleuchtungsanwendungen und Bildschirme gibt in der Öffentlichkeit und in der Fachwelt Anlass zur Sorge, dass blaue LED-Emissionen die Netzhaut schädigen oder über den nachweislichen Einfluss auf den Melatoninspiegel den Tag-Nacht-Rhythmus stören können.

**Ziele der Arbeit.** Die Strahlung von LEDs und anderen relevanten Lichtquellen soll gemessen und mithilfe geeigneter Bewertungsfunktionen vergleichend beurteilt werden. So soll festgestellt werden, ob LEDs sich in ihrem Gefährdungspotenzial deutlich von anderen Lichtquellen unterscheiden.

**Material und Methoden.** Die Spektren einer kaltweißen und einer warmweißen LED, eines weißen Tablet-LED-Bildschirms, einer Leuchtstoffröhre und eines Halogenleuchtmittels werden gemessen und zusammen

mit einem Sonnenlichtspektrum mithilfe der Bewertungsfunktion für die photochemische Blaulichtnetzhautgefährdung und der zirkadianischen Wirkungsfunktion relativ zueinander beurteilt.

**Ergebnisse.** Da sich LEDs stark unterscheiden können, variieren auch die relativen LED-Bewertungen stark. Die warmweiße LED ist unter allen einbezogenen Lichtquellen diejenige mit der geringsten Blaulichtnetzhautgefährdung und dem geringsten Hemmungspotenzial der Melatoninbildung und in dieser Hinsicht schonender als Halogenleuchtmittel. Für kaltweiße LEDs ergeben sich wesentlich höhere Werte sowohl für die photochemische Netzhautgefährdung als auch für die erwartete Hemmung der Melatoninbildung. Die Werte für das Tablet-Display aus Einzel-LEDs liegen noch darüber.

**Diskussion.** Nicht nur LEDs, sondern alle hier untersuchten Lichtquellen emittieren im blauen Spektralbereich, sodass sie prinzipiell eine Netzhautgefährdung darstellen. Je nach verwendetem LED-Typ kann diese Gefährdung größer oder kleiner als bei der Verwendung anderer Lichtquellen sein, aber selbst kaltweiße LEDs schneiden in ihrer Bewertung noch besser ab als mittägliches Sonnenlicht. Eventuell wäre es sinnvoll für Verbraucher Leuchtmittel zukünftig nicht nur im Hinblick auf ihre Energieeffizienz zu kennzeichnen, sondern auch ihre Blaulichtemission hinsichtlich Netzhautgefährdung und Beeinflussung des zirkadianischen Zyklus in Kategorien einzuordnen.

### Schlüsselwörter

LEDs · Blaulichtnetzhautgefährdung · Melatonin · Sonnenlicht · Halogenleuchtmittel

## Hazards posed by LEDs? A comparative study

### Abstract

**Background.** The increasing use of light-emitting diodes (LEDs) for lighting applications and displays is giving rise to public and professional concern that blue LED emissions could damage the retina or via the proven influence on the melatonin levels disrupt the human day-night rhythm.

**Objective.** The study aimed to measure the emission of LEDs and other relevant light sources and evaluate the results comparatively with the help of suitable evaluation functions in order to recognize whether LEDs differ considerably from other light sources in their hazard potential.

**Material and methods.** The spectra of a cold white and a warm white LED, a white tablet

LED display, a fluorescent tube and a halogen lamp were measured and evaluated together with a sunlight spectrum relative to each other using the blue light hazard retina weighting function and the circadian action function.

**Result.** Since LEDs can be very different, relative LED ratings also vary greatly. The warm white LED is the one with the lowest risk of blue light retinal damage and the lowest potential for inhibition of melatonin formation and in this respect even gentler than halogen lamps. For cold white LEDs, the values for photochemical retinal danger as well as for the expected inhibition of melatonin formation are much greater. The values for the tablet LED display are even higher.

**Conclusion.** Not only LEDs but all examined light sources emit in the blue spectral range, so that in principle they represent a retinal hazard. Depending on the employed LED type, this hazard may be greater or less compared to conventional light sources but even cold white LEDs are rated slightly better than sunlight at noon. To support consumers it might be helpful to classify LEDs and other illuminants by their potential hazard to the eye, as they are already labelled with respect to their energy efficiency.

### Keywords

LEDs · Blue light hazard · Melatonin · Sunlight · Halogen illuminant

Die LED-Spektren in **Abb. 1** sind zuvor genauso normiert worden.

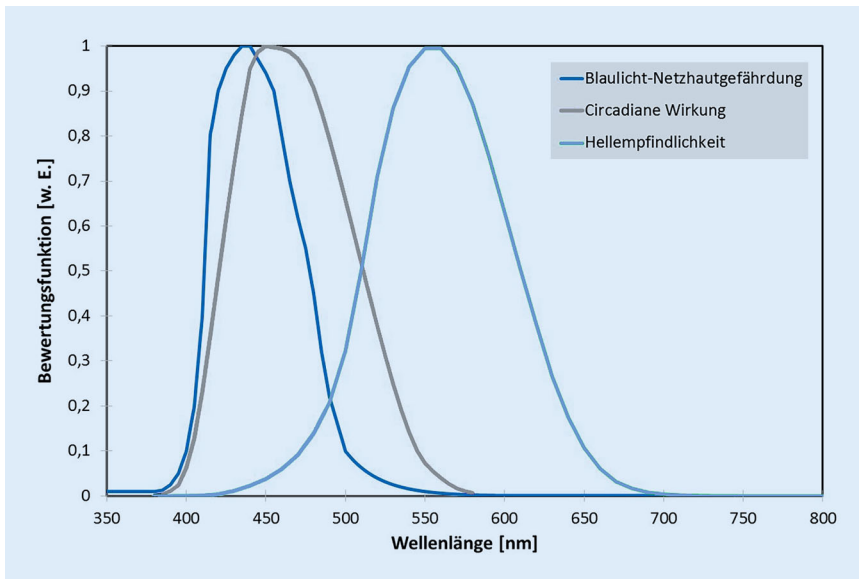
In **Tab. 1** finden sich die Ergebnisse zur berechneten relativen Blaulichtnetzhautgefährdung und relativen Melatoninhemmung aller hier untersuchten Lichtquellen. Kaltweiße LEDs stellen sowohl aus photochemischer Sicht als auch im Hinblick auf die Melatoninhemmung eine wesentlich höhere Belastung dar als Halogenlichtquellen. Die Leuchtstoffröhre liegt in ihrer Wirkung zwi-

schen dem Halogenleuchtmittel und der kaltweißen LED. Der LED-Bildschirm des Ipad 2 Mini zeigt die höchsten Werte in beiden Kategorien unter den künstlichen Lichtquellen, aber die Wirkungen des mittäglichen Sonnenlichts sind in beiden Kategorien noch etwas stärker.

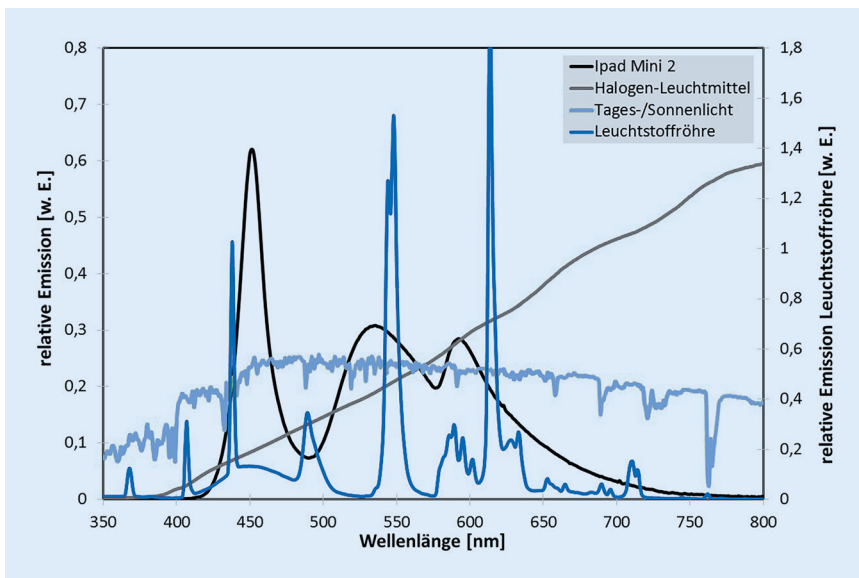
Die niedrigste Blaulichtgefährdung und auch Melatonin-hemmende Wirkung weisen warmweiße LEDs auf. Der Unterschied zwischen den beiden untersuchten LEDs beträgt ungefähr Faktor 3.

## Diskussion

Die Ergebnisse sind auf der Grundlage spektraler Messungen und publizierter physiologischer Daten entstanden. Weitere Parameter, wie z. B. Dauer und Intensität oder Homogenität der Beleuchtung oder auch altersabhängige Effekte, wurden nicht berücksichtigt. Die Annahme gleicher Helligkeit bei der Betrachtung verschiedener Lichtquellen mit unterschiedlichen Intensitäten stellt ei-



**Abb. 2** ▲ Bewertungsfunktion  $B(\lambda)$  für Blaulichtnetzhaufgefährdung [6], zirkadiane Wirkungskurve  $C(\lambda)$  [7] und Hellempfindlichkeitskurve  $V(\lambda)$  [5]



**Abb. 3** ▲ Emissionsspektren eines Ipad Mini 2-LED-Displays, eines Halogenleuchtmittels, einer Leuchtstoffröhre und eines Tages-/Sonnenlichtspektrums zur Mittagszeit. Alle Spektren sind so normiert, dass sie für den Betrachter gleich hell erscheinen. Die Skala für die Leuchtstoffröhre ist zur besseren Darstellung auf der rechten Seite in einem anderen Maßstab zu finden

ne Vereinfachung dar, die nur in einem begrenzten Rahmen zu aussagekräftigen Resultaten führt.

Der Fokus der hier vorgestellten Untersuchungen liegt auf den Belastungen durch technische Lichtquellen, deren Intensitäten bzw. Lichtströme in einem vergleichbaren Rahmen liegen. Dazu kommen nivellierende Effekte bei der Netzhautbestrahlung. Das sind zum einen die Pupillenadaptation und zum

anderen die angenommenen unterstützenden Verhaltensweisen des Leuchtmittelnutzers. So liegt es z. B. nahe, dass jemand, der ein 60 W-Halogenleuchtmittel ersetzen muss, ein LED-Leuchtmittel auswählt, auf dem angegeben ist, dass es so hell ist wie ein 60 W-Halogenleuchtmittel. Aus diesem Grund liefert eine relative Betrachtung durch eine angenommene gleiche Helligkeit tatsächlich sinnvolle Aussagen über die

Netzhautgefährdung und die Melatonin-hemmende Wirkung, ohne die absoluten Bestrahlungsstärken auf der Netzhaut zu bestimmen.

## Netzhautgefährdung

Alle ermittelten Spektren weisen deutliche blaue Emissionsanteile auf. Daher ist es wenig überraschend, dass die berechneten Bewertungen sich nicht um Größenordnungen unterscheiden und selbst die vergleichsweise schlecht abschneidende kaltweiße LED und der Tablet-Bildschirm nur um etwa den Faktor 2,5 höher in der Blaulichtnetzhaufgefährdung liegen als das Halogenleuchtmittel. Die stärkste relative Belastung laut **Tab. 1** stellt jedoch das mittägliche Sonnenlicht dar. Dies spricht im Hinblick auf die Blaulichtnetzhaufgefährdung eher dafür, dass (kaltweiße) LEDs und LED-Bildschirme zwar möglicherweise eine zusätzliche Belastung darstellen, aber die entsprechenden Belastungen in der Zeit vor dem Einzug der LEDs z. B. durch Sonnenlicht oder Leuchtstoffröhren aus spektraler Sicht nicht oder nicht wesentlich geringer waren.

Bei der Diskussion der Gefährdung durch kurzwelliges Licht sollte nicht vergessen werden, dass nicht nur die Netzhaut geschädigt werden kann. Violette und ultraviolette Strahlung fördern auch die Kataraktentstehung [17, 19, 23, 24]. Da Leuchtstoffröhren und Sonnenlicht im Gegensatz zu weißen und blauen LEDs violette und ultraviolette Strahlung aussenden, sind sie im Hinblick auf die Kataraktbildung möglicherweise bedenklicher als alle hier vorgestellten LEDs.

## Melatoninhemmung

Kaltweiße LEDs und Bildschirme führen zu einer Hemmung der Melatoninbildung, die in der Größenordnung der Hemmung des hier verwendeten Sonnenspektrums liegt. Das spricht für einen Einfluss auf den biologischen Tag-Nacht-Rhythmus und auch für die Gefahr von Schlafstörungen bei der abendlichen Nutzung von Bildschirmen und Lichtquellen jeglicher Art. Diese Einflüsse wird es – möglicherweise in geringerer



**Tab. 1** Relative Blaulichtnetzhaufgefährdung und Melatonin-hemmende Wirkung verschiedener Lichtquellen bei angenommener gleicher Helligkeit, sortiert in aufsteigender Reihenfolge. Die Blaulichtnetzhaufgefährdung und die Melatonin-hemmende Wirkung der Halogenlampe werden auf den Referenzwert 1 gesetzt. Die geringsten Werte jeder Spalte sind kursiv markiert. Die höchsten Werte jeder Spalte sind fett markiert

Lichtquelle	Relative Blaulichtnetzhaufgefährdung	Relative Melatonin-hemmende Wirkung
Warmweiße LED	<i>0,76</i>	<i>0,79</i>
Halogenleuchtmittel	1,00	1,00
Leuchtstoffröhre	1,69	1,30
Kaltweiße LED	2,36	1,98
Ipad Mini 2-LED-Display	2,59	1,99
Tages-/Sonnenlicht	<b>2,60</b>	<b>2,07</b>

Stärke – bereits in der Zeit vor den LEDs gegeben haben, denn vor dem Einzug der LEDs waren moderne Fernseher und Bildschirme aus technischer Sicht überwiegend modifizierte Leuchtstoffröhren. Dabei ist auch noch anzumerken, dass moderne Tablets mittlerweile eine Nachtbeleuchtungsfunktion anbieten, bei der der Blauanteil der Emissionen und damit die Melatoninhemmung reduziert sind.

### „Blaulicht-Label“?

Insgesamt sprechen die hier vorgestellten Untersuchungen eher dafür, dass LEDs keine ganz große neue Gefahr darstellen. Im Gegenteil, im Hinblick auf die Blaulichtgefährdung und die unerwünschte Hemmung der Melatoninbildung gibt es möglicherweise keine bessere Lichtquelle als warmweiße LEDs. Die Verwendung kaltweißer LED wäre unter gesundheitlichen Aspekten als kritischer anzusehen.

Es existieren zwar Studien, die eine Netzhautschädigung durch LEDs nachweisen konnten, wie z. B. [13], aber diese sind mit Hochleistungs-LEDs bzw. hohen Bestrahlungsdosen im Tiermodell untersucht worden. Eine umfassende Studie der EU-Kommission kommt – trotz Berücksichtigung der veröffentlichten LED-Netzhautschädigungen – zum (vorläufigen) Resultat, dass unter normalen Beleuchtungssituationen zumindest für Erwachsene keine besondere Gefährdung durch blaues LED-Licht zu erwarten ist [18].

Die mögliche Gefährdung für Kinder wird in dieser Studie nicht eindeutig beurteilt, denn die Transmission der okularen Medien im kurzwelligen Spek-

tralbereich ist bei Kindern höher, sodass mehr blaues, violettes und ultraviolettes Licht auf der Netzhaut ankommt. Dies erhöht das Risiko von Netzhautschädigungen durch alle Lichtquellen. Auf der anderen Seite gibt es auch Studien, die davor warnen, Kinder zu sehr vor UV-Licht zu schützen, da dies zu Myopie führen kann [16, 21].

Generell ist die Beurteilung von Lichtquellen und deren Gefahrenpotenzial selbst für Experten nicht einfach, auch wenn es die allgemeine Tendenz gibt, dass Gefährdungen zunehmen, je höher der Anteil an kurzwelligen Emissionen ist. Verbraucher stehen vor dem Dilemma, dass ihnen eine Vielfalt von unterschiedlichen LED-Leuchtmitteln angeboten wird und sie gleichzeitig aus den Medien erfahren, dass LEDs ein Gesundheitsrisiko darstellen.

Für die Energieeffizienz gibt es die sog. EU-Energieverbrauchskennzeichnungen, bei denen Leuchtmittel z. B. in A, B, C ... eingeordnet werden. Es stellt sich die Frage, ob es aus augenärztlicher Sicht nicht sinnvoll wäre, auch eine Verbraucherleuchtmittelkennzeichnung einzuführen, die das potenzielle Gesundheitsrisiko zumindest grob klassifiziert, z. B. in der einfachsten Form, dass alle Lichtquellen, die Blaulichtanteile vergleichbar zu Halogenleuchtmitteln aufweisen, ein „Blaulicht-Gütesiegel“ erhalten.

### Schlussfolgerung

LEDs können eine neue Belastung für die menschliche Gesundheit darstellen, aber diese liegt in einer vergleichbaren Grö-

ßenordnung wie die bereits seit Jahrzehnten bekannte Belastung durch Leuchtstoffröhren oder sogar wie die Belastung durch Tageslicht. Es gibt deutliche Unterschiede zwischen verschiedenen LEDs, aber warmweiße LEDs scheinen im Hinblick auf die Blaulichtgefährdung und die Melatoninhemmung sogar noch günstigere Eigenschaften aufzuweisen als Halogenlichtquellen.

### Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. M. Heßling**

Institut für Medizintechnik und Mechatronik, Hochschule Ulm  
Albert-Einstein-Allee 55, 89081 Ulm, Deutschland  
hessling@hs-ulm.de

### Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** D. Sinning gibt folgenden Interessenkonflikt an: Arbeitgeber EPiGAP Optronic GmbH. C. Lingenfelder gibt folgenden Interessenkonflikt an: Arbeitgeber Pharmapur GmbH, Königsbrunn. M. Heßling, P.S. Kölbl, P. Singh, S. Deuchler und F.H.J. Koch geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

### Literatur

1. ASTM G173-03(2012) (2012) ASTM International Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: direct normal and hemispherical on 37° tilted surface. ASTM International, West Conshohocken
2. Berson DM, Dunn FA, Takao M (2002) Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science* 295(5557):1070–1073
3. Boettner EA, Wolter JR (1962) Transmission of the ocular media. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1962(1):776–783
4. Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM et al (2001) Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J Neurosci* 21(16):6405–6412
5. Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) (1983) The basis of physical photometry. Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), Paris
6. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2014) Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik Teil 10: Photobiologisch wirksame Strahlung, Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren 17.180.01 (DIN 5031-10). Beuth-Verlag, Berlin (<https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-iec-tr-62778/197172894>)
7. Gall D, Bieske K (2004) Definition and measurement of circadian radiometric quantities. In: Light and Health: Non-Visual Effects: Proceedings of the CIE Symposium '04, 30 September - 2 October 2004 University of Music and Performing Arts, Vienna,

- Austria (First CIE Expert Symposium on Light and Health. Commission Internat. de l'Eclairage, Vienna)
8. Garcia-Saenz A, Sánchez de Miguel A, Espinosa A et al (2018) Evaluating the association between artificial light-at-night exposure and breast and prostate cancer risk in Spain (MCC-Spain study). *Environ Health Perspect* 126(4):47011
  9. Ham WT (1983) Ocular hazards of light sources: review of current knowledge. *J Occup Med* 25(2):101–103
  10. Ham WT, Mueller HA, Sliney DH (1976) Retinal sensitivity to damage from short wavelength light. *Nature* 260(5547):153–155
  11. Hannibal J, Fahrenkrug J (2002) Melanopsin: a novel photopigment involved in the photoentrainment of the brain's biological clock? *Ann Med* 34(5):401–407
  12. Irmer J (2018) Blaulichtalarm. <https://www.spektrum.de/news/schaden-bildschirm-den-augen/1560572>. Zugegriffen: 23. Mai 2018
  13. Jaadane I, Boulenguez P, Chahory S et al (2015) Retinal damage induced by commercial light emitting diodes (LEDs). *Free Radic Biol Med* 84:373–384
  14. Lucas RJ (2013) Mammalian inner retinal photoreception. *Curr Biol* 23(3):R125–R133
  15. Paul KN, Saafir TB, Tosini G (2009) The role of retinal photoreceptors in the regulation of circadian rhythms. *Rev Endocr Metab Disord* 10(4):271–278
  16. Prepas SB (2008) Light, literacy and the absence of ultraviolet radiation in the development of myopia. *Med Hypotheses* 70(3):635–637
  17. Roberts JE (2011) Ultraviolet radiation as a risk factor for cataract and macular degeneration. *Eye Contact Lens* 37(4):246–249
  18. SCHEER (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks), Opinion on Potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs), 6 June 2018
  19. Taylor HR (1989) Protect eyes from ultraviolet light to prevent cataract rather than retinal damage. *JAMA* 261(24):3550
  20. Thapan K, Arendt J, Skene DJ (2001) An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J Physiol (Lond)* 535(Pt 1):261–267
  21. Torii H, Kurihara T, Seko Y et al (2017) Violet light exposure can be a preventive strategy against myopia progression. *EBioMedicine* 15:210–219
  22. Wu J, Seregard S, Algvere PV (2006) Photochemical damage of the retina. *Surv Ophthalmol* 51(5):461–481
  23. Yam JCS, Kwok AKH (2014) Ultraviolet light and ocular diseases. *Int Ophthalmol* 34(2):383–400
  24. Zrenner E (1990) Lichtinduzierte Schäden am Auge. *Fortschr Ophthalmol* 87(Suppl):S41–S51