

LED & Co – Künstliche Lichtquellen im Alltag und ihre Wirkungen auf den Menschen

LED & Co – Artificial light sources in everyday life and their effects on people

ZUSAMMENFASSUNG

Licht aus natürlichen und künstlichen Quellen ermöglicht uns, unsere Umwelt visuell wahrzunehmen und beeinflusst circadiane Rhythmen, insbesondere den Schlaf-Wach-Rhythmus. Vor allem Licht emittierende Dioden (LEDs) als verhältnismäßig neues Leuchtmittel stehen häufig im Zentrum von Diskussionen über Gefährdungen der Retina durch energiereiches blaues Licht („Blaulichtgefährdung“), mögliche Langzeit-effekte und unerwünschte nicht-visuelle Wirkungen. Der Blaulichtanteil künstlicher Lichtquellen ist jedoch sehr unterschiedlich – auch bei LEDs. Übliche Lampen und Lampensysteme der Allgemeinbeleuchtung sind bei bestimmungsgemäßem Gebrauch als augensicher zu betrachten. Dennoch sollte auf eine gute Beleuchtungspraxis geachtet werden, vor allem im Hinblick auf vulnerable Gruppen wie Kinder.

MONIKA ASMUSS,
SEBASTIAN LORENZ

ABSTRACT

Light from natural and artificial sources enables us to visually perceive our environment and influences circadian rhythms, especially the sleep-wake rhythm. In particular, light-emitting diodes (LEDs) as a relatively new light source are often the focus of discussions about hazards to the retina from high-energy blue light ("blue light hazard"), possible long-term effects and undesirable non-visual effects. However, the proportion of blue light from artificial light sources varies greatly - even for LEDs. Conventional lamps and lamp systems for general lighting can be considered safe for eyes when used as intended. Nevertheless, attention should be paid to good lighting practice, especially with regard to vulnerable groups such as children.

EINLEITUNG

Die Welt der Allgemeinbeleuchtung hat sich mit der 2009 verabschiedeten Richtlinie der Europäischen Kommission für energiebetriebene Produkte („Ökodesign-Richtlinie“) grundlegend verändert. Die Glühlampe ist aufgrund ihrer schlechten Energiebilanz aus den Läden verschwunden, auch Halogenlampen erfüllen die gestiegenen Anforderungen an die Energieeffizienz nicht mehr. Anders die Licht emittierenden Dioden (LEDs): LED-Lampen haben eine gute Energieeffizienz und benötigen für die Lichterzeugung

kein Quecksilber. Außerdem emittieren für die allgemeine Beleuchtung vorgesehene LED-Lampen keine UV-Strahlung und gewinnen nicht zuletzt wegen ihrer Vielfalt und ihrer vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten immer mehr an Bedeutung. Trotz der genannten Vorteile sind LED-Lampen jedoch nicht unumstritten. Vor allem der verglichen mit der Glühlampe höhere Blaulichtanteil im Spektrum von Weißlicht-LEDs steht im Zentrum der Diskussion. Und wie steht es mit Langzeitwirkungen von Licht aus künstlichen Quellen? Was macht eine gute Beleuchtungspraxis aus, worauf sollte man achten?



Vielfalt der Leuchtmittel -
von Glühlampe bis LED.
Quelle: Monika Asmuß.

Über diese Themen soll im Folgenden ein Überblick gegeben werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf künstlichen Lichtquellen der Allgemeinbeleuchtung. Eines sollte jedoch nicht vergessen werden: Die wichtigste lebenslange Quelle für sichtbares Licht ist und bleibt die Sonne.

WAS IST LICHT?

Als „Licht“ wird genau genommen nur der Teil des elektromagnetischen Spektrums bezeichnet, der beim Menschen Hell- und Farbempfindungen hervorruft. Die Wellenlängen des sichtbaren Lichts liegen innerhalb des elektromagnetischen Spektrums zwischen UV-Strahlung und Wärmestrahlung (Infrarot). Die meisten Menschen können Wellen-

längen zwischen circa 380 Nanometern (nm) und circa 780 nm mit dem Auge wahrnehmen, die Grenzen sind jedoch fließend ([TABELLE 1](#)). Aufgrund von Alterungsprozessen nimmt die Durchlässigkeit der Linse besonders für den kurzweligen Teil des sichtbaren Spektrums ab. Es erreicht also mit zunehmendem Alter weniger violettes und blaues Licht die Netzhaut.

KÜNSTLICHE LICHTQUELLEN DER ALLGEMEINBELEUCHTUNG

Sowohl bei der klassischen [Glühlampe](#) als auch bei der [Halogenlampe](#) entsteht Licht dadurch, dass mittels elektrischem Strom ein Metalldraht so stark erhitzt wird, dass er

FARBE	WELLENLÄNGEN IN NANOMETER (NM)
Violett	ca. 380–420
Blau	ca. 420–490
Grün	ca. 490–575
Gelb	ca. 575–585
Orange	ca. 585–650
Rot	ca. 650–780

Die Tabelle dient nur der Orientierung. Die Übergänge zwischen den Farben sind fließend.

glüht. In beiden Fällen handelt es sich also um sogenannte Temperaturstrahler. Das abgestrahlte Wellenlängenspektrum ist wie bei der Sonne kontinuierlich, allerdings ins Langwellige, das heißt nach Rot, ansteigend (siehe Beispiel des Spektrums einer Glühlampe in **ABBILDUNG 1**). Die Farbwiedergabe ist bei diesem Lampentyp sehr gut. Leider geht selbst bei Halogenlampen noch zu viel der eingesetzten Energie als Wärme verloren. Das macht Temperaturstrahler ineffizient und führt dazu, dass sie den Anforderungen der Ökodesign-Richtlinie nicht genügen.

Sowohl die **linearen** als auch die **kompakten Leuchtstofflampen** („Energiesparlampen“) gehören zu den Niederdruck-Entladungslampen. Bei ihnen wird Elektrizität durch ein Gas geleitet, bei dessen Anregung zunächst ultraviolette Strahlung (UV-Strahlung) entsteht. Der an der Glasinnenseite des Lampenrohres angebrachte Leuchtstoff setzt dann einen Großteil der energiereichen UV-Strahlung in energieärmere Fluoreszenzstrahlung im sichtbaren Bereich um. Vor allem vom Glas der Lampe hängt ab, wie viel UV-Strahlung noch aus der Lampe austritt. Messungen belegen, dass von handelsüblichen Energiesparlampen für gesunde Personen unter realistischen Expositionsbedingungen kein Risiko durch UV-Strahlung ausgeht (Miller et al. 2016).

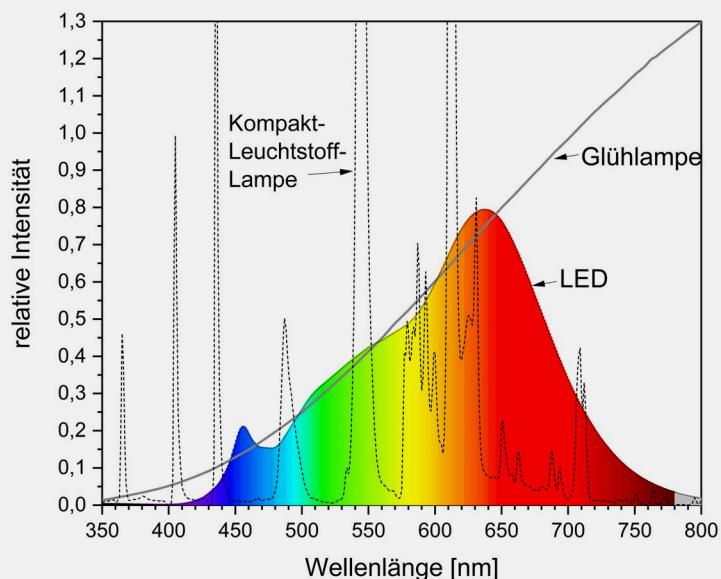
Anders als bei Temperaturstrahlern ist das Spektrum von Leuchtstofflampen nicht kontinuierlich, sondern durch schmale Spek-

tralbänder gekennzeichnet, die durch die Mischung verschiedener Leuchtstoffe entstehen (siehe Beispiel des Spektrums einer Kompakteuchtstofflampe in **ABBILDUNG 1**). Von der Anzahl und vom Mischungsverhältnis der verwendeten Leuchtstoffe hängen sowohl die Farbtemperatur als auch die Qualität der Farbwiedergabe ab. Bei den „klassischen“ Leuchtstofflampen enthielt das Gas in der Lampe eine geringe Menge Quecksilber. Solche Lampen sind jedoch seit dem 31.12.2018 gemäß der EU-Quecksilberverordnung (EU 2017/852) mit einem Aus- und Einfuhrverbot belegt. Auch ihre Herstellung ist in der EU verboten.

Licht Emittierende Dioden (LEDs) sind kleine Halbleiter-Bauelemente. Weißes Licht wird meist durch **Photolumineszenz** erzeugt. Dabei wird über einer blauen LED eine dünne Schicht aus Phosphorverbindungen aufgetragen. Das energiereiche blaue Licht regt die Phosphorschicht zum Leuchten an. Ein Teil des blauen Lichts wird dabei in energieärmeres Licht mit größeren Wellenlängen (z. B. Gelb) umgewandelt. Das entstehende Gemisch aus verschiedenen Wellenlängen

TABELLE 1
 Wellenlängen und Farbe des Lichts. Quelle: BfS.

ABBILDUNG 1
 Gegenüberstellung der Spektren unterschiedlicher Lampen gleicher Farbtemperatur 2700 K.
 Quelle: BfS, Messungen Sebastian Lorenz.



LED (farbig hinterlegt), Glühlampe (graue Linie) und Kompakteuchtstofflampe (gestrichelte schwarze Linie).

wird als weißes Licht wahrgenommen. Je nach Art und Dosierung des Phosphor-Farbstoffs kann der verbleibende Anteil des von einer LED abgestrahlten blauen Lichts größer oder kleiner sein. Ein Beispiel für das Spektrum einer warmweißen LED (2700 Kelvin) ist in **ABBILDUNG 1** dargestellt. Ein zweiter Weg um weißes Licht zu erzeugen, ist die **additive Farbmischung**. In diesem Fall entsteht weißes Licht durch die Kombination von einfarbigen roten, grünen und blauen LEDs. Bei dieser Methode kann durch gezielte Ansteuerung der einzelnen LEDs neben weißem auch farbiges Licht erzeugt werden.

BLAULICHTANTEIL KÜNSTLICHER LICHTQUELLEN

Grundsätzlich gilt: Je höher die Farbtemperatur in Kelvin (K), desto höher ist der Blaulichtanteil (**TABELLE 2**).

TABELLE 2
Bezeichnungen für Farbtemperaturen in Kelvin (K) bei künstlichen Lichtquellen.
Quelle: BfS.

BEZEICHNUNG	KELVIN (K)
Warmweiß	bis ca. 3.300
Neutralweiß	ca. 3.300–5.300
Tageslichtweiß/ Kaltweiß	über 5.300

Zum Vergleich: Die Farbtemperatur von Kerzenlicht liegt bei circa 1.800 K, die von morgendlichem Sonnenlicht bei circa 3000–4000 K und von Mittagssonne bei circa 5000–6000 K. Die höchste Farbtemperatur erreicht der blaue Himmel mit circa 10.000 K und mehr. Grund dafür ist die starke Streuung des blauen Lichts in der Atmosphäre.

Bei LED-Leuchtmitteln kann die Höhe des Blaulichtanteils und damit die Farbtemperatur sehr unterschiedlich sein. Beispiele für Spektren von LED-Lampen mit unterschiedlichem Blaulichtanteil sind in **ABBILDUNG 2** dargestellt.

BIOLOGISCHE WIRKUNGEN VON LICHT

VISUELLE WIRKUNGEN

Licht ermöglicht uns, unsere Umwelt mit den Augen wahrzunehmen. Die visuelle Wirkung von Licht auf den Menschen entsteht durch Reizung spezieller Rezeptorzellen in der Netzhaut des Auges („Stäbchen“ und „Zapfen“). Die auf die Rezeptoren einwirkenden Reize werden über den Sehnerv in die für die Verarbeitung visueller Signale verantwortlichen Bereiche des Gehirns weitergeleitet. Die Zapfen dienen dem Farbensehen, die lichtempfindlicheren Stäbchen ermöglichen Nacht- oder Dämmerungssehen – allerdings nur in Schwarz-Weiß.

Ist die Leuchtdichte einer Lichtquelle zu hoch oder treten zu große Leuchtdichteunterschiede auf, kann das visuelle System überfordert werden. Die entstehende Beeinträchtigung der Sehleistung oder des Sehkomforts bezeichnet man als physiologische oder psychologische Blendung. Zwar handelt es sich dabei nicht um eine Schädigung des visuellen Systems, jedoch kann das Risiko für Unfälle durch Blendung erhöht werden.

NICHT-VISUELLE (MELANOPISCHE) WIRKUNGEN

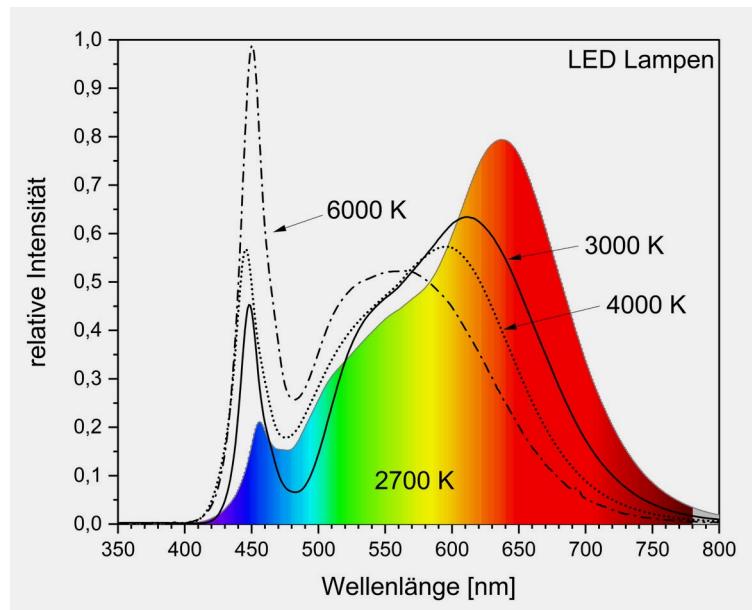
Licht dient nicht nur dem Sehvorgang, sondern beeinflusst auch körpereigene Botenstoffe und stellt die „innere Uhr“. Für die Wirkung von Licht als Zeitgeber ist maßgeblich ein dritter, ebenfalls in der Netzhaut lokalisierter Rezeptortyp verantwortlich: die photosensitiven retinalen Ganglienzellen mit dem lichtempfindlichen Protein Melanopsin als Photopigment. Das Aktionsspektrum dieses Rezeptortyps wurde von Brainard et al. (2001) sowie von Thapan et al. (2001) näher beschrieben. Dieser Rezeptor absorbiert vor allem blaues Licht mit Wellenlängen im Bereich von circa 480 Nanometern. Er bewirkt indirekt über neuronale Signale unter anderem die Unterdrückung der Ausschüttung des „Schlafhormons“ Melatonin aus der Pineal-

Pinealdrüse. So wirkt vor allem blaues Licht auf den Schlaf-Wach-Rhythmus. Licht am Morgen stabilisiert die innere Uhr. Es fördert tagsüber die Wachheit und wirkt sich positiv auf die Leistungsfähigkeit und die Stimmung aus. Abends und nachts hingegen, wenn sich der Körper auf eine Ruhephase einstellt, kann Licht, vor allem wenn es einen hohen Blauanteil hat, dem Schlaf entgegenwirken. Wie stark die Wirkung im konkreten Fall ist, hängt natürlich auch davon ab, wie viel Licht auf der Netzhaut ankommt, das heißt von der Beleuchtungsstärke und von der Dauer der Lichtexposition. Einen Überblick über nicht-visuelle Wirkungen von Licht geben Lucas et al. (2014).

Insbesondere im Zusammenhang mit Schichtarbeit wird die negative Rolle von nächtlichem Licht diskutiert. Allerdings ist Licht nicht der einzige Faktor, der hier die circadianen Rhythmen aus dem Takt bringt. Auch andere Faktoren wie körperliche Aktivität tragen dazu bei. 2007 stufte die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) daher Schichtarbeit, die mit circadianen Störungen einhergeht, als wahrscheinlich krebsverdächtig beim Menschen ein. 2019 hat die IARC diese Einstufung überprüft und bestätigt (IARC 2019). Einen Überblick zum Thema nichtvisuelle Wirkungen vor allem am Arbeitsplatz gibt die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung in ihrer Informationschrift „Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf den Menschen“ (DGUV 2018).

BLAULICHTGEFÄRDUNG

Grundsätzlich können Schäden durch optische Strahlung photochemisch oder thermisch bedingt sein. Bei der Allgemeinbeleuchtung verwendeten Strahlenquellen stehen photochemische Wirkungen im Vordergrund. So wird unter Blaulichtgefährdung ("blue light hazard") das Risiko für direkt nachweisbare photochemische Schäden an der Netzhaut oder im retinalen Pigmentepithel (RPE) verstanden. Die Schäden beruhen darauf, dass durch Interaktion des energiereichen Lichts mit körpereigenen photosen-



2700 K (Warmweiß), 3000 K (Warmweiß), 4000 K (Neutralweiß) und 6000 K (Tageslichtweiß, auch „Kaltweiß“ genannt).

sitiven Verbindungen reaktive Sauerstoffverbindungen entstehen. Diese können die Photorezeptoren selbst oder Zellen des die Photorezeptoren versorgenden und maßgeblich am stetigen Erneuerungsprozess der Rezeptoren beteiligten RPE oxidativ schädigen. Solche Wirkungen an der Retina sind bereits seit den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts bekannt und wurden im Tiermodell beispielsweise von Noell et al. (1966) nachgewiesen. Auch die zugrundeliegenden Mechanismen wurden im Verlauf der folgenden Jahrzehnte weiter aufgeklärt. Diese Kenntnisse bilden die Basis für die Risikobewertung künstlicher Strahlenquellen. Das Wirkungsmaximum für diese Art von Schäden liegt bei Wellenlängen um circa 440 nm, das heißt ebenfalls im blauen Bereich des sichtbaren Spektrums. Einen Überblick über Wirkungen von Licht an der Retina gibt Rozanowska (2012).

Mehrere Arbeitsgruppen haben die Wirkungen künstlicher Strahlenquellen, darunter LEDs, im Tierversuch untersucht und schädigende Wirkungen an der Retina von Ratten beschrieben (z.B. Shang et al. 2014;

ABBILDUNG 2
 Spektren handelsüblicher LED-Lampen für die Allgemeinbeleuchtung mit unterschiedlichen Farbtemperaturen.
 Quelle: BfS, Messungen Sebastian Lorenz.

Krigel et al. 2016; Jaadane et al. 2017). Allerdings muss bei diesen Tierversuchen auf die Grenzen der Übertragbarkeit hingewiesen werden. Insbesondere stellt sich die Frage, ob die Exposition im Tierversuch der Expositionssituation an der Retina beim Menschen entspricht. Mit dieser Problematik setzte sich eine französische Arbeitsgruppe auseinander, die zum Schluss kommt, dass die Höhe der Retina-Exposition im Tiermodell unterschätzt worden sein könnte (Point, Lambrozo 2017; Point, Beroud 2019).

Anders als frühere Generationen verbringen die meisten Menschen heute viel Zeit vor Bildschirmgeräten. Untersuchungen mit verschiedenen Displays ergaben keine Hinweise auf eine akute Blaulichtgefährdung der Netzhaut (O'Hagan et al. 2016). Insbesondere vor dem Hintergrund unerwünschter nicht-visueller Wirkungen von Blaulicht bieten jedoch viele Geräte die Möglichkeit, den Blaulichtanteil der emittierten Strahlung zu vermindern („Blaulichtfilter“ oder „Nachtmodus“).

LANGZEITWIRKUNGEN

Gerade vor dem Hintergrund neuer Leuchtmittel wie den LEDs und der Nutzung von Bildschirmgeräten aller Art wird verstärkt diskutiert, ob lichtbedingte Schäden an der Netzhaut oder im retinalen Pigmentepithel (RPE), die unterhalb der Nachweisschwelle für akute Schäden bleiben, aber über die Lebenszeit akkumulieren, zu Erkrankungen wie der altersbedingten Makuladegeneration (AMD) beitragen. Vorliegende epidemiologische Studien betrachten in diesem Zusammenhang vor allem die Auswirkungen langjährig-

ger Sonnenexposition. Hier ist zu bedenken, dass durch die Sonne eine Exposition mit dem gesamten optischen Strahlungsspektrum erfolgt, also neben dem sichtbaren Licht auch energiereiche UV-Strahlung und Infrarot-Strahlung auf das Auge einwirken. Da jedoch nur ein geringer Prozentanteil der UV-A-Strahlung die Retina erreicht (UV-B wird von den vorderen Augenmedien absorbiert), ist es durchaus plausibel, den Fokus auf den energiereichen sichtbaren Teil des Spektrums zu legen. So fanden epidemiologische Studien wie die „Chesapeake Bay Waterman Study“ (Taylor et al. 1990) und die „Beaver Dam Eye Study“ (Cruickshanks et al. 2001; Tomany et al. 2004) eine signifikante Assoziation zwischen der Exposition gegenüber Sonnenlicht und dem Risiko für AMD. Eindeutig geklärt ist ein Zusammenhang zwischen Sonnenlicht und AMD-Risiko jedoch nicht. Eine aktuelle Meta-Studie kommt auf der Basis von 14 ausgewerteten epidemiologischen Studien zu dem Schluss, dass eine Assoziation zwischen Sonnenexposition und AMD-Risiko in der gepoolten Analyse nicht gezeigt werden kann (Zhou et al. 2018).

Die Frage, ob und inwieweit künstliche Strahlenquellen neben der natürlichen Strahlenquelle Sonne auf die Lebenszeit gesehen einen relevanten Beitrag zur Entstehung altersbedingter Augenerkrankungen wie der AMD leisten, ist derzeit nicht geklärt, sollte aber weiter untersucht werden. Das empfiehlt auch das wissenschaftliche Komitee der EU-Kommission in seinem Review zu möglichen Risiken von LEDs für die menschliche Gesundheit (SCHEER 2018).

ALTERSBEDINGTE MAKULADEGENERATION (AMD)

Die AMD ist eine altersbedingte Sehbeeinträchtigung des zentralen Gesichtsfeldes. Sie ist gekennzeichnet durch Schädigungen der Photorezeptoren, des retinalen Pigmentepithels (RPE), der Bruch-Membran und der Aderhaut. Typisch für die AMD sind Materialablagerungen (sogenannte Drusen) zwischen RPE und Bruch-Membran. Die Bildung von Drusen wird unter anderem durch das beim Abbau von Photorezeptoren entstehende Lipofuscin begünstigt. Insbesondere dessen Bestandteil A2E ist potentiell schädlich, da er als Photosensibilisator wirkt und bei Exposition vor allem mit Blaulicht reaktive Sauerstoffverbindungen generiert, die ihrerseits oxidative Schäden im RPE setzen. Als weitere Risiken für AMD werden unter anderem Rauchen, Bluthochdruck und genetische Faktoren diskutiert.

BEURTEILUNG KÜNSTLICHER LICHTQUELLEN BEZÜGLICH PHOTOBIOLOGISCHER SICHERHEIT

Die Risikobeurteilung optischer Strahlenquellen ist nicht trivial. Es müssen nicht nur die Eigenschaften der Strahlungsquelle wie die Strahldichte berücksichtigt werden, es muss auch – abhängig vom betrachteten biologischen Endpunkt – das abgegebene Spektrum gewichtet werden. Für die Bewertung des Blaulichtrisikos einer Strahlungsquelle beispielsweise wird die wellenlängenabhängige Wichtungsfunktion $B(\lambda)$ herangezogen, die auf Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor Nicht-Ionisierender Strahlung (ICNIRP) zurückgeht. Letztlich bestimmen insbesondere die im Zielgewebe absorbierte Dosis (Bestrahlung in J/m^2) und die Zusammensetzung des abgestrahlten Spektrums die biologische Wirkung. Ausführliche Informationen zur Gefährdungsbeurteilung von Lampen und Lampensystemen bieten die Technischen Regeln für inkohärente optische Strahlung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA 2013).

Lampen und Lampensysteme werden mit Hilfe der Norm für die Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen (DIN EN 62471, international IEC 62471) in Risikogruppen (RG) eingeordnet. Dabei wird nicht nur das Blaulichtrisiko betrachtet, sondern auch mögliche Risiken durch UV-Strahlung oder Infrarot. Die Norm enthält Emissions-Grenzwerte für die Risikogruppen-Klassifizierung, die maßgeblich auf die Internationale Beleuchtungskommission (CIE, Commission Internationale de L'Eclairage) zurückgehen. Zu den Risikogruppen siehe auch https://www.bfs.de/DE/themen/opt/sichtbares-licht/schutz/schutz_node.html.

Die Einordnung einer Lampe oder eines Lampensystems in eine Risikogruppe nimmt üblicherweise der Hersteller vor, der für die photobiologische Sicherheit seiner Produkte verantwortlich ist. Für die Allgemeinbeleuch-

tung vorgesehene Lampen und Lampensysteme fallen in aller Regel in die risikofreie Gruppe 0 oder in RG 1 (geringes Risiko). Das gilt insbesondere für die häufig verwendeten LED-Lampen mit Schraubgewinde, die in Standardfassungen eingeschraubt werden können („Retrofit“). Fällt ein Produkt in RG 2 (mittleres Risiko), sollte dies vom Hersteller angegeben sein. Zur RG 2 können beispielsweise starke Fahrradlampen gehören. Das zeigt ein vom BfS beauftragtes Projekt zur Messung und Bewertung für die Allgemeinbevölkerung relevanter optischer Strahlungsquellen (Pepler et al. 2018). In RG 3 fallen Speziallampen. Sie sind mit einem Warnsymbol zu kennzeichnen und nicht für die Allgemeinbeleuchtung vorgesehen. Ausführliche Informationen zur Vermessung von LEDs sowie Beispiele für Messergebnisse bietet der Abschlussbericht zum Projekt „Messverfahren zur Risikobewertung von Licht emittierenden Dioden (LED)“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Udovicic et al. 2013).

Die Frage, ob die international etablierte Risikobewertung von Lampen und Lampensystemen angesichts einer Vielzahl neuer Produkte auch im Hinblick auf empfindlichere Personengruppen immer ausreichend ist, ist Gegenstand steter Diskussion. So kommt beispielsweise eine französische Arbeitsgruppe zu dem Schluss, dass bei Neugeborenen auch Lampen der RG 0, wenn sie sich in unmittelbarer Augennähe befinden – beispielsweise in Spielzeug – im Hinblick auf die Blaulichtgefährdung möglicherweise nicht ausreichend sicher sind (Point 2018).

EMPFEHLUNGEN ZUR GUTEN BELEUCHTUNGSPRAXIS

Auch wenn die üblichen Lampen und Lampensysteme bei bestimmungsgemäßem Gebrauch als augensicher zu betrachten sind, sollte im Sinne einer guten Beleuchtungspraxis auf einige Punkte geachtet werden:

- Für die Allgemeinbeleuchtung verwendete Lampen sollten der risikofreien Gruppe (RG 0) oder RG 1 angehören. Leider muss die Information über die Risikogruppen 0 und 1 nicht auf dem Produkt angegeben werden. Hier wird Verbesserungsbedarf im Hinblick auf die Verbraucherinformation gesehen.
- Achten Sie auf den Blaulichtanteil. In Wohnräumen, in denen die künstliche Beleuchtung vorwiegend abends eingesetzt wird, hat eine Beleuchtung mit geringerer Farbtemperatur („Warmweiß“) Vorteile. Allerdings richtet sich die Beleuchtung zweckmäßigerweise nach der Aufgabe. Tagsüber bei der Arbeit gelten andere Anforderungen als abends vor dem Schlafengehen. Es geht also um das richtige Licht zur richtigen Zeit.
- Sorgfalt im Kinderzimmer: Bei Kindern erreicht mehr energiereiches Licht die Netzhaut als bei Erwachsenen. Lampen sollten so angebracht sein, dass gerade kleine Kinder nicht direkt aus kurzem Abstand hineinsehen können. Vorsicht ist zudem geboten bei mit hell leuchtenden Lampen bestücktem Spielzeug. Das gilt besonders für blaue LEDs, zumal Kinder unter Umständen absichtlich aus geringem Abstand hineinsehen. In diesem Zusammenhang gilt zudem: Laserpointer, Lasertaschenlampen oder ähnlich intensive Lichtquellen gehören nicht in Kinderhände.
- Lampen sollten so angebracht werden, dass man nicht ständig aus kurzem Abstand hineinsieht. Dadurch wird auch das Risiko für unangenehme Blendwirkungen reduziert. Wandlampen und Tischlampen sollten grundsätzlich weniger hell sein als Deckenlampen, weil bei ihnen häufiger eine direkte Sichtlinie besteht und der Abstand zur Lampe meist geringer ist. Bei LED-Panels sollten die einzelnen LEDs nicht als helle Punktquellen sichtbar sein.

Generell: Beachten Sie bitte Herstellerhinweise beispielsweise zur Anbringung von Lampen und/oder zu Abständen zur Lichtquelle.

WIRKUNGEN VON LICHT AUF DIE UMWELT

Abendliche und nächtliche Beleuchtung hat negative Auswirkungen auf manche Tierarten, insbesondere auf nachtaktive Insekten, von denen viele besonders durch UV-Licht und die benachbarten Wellenlängen des sichtbaren Lichts (violett und blau) angezogen werden. Eine **bedarfsgerechte Beleuchtung** kann nachteilige Auswirkungen auf die Umwelt vermindern. In den „Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtemissionen“ gibt beispielsweise die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) Empfehlungen zur Minderung schädlicher Einwirkungen von Beleuchtungsanlagen auf Vögel und Insekten (LAI 2012). Hierzu gehören:

- Vermeidung heller, weitreichender künstlicher Lichtquellen in der freien Landschaft
- Lichtlenkung ausschließlich in die Bereiche, die künstlich beleuchtet werden müssen
- Wahl von Lichtquellen mit für Insekten wirkungsarmem Spektrum
- Verwendung von vollständig geschlossenen staubdichten Leuchten
- Begrenzung der Betriebsdauer der Leuchten auf die notwendige Zeit

Ausführliche Informationen zu diesem Thema finden Sie beispielsweise unter:

- BfN-Skripten 336 (2013) Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft. https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript_336.pdf
- Interdisziplinärer Forschungsverbund Lichtverschmutzung: <http://www.verlustdernacht.de/>
- BfN-Skripten 543 (2019) Leitfaden zur Neugestaltung und Umrüstung von Außenbeleuchtungsanlagen. <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript543.pdf>

LAI – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissions- schutz (2012): Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen. http://www.cost-lonne.eu/wp-content/uploads/2015/11/LAI_RL_Licht_09_2012.pdf (Zugriff am: 24.01.2010).

Lucas RJ, Peirson SN, Berson DM et al. (2014): Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends Neurosci.* 37(1): 1–9. Doi: 10.1016/j.tins.2013.10.004.

Miller S, Bergman R, Duffy M et al. (2016): Interlaboratory Evaluations of Ultraviolet Radiation Emissions from Compact Fluorescent Lamps. *Photochem Photobiol* 92(2): 348–354.

Noell WK, Walker VS, Kane BS et al. (1966): Retinal damage by light in rats. *Invest. Ophthal.* 5(5): 450–473.

O'Hagan JB, Khazova M, Price LLA (2016): Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard. *Eye* 30: 1–4.

Pepler W, Collath T, Reidenbach HD (2018): Messung und Bewertung für die Allgemeinbevölkerung relevanter optischer Strahlenquellen. Vorhaben 3617 S 82441. Im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz. Ressortforschungsbericht http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2019032717803/3/BfS_2019_3617S82441.pdf (Zugriff am: 24.01.2020).

Point S, Lambrozo J (2017): Some evidence that white LEDs are toxic for human at domestic radiance? *Radioprotection* 52(4): 297–299.

Point S (2018): Blue Light Hazard: Are exposure limit values protective enough for newborn infants? *Radioprotection* 53 (3). DOI 10.1051/radiopro/2018025.

Point S, Beroud M (2019): Blue light hazard: does rat retina make relevant model for discussing exposure limit values applicable to humans? *Radioprotection* 54(2): 141–147.

Rozanowska M (2012): Light-Induced Damage to the Retina: Current Understanding of the Mechanisms and Unresolved Questions: A Symposium-in-Print. *Photochem Photobiol* 88 (6): 1303–1308.

SCHEER – Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (2018): Opinion on potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs). https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/scientific_committees/scheer/docs/scheer_o_011.pdf (Zugriff am: 24.01.2020).

Shang YM, Wang GS, Sliney D et al. (2014): White Light-Emitting Diodes (LEDs) at domestic lighting levels and retinal injury in a rat model. *Environmental Health Perspectives* 122 (3): 269–276.

Taylor HR, Munoz B, West S et al. (1990): Visible Light and risk of age-related macular degeneration. *Trans Am Ophthalmol Soc* 88: 163–178.

LITERATUR

BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2013, korrigiert 2014): Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS Inkohärente Optische Strahlung) <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TROS/TROS-IOS-Teil-2.html> (Zugriff am 24.01.2020).

Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM et al. (2001): Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. *Journal of Neuroscience* 21 (16): 6405–6412.

Cruickshanks KJ, Klein R, Klein BEK et al. (2001): Sunlight and the 5-year incidence of early age-related maculopathy The Beaver Dam Eye Study. *Arch Ophthalmol* 119 (2): 246–250.

DGUV – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2018): Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf Menschen. DGUV Information 215-220, <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3247> (Zugriff am 24.01.2020).

IARC (2019): Carcinogenicity of night shift work. *Lancet* 20: 1058–1059. DOI:10.1016/S1470-2045(19)30455-3.

Jaadane I, Villalpando Rodriguez GE, Boulenguez P et al. (2017): Effects of white light-emitting diode (LED) exposure on retinal pigment epithelium *in vivo*. *J Cell Mol Med* 21 (12): 3453–3466.

Krigel A, Berdugo M, Picard E et al. (2016): Light-induced retinal damage using different light sources, protocols and rat strains reveals LED Phototoxicity. *Neuroscience* 339: 296–307.

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. *Journal of Physiology* 535.1: 261–267.

Tomany SC, Cruickshanks KJ, Klein R et al. (2004): Sunlight and the 10-year incidence of age-related maculopathy: The Beaver Dam Eye Study. *Arch Ophthalmol* 122(5):750–757.

Udovicic L, Mainusch F, Janßen M et al. (2013): Photobiologische Sicherheit von Licht emittierenden Dioden (LED). Projekt F 2115 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2115.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Zugriff am 24.01.2020).

Zhou H, Zhang H, Yu A et al. (2018): Association between sunlight exposure and risk of age-related macular degenerations: a meta-analysis. *BMC Ophthalmology* 18: 331–338.

KONTAKT

Dr. Monika Asmuß
Bundesamt für Strahlenschutz
Fachgebiet WR 4 – Optische Strahlung
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim
E-Mail: [masmuss\[at\]bfs.de](mailto:masmuss[at]bfs.de)

[BfS]