



Faktenblatt Bildschirme und Beamer

Datum: 01.08.2021

Bildschirme von Multimediageräten oder Beamer erzeugen farbige Bilder, die aus sehr vielen Farben zusammengesetzt sind. Die verschiedenen Farben entstehen, indem die Elektronik der Geräte blaue, grüne und rote Strahlung in unterschiedlichen Verhältnissen zusammenmischt. Um diese drei Grundfarben zu erhalten, wird künstlich erzeugtes weisses Licht durch blaue, rote und grüne Farbfilter geleitet. Moderne Bildschirme erzeugen die drei Farben direkt mit blauen, grünen und roten LED, bei Beamern werden dazu auch Laser verwendet.

Gesundheitliche Effekte

Zu starkes blaues Licht kann die Netzhaut der Augen schädigen. Blaues Licht, das am Abend auf eine Person einwirkt, kann den Tag/Nacht-Rhythmus, Hormone und andere Prozesse des Körpers beeinflussen. Künstlich erzeugtes Licht, das nicht konstant ist und flimmert, kann störend auf Personen einwirken. Eine im Auftrag des BAG durchgeführte Studie hat deshalb die Strahlung von Bildschirmen verschiedener Geräte wie auch von Beamern ausgemessen, um solche Auswirkungen abschätzen zu können.

Blaulichtgefährdung der Netzhaut des Auges:

Damit blaues Licht von Geräten die Augen nicht gefährdet, muss es den Grenzwert für die Blaulichtgefährdung einhalten. Dieser Grenzwert hängt sowohl von der Stärke des blauen Lichtes als auch von der Zeit ab, während der das blaue Licht auf die Netzhaut des Auges fällt. Folgende Risikogruppen werden unterschieden:

- Geräte der so genannten „freien Gruppe“ halten den Grenzwert auch bei stundenlanger Verwendung ein und sind für alle Personen einschliesslich der Kinder risikofrei.
- Geräte der Risikogruppen 1 und 2 halten den Grenzwert während einer kurzen Bestrahlungsdauer des Auges ein und stellen während dieser Zeit kein Risiko dar.
- Geräte der Risikogruppe 3 gefährden bereits nach einer sehr kurzen Bestrahlungsdauer im Bereich von Zehntelsekunden die Netzhaut.

Die Studie im Auftrag des BAG zeigt, dass alle untersuchten Geräte mit Bildschirmen der freien Gruppe angehören. Die untersuchten Beamer gehören den Risikogruppen 1 und 2 an, sofern eine Person direkt in ihren Lichtstrahl blickt. Die Studie hat keine Geräte gefunden, die der Risikogruppe 3 angehören.



Der Grenzwert verhindert gesundheitliche Gefährdungen, die im Bereich von Sekunden bis Stunden auftreten. Es lässt sich deshalb nicht abschätzen, ob chronische und jahrelange Belastungen mit sichtbarer Strahlung unterhalb des Blaulicht-Grenzwertes gesundheitliche Langzeitriskien verursachen können.

Einfluss von abendlichem Blaulicht auf den Tag/Nacht-Rhythmus und auf Hormone:

Es bestehen hinreichend Hinweise, dass kaltweisses bläuliches Licht von Bildschirmen, das während der Abendstunden auf Menschen einwirkt, deren Tag/Nacht-Rhythmus beeinflussen kann. Dieser Effekt kann vor allem bei Personen auftreten, die sich während dem Tag nicht oder nur kurz am Tageslicht aufgehalten haben. Der gestörte Tag/Nacht-Rhythmus wirkt sich auf den Schlaf, auf gewisse Hormone sowie weitere Körperfunktionen aus. Ob diese Effekte über lange Zeiträume betrachtet gesundheitliche Risiken verursachen, wird im Moment erforscht. Die Studie des BAG zeigt, dass sich die blaue Lichtstrahlung der Bildschirme mit elektronischen Filtern oder durch eine reduzierte Helligkeit vermindern lässt.

Flimmern

Die Studie des BAG zeigt, dass Bildschirme flimmern können, wenn sie nicht auf maximale Helligkeit eingestellt sind. Hinsichtlich möglicher gesundheitlicher Wirkungen gibt es Hinweise, dass flimmern-des Licht bei empfindlichen Personen zu Kopfweh, Migräne und in sehr seltenen Fällen zu Epilepsie führen kann.



Folgende Tipps können Ihnen dabei helfen, Geräte mit Bildschirmen wie Computer, Tablets, Smartphones und Fernseher sicher zu nutzen

Das blaue Licht der Bildschirme von Computern, Tablets, Smartphones und Fernsehern stellt kein Risiko für das Auge dar, es sind keine Schutzmassnahmen gegen eine Blaulichtgefährdung nötig.

Das blaue Licht der Bildschirme von Computern, Tablets, Smartphones und Fernsehern kann den Tag / Nacht-Rhythmus, Hormone und andere Prozesse des Körpers beeinflussen:

- Reduzieren Sie deshalb am Abend die Helligkeit der Bildschirme so weit, als dass sich Ihre Augen nicht anstrengen müssen. Die Helligkeit können Sie über das Betriebssystem einstellen.
- Reduzieren Sie am Abend ebenfalls den blauen Lichtanteil der Bildschirme. Verwenden Sie dazu die elektronischen Blaulichtfilter der Geräte. Der ins Auge fallende blaue Anteil der Lichtstrahlung lässt sich auch mit geeigneten Blaulicht-Filterfolien oder Blaulicht-Filterbrillen vermindern.

Gönnen Sie Ihren Augen bei der Verwendung von Bildschirmen ab und zu Ruhepausen, am besten mit einem Blick in die Ferne oder mit einem kurzen Aufenthalt im Freien. Solche Aufenthalte helfen Ihnen auch, den Tag/Nacht-Rhythmus zu fördern.

Wenn Sie auf flimmerndes Licht empfindlich reagieren,

- verwenden Sie am besten Geräte mit Bildschirmen, die sich mit DC- oder Konstantstrom-Dimming flimmerfrei dimmen lassen oder Geräte, die Sie bei maximaler Helligkeit nicht blenden und die Sie nicht dimmen müssen;
- sollten Sie insbesondere bei sehr grossen Bildschirmen darauf achten, dass Sie genügend Abstand zum Bildschirm einhalten, so dass Sie mindestens die Ränder des Bildschirms und auch ein Stück der Umgebung sehen können.

Beamer erfordern einen sachkundigen Umgang, damit keine gesundheitlichen Risiken auftreten:

- Schauen Sie nie direkt in den Lichtstrahl eines Beamers. Stellen Sie Beamer so auf, dass Personen (insbesondere Kinder) nicht in den Strahl blicken können. Die von der Leinwand reflektierte Strahlung eines Beamers ist ungefährlich.
- Beachten Sie die Sicherheitsanweisungen in der Bedienungsanleitung

Ausführliche Informationen

1 Aufbau und Strahlungseigenschaften

Bildschirme von Smartphones, Tablet, Laptops, Computer-Bildschirmen und Fernsehern als auch Beamer arbeiten mit verschiedenen Technologien, die auf unterschiedliche Art sichtbare Strahlung erzeugen. Sie sind nachfolgend beschrieben.

1.1 Bildschirme mit Hintergrundbeleuchtung

Die farbigen Strahlungsanteile heutiger Bildschirmtechnologien basieren auf dem Licht der Grundfarben Rot, Grün und Blau. Diese drei Grundfarben werden aus weissem Licht der so genannten Hintergrundbeleuchtung erzeugt, die im Bildschirm intern eingebaut ist. Ihre Strahlung wird durch rote, grüne oder blaue Farbfilter geleitet. Jede Dreiergruppe dieser Farbfilter stellt einen der vielen Pixel eines Bildschirms dar. Diese Pixel leuchten je nach den Anteilen der einzelnen Grundfarben in den gewünschten Mischfarben. Wenn die Strahlung der drei Grundfarben eines Pixels maximal ist, resultiert ein weiss strahlender Pixel, wenn die Strahlung hingegen minimal ist, ist der Pixel schwarz.

Das weisse Licht der Hintergrundbeleuchtung wird über verschiedene Technologien erzeugt. Ältere Technologien arbeiten mit Kaltkathoden-Fluoreszenzröhren (CCFL). Sie erzeugen ultraviolette Strahlung, die von fluoreszierenden Beschichtungen an der inneren Röhrenoberfläche in verschiedene sichtbare farbige Strahlungsanteile umgewandelt wird, die zusammen gemischt Weiss ergeben (Abbildung 1).

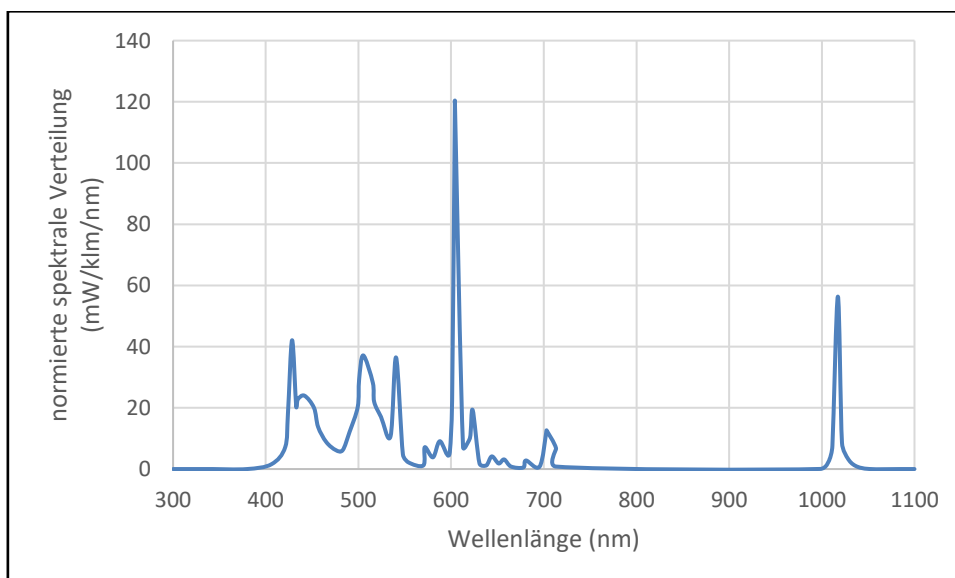


Abbildung 1 Spektrum eines Computer-Bildschirmes mit CCFL-Hintergrundbeleuchtung

Aktuelle Technologien setzen anorganische Leuchtdioden (LED) ein. Diese LED erzeugen blaues Licht, von dem ein Teil über fluoreszierende Beschichtungen an der inneren Diodenoberfläche in gelb-

rötliches Licht umgewandelt wird, das zusammen mit dem blauen Anteil als Mischfarbe Weiss ergibt (Abbildung 2).

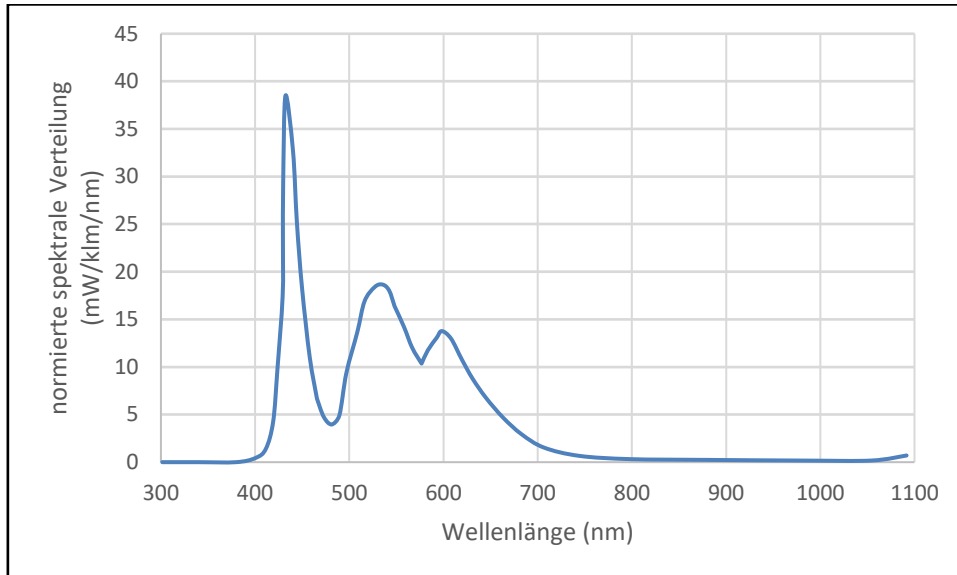


Abbildung 2 Spektrum eines Bildschirms mit LED-Hintergrundbeleuchtung

Bildschirme für den Grafikbereich, die einen grossen Farbbereich darstellen müssen, arbeiten teilweise mit einer Kombination einer blauen und einer grünen LED pro Pixel, die beide zusätzlich über eine Phosphorbeschichtung rote Strahlung erzeugen.

Hintergrundbeleuchtungen von Bildschirmen können auch mit organischen weissen Leuchtdioden (WOLED oder WRGB) aufgebaut sein. Sie bestehen aus übereinander angeordneten roten, grünen und blauen organischen LED, deren Mischfarbe wiederum Weiss ist.

Die Hintergrundbeleuchtung hat bei Bildschirmen mit LED-Hintergrundbeleuchtung einen Blauanteil, der je nach eingestellter Farbtemperatur mehr oder weniger stark ausgeprägt ist.

1.2 Bildschirme ohne Hintergrundbeleuchtung

Bildschirme ohne Hintergrundbeleuchtung kommen in Tablets, Smartphones, Computern oder Fernsehern zum Einsatz, die mit organischen Leuchtdioden (OLED) arbeiten. Je drei Leuchtdioden der Farben rot, grün und blau bilden einen Pixel. Die gewünschte Farbe eines Pixels lässt sich über die Grösse der Strahlungsanteile seiner Leuchtdioden einstellen. Wenn die drei Leuchtdioden eines Pixels maximal strahlen, resultiert weisses Licht. Die Technologie wird auch als RGB-OLED bezeichnet (Abbildung 3).

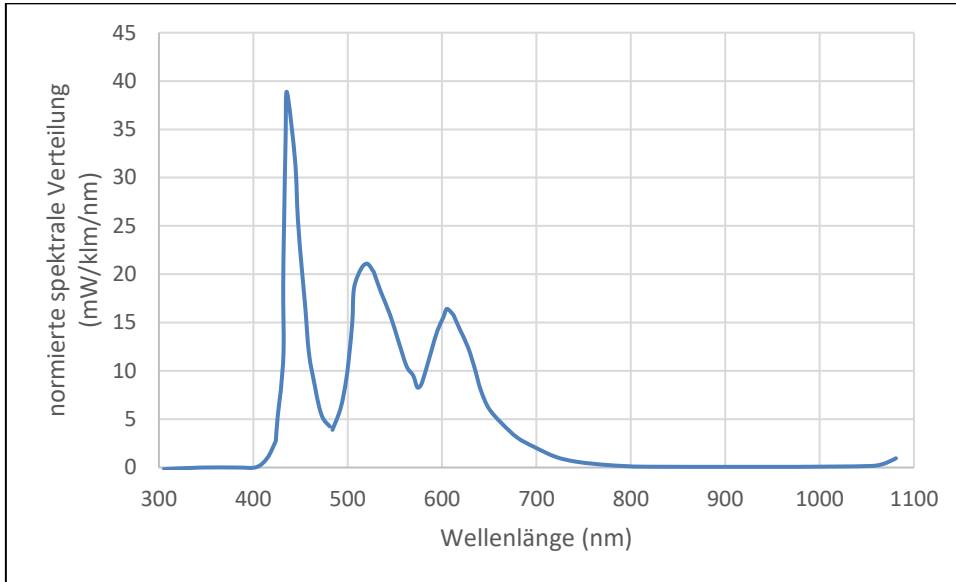


Abbildung 3 Spektrum eines Bildschirmes mit RGB-OLED-Technologie (ohne Hintergrundbeleuchtung)

1.3 Helligkeitssteuerung von Bildschirmen

Je nach Bauart oder Betriebsmodus erzeugt die Stromversorgung der Geräte einen Strom, der mehr oder weniger stark schwankt. Dies hat zur Folge, dass auch die Intensität des von den Geräten abgestrahlten Lichtes schwankt beziehungsweise flimmert und so genannte Flicker aufweist.

1.4 Beamer

1.4.1 LCD-Beamer

Bei LCD-Beamern (Liquid Crystal Display) kommen als Lichtquellen vorwiegend Halogen-Metaldampflampen und seltener LED oder Laser zum Einsatz. Diese Lichtquellen erzeugen mit unterschiedlichen Prinzipien weisses Licht, das halbdurchlässige Spiegel in die drei Grundfarben Blau, Grün und Rot aufspalten. Diese drei Farben beleuchten anschliessend drei identische LCD-Bauteile. Die LCDs bestehen aus einer Anordnung von vielen Pixeln, die je nach Bedarf unterschiedliche Mengen an Licht durchlassen können. Drei identisch angeordnete Pixel der drei LCD-Bauteile bilden zusammen eine Pixelgruppe, die drei Lichtstrahlen in den Farben Blau, Grün und Rot erzeugt. Diese drei Lichtstrahlen treffen auf ein Prisma, das sie mischt und einen Strahl mit dem gewünschten Farbton erzeugt. Der gemischte Strahl wird anschliessend mit einer Projektionsoptik auf die Leinwand projiziert, wo er einen Pixel erzeugt. Dieses Prinzip führt dazu, dass der Strahl von LCD-Beamern ausgeprägte Anteile an blauen Licht enthalten können.

1.4.2 DLP-Beamer

DLP-Beamer bestehen aus einer Lichtquelle, die weisses Licht erzeugt. Das Licht beleuchtet ein so



genanntes Farbrad, das sich dreht. Das Farbrad besteht aus mehreren durchsichtigen farbigen Segmenten. Durch die Drehung entsteht zeitlich nacheinander blaues, grünes und rotes Licht. Dieses Licht fällt auf einen so genannten DLP-Chip. Der Chip ist an einem bestimmten Zeitpunkt entweder blau, oder grün oder rot beleuchtet. Er besteht aus Tausenden von Mikrospiegeln, die sich elektronisch gesteuert in den Lichtstrahl drehen oder vom Lichtstrahl abdrehen können. Die Spiegel können je nach ihrer Position Licht weiterspiegeln oder nicht.

Jeder dieser Mikrospiegel stellt einen Farbpunkt oder Pixel des projizierten Bildes dar. Der DLP-Chip erzeugt die erwünschten Mischfarben dadurch, in dem die Grundfarben nacheinander in der gewünschten Menge durch eine Projektionsoptik auf die Leinwand projiziert werden. Da die Spiegel sich bis mehrere tausendmal pro Sekunde in den Lichtstrahl drehen können, entsteht für das menschliche Auge der Eindruck einer konstanten Mischfarbe, auch wenn sie eigentlich aus einzelnen, nacheinander auf die Leinwand projizierten Grundfarben besteht. Dieses Prinzip führt dazu, dass der Strahl von DLP-Beamern ausgeprägte Anteile an blauen Licht enthalten können.

1.4.3 LED-Beamer

LED-Beamer arbeiten nach dem Prinzip der LCD- bzw. DLP-Beamer. Als Leuchtmittel kommen LED in den Farben Blau, Rot und Grün zum Einsatz. Die Strahlung dieser LED wird entweder zu einem weissen Licht zusammengemischt oder direkt auf die LCD bzw. DLP-Chips geleitet.

1.4.4 Laser-Beamer

Laser-Beamer für die Heimanwendung arbeiten nach dem Prinzip der LCD- bzw. DLP-Beamer. Als Leuchtmittel kommen anstelle einer weissen Lichtquelle Laser in den Farben Blau, Rot und Grün zum Einsatz. Die Strahlung dieser Laser wird entweder zu einem weissen Licht zusammengemischt oder direkt auf die LCD bzw. DLP-Chips geleitet. Im Heimbereich werden aus Sicherheitsgründen nicht einzelne starke Laser verwendet, sondern Anordnungen von mehreren schwachen Lasern.

2 Gesundheitliche Auswirkungen von Bildschirmen

2.1 Sichtbares Licht

2.1.1 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 können. Ein zu starker blauer Lichtanteil bzw. eine Blaulichtgefährdung (engl. blue light hazard) stellt für die Allgemeinbevölkerung ein Risiko dar. 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).



2.1.2 Grenzwerte und Normierung für Blaulichtgefährdung

Um akute Risiken von sichtbarer und infraroter Strahlung zu verhindern, hat die Internationale Kommission zum Schutz nichtionisierender Strahlung Grenzwerte empfohlen (ICNIRP 2013), die auch die Blaulichtgefährdung betreffen. Der Grenzwert für Blaulichtgefährdung beschränkt die auf die Netzhaut fallende blaue Lichtstrahlung und soll akute Gesundheitsgefährdungen verhindern. 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 von Kindern mit ihren sehr klaren Augenlinsen wie auch von Personen, die entweder keine oder eine sehr klare künstliche Augenlinse als Folge einer Operation des grauen Stars haben.

Die europäische Norm für Lampen und Lampensysteme SN EN 62471, mit der auch Lichtquellen wie Bildschirme und Beamer beurteilt werden können, setzt den Grenzwert für die Blaulichtgefährdung mit verschiedenen Risikogruppen um (Tabelle 1). Die Risikogruppen unterscheiden sich in der Dauer, während der eine Lichtquelle die Netzhaut eines Auges bestrahlen kann, ohne dass der Grenzwert erreicht wird. Die Norm unterscheidet dabei zwischen Lichtquellen, die auf Grund ihrer kleinen Strahlung auch bei zeitlich unbeschränktem Einsatz kein Risiko darstellen, und Lichtquellen, die auf Grund ihrer stärkeren oder sehr starken Strahlung nur während zeitlich beschränkten oder sehr kurzen Einsatzdauern ungefährlich sind. Diese Gruppen sind wie folgt definiert:

Risikogruppe einer Lampe	Dauer der Bestrahlung des Auges, bei welcher der Grenzwert für die Blaulichtgefährdung erreicht wird	Bezeichnung der Lampe mit Risikogruppe	Vorsichtshinweise / Warnhinweise
Freie Gruppe	grösser 10000 Sekunden	nicht erforderlich	nicht erforderlich
Risikogruppe 1	zwischen 100 und 10000 Sekunden	nicht erforderlich	nicht erforderlich
Risikogruppe 2	zwischen 0.25 und 100 Sekunden	erforderlich	Vorsichtshinweise erforderlich
Risikogruppe 3	kleiner als 0.25 Sekunden	erforderlich	Warnhinweise erforderlich

Tabelle 1 Risikogruppen

Die Risikogruppen bilden die Blaulichtgefährdung für die Blaulichtgefährdung durch Lichtquellen allerdings relativ grob ab, da die zulässigen Bestrahlungsdauern innerhalb einer Risikogruppe einen grossen Bereich überstreichen. Aussagekräftiger für die Beurteilung einer Lichtquelle ist die Bestrahlungsdauer der Netzhaut, bei welcher der Grenzwert nicht mehr eingehalten ist.

Lichtquellen, die den Risikogruppe 2 und 3 angehören, sollen gemäss den Empfehlungen der Internationalen elektrotechnischen Kommission (IEC) mit ihrer Risikogruppe gekennzeichnet sein und mit einem Vorsichts- bzw. Warnhinweis auf der Verpackung oder der Produkteinformation (Beipackzettel)



versehen sein. Lichtquellen, die nicht der freien Gruppe angehören, müssen in der Benutzerinformation klar darauf hinweisen, dass die Klassifizierung über die freie Gruppe hinausgeht (IEC TR 62471-2).

2.1.3 Langzeitwirkungen

Der Grenzwert deckt vor allem gesundheitliche Risiken ab, die heute gut erforscht sind und die nach Bestahlungsdauern von weniger als einer Sekunde bis zu mehreren Stunden auftreten. Ob die Grenzwerte für sichtbares Licht auch gesundheitliche Wirkungen wie Degenerationserscheinungen der Makula (Bereich des schärfsten Sehens auf der Netzhaut) bei chronischen lebenslangen Blaulichtbelastungen verhindern kann, lässt sich auf Grund der heutigen wissenschaftlichen Erkenntnisse nicht beurteilen (Shang et al. 2014; Moon et al. 2017)

2.1.4 Blaulichtgefährdung von verschiedenen Produktgruppen

Eine vom METAS im Auftrag des BAG durchgeführte Studie hat die Blaulichtgefährdung durch Smartphones, Tablets, E-Readers, Bildschirme, Laptops, Fernseher und Beamer untersucht.

Smartphones, Tablets, E-Readers, Computer-Bildschirme, Laptops, Fernseher

Die Resultate zeigen, dass die Bildschirme von Smartphones, Tablets, E-Readern, Computer-Bildschirmen, Laptops und Fernsehern der freien Gruppe angehören (Tabelle 2). Personen, die solche Produkte auch während längeren Zeitdauern verwenden, sind durch die blauen Lichtanteile dieser Bildschirme nicht gefährdet.

Lichtquellen	Abstände	Maximale Bestrahlungszeit	Risikogruppe
Smartphones	20 cm; 30 cm	> 10000 s	Freie Gruppe
Tablets, E-Readers	20 cm; 30 cm	> 10000	Freie Gruppe
Computer-Bildschirme	30 cm; 60 cm	> 10000	Freie Gruppe
Laptops	30 cm; 60 cm	> 10000	Freie Gruppe
Fernseher	30 cm; 60 cm	> 10000	Freie Gruppe

Tabelle 2 maximale Bestrahlungszeiten und Risikogruppen von Smartphones, Tablets, E-Readers, Bildschirmen, Laptops und Fernsehern

Beamer

Die Resultate zeigen, dass Beamer in Abständen bis mindestens drei Meter Abstand je nach Modell der Risikogruppe 2 angehören können (Tabelle 3). Dies bedeutet, dass bereits ein sehr kurzer Blick in den Strahl eines Beamers die Augen gefährden kann. Gefährdet sind sowohl normale als auch empfindliche Augen. Beamer sollten deshalb so verwendet werden, dass Personen grundsätzlich nicht in den Strahl blicken können. Geeignet sind Befestigungen an Wänden in einer sicheren Höhe oder an einer Raumdecke. Bei Beamern, die behelfsmässig auf Tischen aufgestellt sind, haben die Verwenderinnen oder Verwender sicherzustellen, dass weder sie noch das Publikum bewusst oder versehentlich in den Strahl blicken kann.



Abstände	Wertebereich für 3 verschiedene Modelle von Beamern			
	Maximale Bestrahlungszeiten		Risikogruppe	
	Normale Augen	Empfindliche Augen	Normale Augen	Empfindliche Augen
30 cm	2 bis 17 s	2 bis 16 s	RG2	RG2
1 m	10 bis 52 s	9 bis 51 s	RG2	RG2
3 m	54 bis >10000 s	52 bis > 10000 s	RG2, freie Gruppe	RG2, RG1, freie Gruppe
Reflektierte Strahlung eines auf eine Leinwand projizierten Bildes in 3 m Abstand	> 10000 s	> 10000 s	Freie Gruppe	Freie Gruppe

Tabelle 3 maximale Bestrahlungszeiten und Risikogruppen von Beamern für normale und empfindliche Augen. Messungen für drei Beamer

2.1.5 Gesundheitliche Bewertung

Der blaue Lichtanteil von Bildschirmen 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 bei Beamern geboten, wenn Personen aus kurzen Distanzen direkt in den Lichtstrahl blicken. Langzeitwirkungen des blauen Lichtes aller aufgeführten Produkte können nicht beurteilt werden.

2.2 Biologische Rhythmen

2.2.1 Grundlagen zirkadiane Wirkungen von blauem Licht auf Körperfunktionen

Viele physiologische Prozesse des Menschen laufen nach einem zeitlich vorgegebenen Muster ab. Dazu gehören 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). Sie sind so genannten 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 vor allem mit Hilfe des blauen Lichtanteils des Tageslichtes, das ab den Morgenstunden auf die Netzhaut des Auges fällt. Dieses Licht wird von lichtempfindlichen Nervenzellen der Netzhaut wie auch von den Sehzellen absorbiert und in Nervenimpulse umgewandelt, die an die innere Uhr im Hirn weitergeleitet werden.

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 kleinen Bestrahlungsstärken auf. Neben solchen akuten Wirkungen zeigen wissenschaftliche Erkenntnisse zunehmend, dass auf Grund der gestörten physiologischen Rhythmen auch langfristige gravierende Gesundheitsfolgen wie beispielsweise Krebs oder Übergewicht als Folge von Schichtarbeit nicht auszuschliessen sind (IARC 2010).

2.2.2 Grenzwerte und Normen

Im Moment bestehen keine Grenzwerte für zirkadiane Wirkungen von sichtbarem Licht. Die Norm DIN SPEC 5031-100 definiert einen melanopischen Wirkungsfaktor, um die zirkadianen Eigenschaften von Lichtquellen zu charakterisieren. Der melanopische Wirkungsfaktor einer Lichtquelle beschreibt das Verhältnis ihres zirkadian wirksamen Strahlungsanteils zu ihrem für das Auge sichtbaren Strahlungsanteil (Bellia et al. 2014; Bellia und Seraceni 2014). Ein melanopischer Wirkungsfaktor von 1 entspricht ungefähr dem Tageslicht im Freien unter bewölkten Himmel. Lichtquellen mit melanopischen Wirkungsfaktoren von 1 haben deshalb ähnlich aktivierende Eigenschaften auf den Organismus wie das Tageslicht, Wirkungsfaktoren von kleiner 1 aktivieren den Organismus dementsprechend weniger im Vergleich zum Tageslicht. Der melanopische Wirkungsfaktor ermöglicht den Vergleich verschiedener Lichtquellen, gibt aber keinen Anhaltspunkt über die effektiv zirkadian wirksame Strahlung einer Lichtquelle.

2.2.3 Melanopische Wirkungsfaktoren von Produkten mit Bildschirmen oder Beamern

Die vom METAS im Auftrag des BAG durchgeführte Studie hat die melanopischen Wirkungsfaktoren von Produkten mit Bildschirmen bestimmt. Abbildung 4 zeigt die Resultate von Laptops, Computer-Bildschirmen und Fernsehern in vier verschiedenen Betriebsmodi: Standardhelligkeit, Standardhelligkeit warmes Licht (mit Nacht-Modus), minimale Helligkeit, minimale Helligkeit warmes Licht (mit Nacht-Modus). Abbildung 5 zeigt die Mittelwerte der melanopischen Wirkungsfaktoren von Smartphones, E-Readers und Tablets bei den Betriebsmodi Standardhelligkeit und minimale Helligkeit. Die Resultate zeigen, dass der Nacht-Modus insbesondere bei Laptops und weniger bei Computer-Bildschirmen oder Fernsehern den melanopischen Wirkungsfaktor der Lichtstrahlung verringert. Allerdings sind die melanopischen Wirkungsfaktoren mit $>0,6-0,95$ im Vergleich zu einer Innenraumbeleuchtung mit warmweissen Energiesparlampen oder LED (ca. 0.4) immer noch ziemlich hoch.

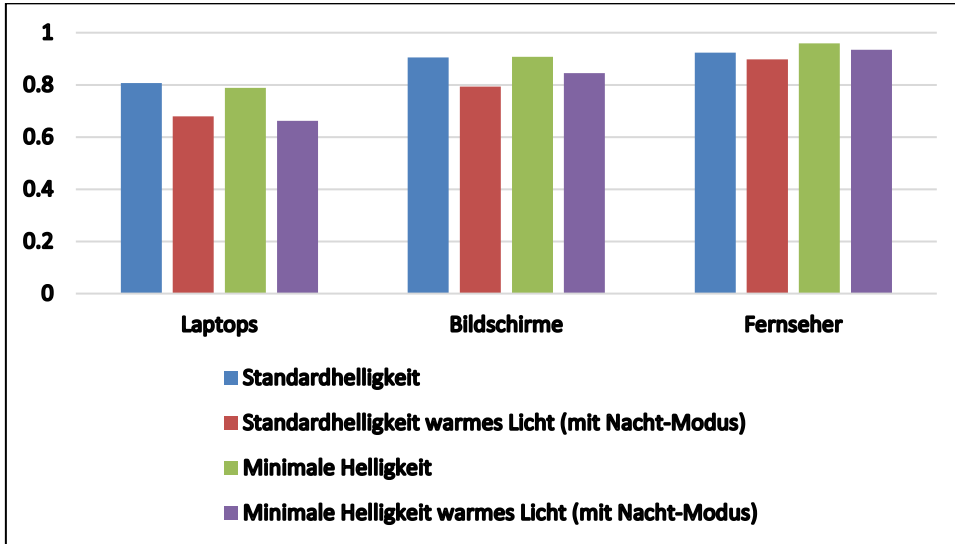


Abbildung 4 Zirkadiane Wirkungen von Produkten mit Bildschirmen: Mittelwerte der melanopischen Wirkungsfaktoren von Laptops, Computer-Bildschirmen und Fernsehern bei den Betriebsmodi Standardhelligkeit, Standard-Helligkeit warmes Licht (mit Nacht-Modus), minimale Helligkeit, minimale Helligkeit warmes Licht (mit Nacht-Modus).

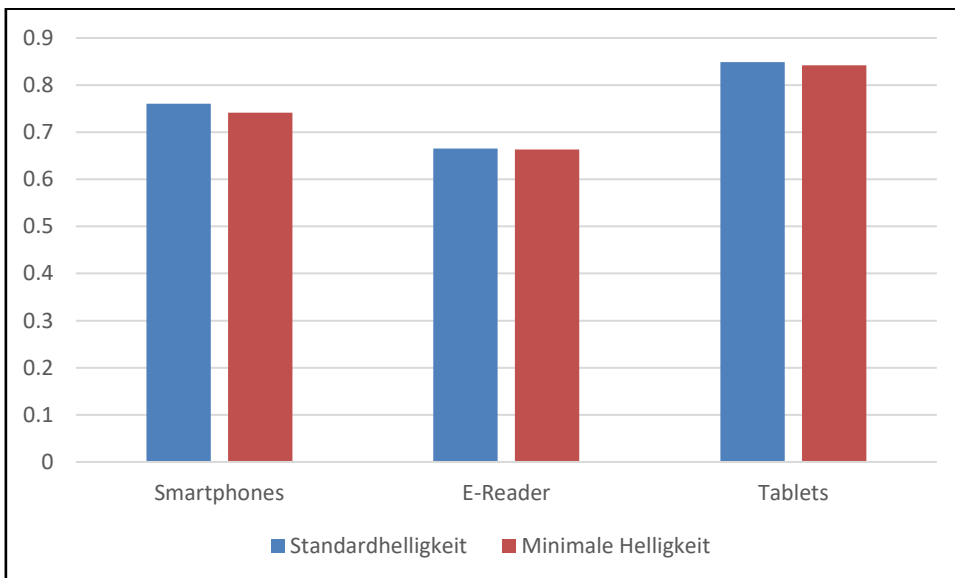


Abbildung 5 Zirkadiane Wirkungen von Produkten mit Bildschirmen: Mittelwerte der melanopischen Wirkungsfaktoren von Smartphones, E-Readers und Tablets bei den Betriebsmodi Standardhelligkeit und minimale Helligkeit

2.2.4 Gesundheitliche Bewertung

Der blaue Lichtanteil von Bildschirmen kann je nach Stärke zirkadiane Wirkungen des Organismus be-



einflussen. Ein Mass dafür ist die Farbtemperatur des Bildschirms, die bei vielen Geräte über das Betriebssystem eingestellt werden kann. Farbtemperaturen von 3000 Kelvin erzeugen eine Strahlung, die ähnliche Eigenschaften wie eine Innenraumbelichtung mit Glühlampen oder warmweissen Energiespar- oder LED-Lampen hat. Diese Farbtemperatureinstellung eignet sich für die abendliche Nutzung von Geräten mit Bildschirmen am Abend. Kaltweisse oder bläulich eingestellte Bildschirme mit höheren Farbtemperaturen von 4000-8000 Kelvin eignen sich für die Nutzung der Geräte am Tag.

2.3 Flicker

Bei Bildschirmen und Beamern kann die Helligkeit des abgestrahlten Lichtes je nach Produkt zeitlich mehr oder weniger schwanken. Diese Helligkeitsschwankungen werden als «Flicker» bezeichnet, sofern sie den Menschen über deren visuelle Wahrnehmung den Eindruck vermitteln, dass das Licht un- stetig ist. Die zeitlichen Helligkeitsschwankungen bzw. Flicker hängen von der Technologie und der Qualität der Stromversorgung für die Hintergrundbeleuchtung ab, welche diese Geräte mit Energie versorgen. Flicker treten insbesondere bei Stromversorgungen auf, die pulsweitenmoduliert arbeiten (PWM-Stromversorgungen). Im gedimmten Zustand reduzieren sie den Strom periodisch oder schalten ihn periodisch ganz aus. Da LED im Gegensatz zu Fluoreszenzröhren keine nachleuchtenden Eigenschaften haben, übertragen sich die Stromschwankungen unmittelbar auf das abgestrahlte Licht. Falls dies Frequenz der PWM-Stromversorgungen zu klein ist, können Flicker auftreten. Bildschirme, die mit DC (direct current dimming)- oder Konstantstrom-Dimming arbeiten, erzeugen auch im gedimmten Zustand einen konstanten, nicht oder nur wenig gepulsten Strom und weisen deshalb keine oder nur kleine Flicker auf.

2.3.1 Wirkungen von Flickern auf den Menschen

Die meisten Menschen können mit ihren Augen Flicker bis zu einer Frequenz von 30 bis 60 Hertz erkennen. Flicker mit Frequenzen von 100 Hertz und höher sind für Menschen nicht mehr bewusst erkennbar. Allerdings kann die Netzhaut Flicker bis zu 500 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 Flickererscheinungen können zu Kopfweh, Migräne, Augenschmerzen, eingeschränkter Sehleistung, Ablenkung oder eingeschränkter Leistungsfähigkeit führen (Wilkins et al. 2010; Karanovic et al. 2011; Shepherd 2010). Menschen können die Flicker von grossflächigen Lichtquellen wie grossen Bildschirmen oder Breitbild-Fernsehern, die sie in kurzem Abstand betrachten, stärker wahrnehmen als Flicker von kleinen Punktquellen. Infolge der kurzen Distanzen bestrahlen die Bildschirme periphere Bereiche der Netzhaut, welche empfindlicher für Flicker sind. Flicker sind zudem bei hohen Leuchtdichten von Lichtquellen besser erkennbar (Becker 2019, Emoto 2012).



2.3.2 Grenzwerte

Im Moment bestehen keine verbindlichen Grenzwerte für Flicker von. Flickereigenschaften einer Lichtquelle werden als „Prozent Flicker“ oder auch als Flickerindex angegeben (Poplawski und Miller 2013). Ein Prozentwert von 0 bedeutet, dass eine Lichtquelle keine Flicker aufweist und kontinuierlich strahlt, ein Prozentwert von 100 bedeutet, dass die Intensität des Lichtes periodisch zwischen dem Maximum und Dunkel wechselt.

2.3.3 Intensität der Flicker von Gerätekategorien

Die vom METAS im Auftrag des BAG durchgeführte Studie zeigt, dass Bildschirme von Smartphones, E-Readern, Tablets, Laptops und Computer-Bildschirmen bei maximaler Helligkeit nicht oder nur sehr wenig Flicker aufweisen. Bei minimaler Helligkeit hängen die Flickereigenschaften von den einzelnen Modellen ab. Gewisse Modelle erzeugen keine Flicker, andere Modelle erzeugen maximale Flicker auf. Die ausgemessenen Fernseher wiesen sowohl bei minimaler und maximaler Helligkeit ausgeprägte Flicker aus. Auch Beamer können bei maximaler Helligkeit stark flickern (Tabelle 4).

Leuchtmittel von Gerätetypen	Helligkeit	%-Flicker: Gerät mit tiefstem Wert	%-Flicker: Gerät mit höchstem Wert
Smartphone	maximale Helligkeit	0	7
Smartphone	minimale Helligkeit	0	96
E-Reader	maximale Helligkeit	0	0
E-Reader	minimale Helligkeit	0	1
Tablet	maximale Helligkeit	0	7
Tablet	minimale Helligkeit	0	95
Laptop	maximale Helligkeit	0	0
Laptop	minimale Helligkeit	0	100
Computer-Bildschirm	maximale Helligkeit	0	15
Computer-Bildschirm	minimale Helligkeit	0	100
Fernseher	maximale Helligkeit	83	99
Fernseher	minimale Helligkeit	97	100
Beamer	maximale Helligkeit	7	100
Beamer	minimale Helligkeit	5	100

Tabelle 4 Flickereigenschaften von Bildschirmen und Beamern

2.3.4 Gesundheitliche Bewertung

Flickereigenschaften eines Bildschirms lassen sich mit einer Smartphone- oder Digitalkamera feststellen, die auf den Bildschirm scharfgestellt wird. Wenn das Kamerabild Streifen aufweist, flickert das der abfotografierte Bildschirm. Ob Flicker von LED ein gesundheitliches Risiko darstellen, lässt sich im Moment nicht abschliessend beurteilen (SCENIHR 2018). Aus vorsorglichen Gründen ist es deshalb empfehlenswert



- nach Möglichkeit flickerfreie Bildschirme einzusetzen. Sie werden unter dem Begriff DC-Dimming vermarktet;
- auf das Dimmen von Bildschirmen zu verzichten, wenn sie von Personen benutzt werden, die an Epilepsie, Migräne oder Kopfwegh leiden.

3 Rechtliche Regelung und Normierung

Bildschirme und Beamer müssen als Niederspannungserzeugnisse den Anforderungen der Verordnung über elektrische Niederspannungserzeugnisse (NEV 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 Richtlinie 2014/35/EU erfüllen. Die grundlegenden Anforderungen sind in europäischen Normen spezifiziert. Die zulässige optische Strahlung ist in der europäischen Norm SN EN 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.

4 Literaturverzeichnis

- Behar-Cohen, F.; Martinsons, C.; Vienot, F.; Zisis, 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. DOI: 10.1177/1477153513495867.
- 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.
- CIE (2009): Ocular lighting effects on human physiology and behaviour. Technical report. Vienna: CIE Central Bureau (CIE technical report, 158).
- SN EN 62471 2008: Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen, Electro-suisse, Luppenstrasse 1, 8320 Fehraltorf
- IARC (2010): IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans VOLUME 98 Painting, Firefighting, and Shiftwork.
- ICNIRP (2013): ICNIRP GUIDELINES ON LIMITS OF EXPOSURE TO INCOHERENT VISIBLE AND INFRARED RADIATION. In: *Health physics* 105 (1), S. 74–96.
- IEC TR 62778:2014 Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires. Online verfügbar unter <https://webstore.iec.ch/publication/7427>, zuletzt geprüft am 03.07.2015.
- 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. DOI: 10.1177/0333102411398401.



- Moon, Jiyoung; Yun, Jieun; Yoon, Yeo Dae; Park, Sang-II; Seo, Young-Jun; Park, Won-Sang et al. (2017): Blue light effect on retinal pigment epithelial cells by display devices. In: *Integrative biology : quantitative biosciences from nano to macro* 9 (5), S. 436–443. DOI: 10.1039/c7ib00032d.
- 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.
- SCENIHR (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
- 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. DOI: 10.1289/ehp.1307294.
- 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. DOI: 10.2150/jlve.34.94.
- 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.
- Wilkins, Arnold; Veitch, Jennifer; Lehman, Brad (2010): LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update. Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE.
- RICHTLINIE 2014/35/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt
- NEV: Verordnung über elektrische Niederspannungserzeugnisse (SR 734.26)