


BLAUES LICHT: WELCHE RISIKEN BIRGT ES FÜR DIE AUGEN?

Über die potenziellen Gefahren von blauem Licht für das menschliche Auge wird immer häufiger diskutiert, vor allem seit der allgemeinen Einführung von LED-Lampen. In diesem Artikel soll zunächst der Erklärungsversuch unternommen werden, was blaues Licht ist, und aufgezeigt werden, wo es vorkommt, sowie dargelegt werden, warum und unter welchen Bedingungen es schädlich sein kann. Abschließend werden einige Empfehlungen gegeben, wie die damit verbundenen Risiken begrenzt werden können.



 Dr. Jean Leid

Jean Leid ist niedergelassener Augenarzt. Zum Thema Farbwahrnehmung, seinem Fachgebiet, veröffentlichte er bereits zahlreiche Beiträge. Er war lange Leiter der International Color Vision Society. Derzeit lehrt er an der medizinischen Fakultät Paris 7 und war 2001 Koordinator des Berichts der Société Française d'Ophtalmologie über Dyschromatopsien.

Blaues Licht gibt es seit Menschengedenken, nur interessierte dieses Thema bisher offenbar niemanden. Erst seit wenigen Jahren wird in zahlreichen Presseartikeln und in der wissenschaftlichen Literatur darüber berichtet. Warum diese große Besorgtheit und Verunsicherung?

Blaues Licht ist überall und insbesondere im Sonnenlicht enthalten. Daran hat sich nichts geändert. Was sich hingegen geändert hat, ist unser Lebensstil. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass wir seit wenigen Jahrzehnten mehr Licht als Schatten zulassen. Es beginnt bei der Gestaltung unseres Wohnraums mit großen Glasfronten gen Süden, während sich unsere Elterngeneration noch vor der Sonne schützte, und setzt sich über die starke Sonnenexposition unserer immer weniger bedeckten Körper in den westlichen Ländern bis hin zu unseren beliebtesten Freizeitaktivitäten unter vorzugsweise sonnigem Himmel fort (Meer, Berge, Skifahren usw.). Aber damit nicht genug. In den letzten Jahren kamen zwei Basistechnologien auf, die ein günstiges Umfeld für eine erhöhte Blaulichtbelastung schufen, namentlich LED-Lampen und Bildschirme der neuesten Generation. Gleichzeitig leiden ältere Menschen heute verstärkt an altersbedingter Makuladegeneration (AMD), und unser Multimedia-Konsum, vor allem unter der jüngeren Generation, explodiert förmlich. Diese Veränderungen sind Grund genug für zunehmende Besorgnis und lassen immer mehr Fragen offen.

Was ist blaues Licht?

Meist ist blaues Licht als solches nicht sichtbar. Es ist nur eine der verschiedenen Spektralkomponenten eines bestimmten Lichts. Dies gilt gleichermaßen für Sonnenlicht und Kunstlicht.

SCHLÜSSELBEGRIFFE:

Blaues Licht, AMD, LED-Lampen, Farbtemperatur, Farbwiedergabeindex (CRI), Leuchtdichte, Emissionsspektrum, OLED /AMOLED-Displays, digitale Geräte, einseitige, vorübergehende Blindheit, retinale Toxizität, oxidativer Stress, Degeneration der Fotorezeptoren, kumulative Wirkung

Das menschliche Auge ist ein hochselektiver Rezeptor für elektromagnetische Wellen, denn es ist nur für einen Bruchteil dieser Strahlung empfänglich. Sein Spektrum deckt ungefähr den Wellenlängenbereich zwischen 400 bis 700 Nanometern ab. So können wir sukzessive die Regenbogenfarben der sogenannten „kalten“ Farben wie Violett, Blau, Blau-Grün (400 bis 500 nm), über die Zwischentöne Grün und Gelb (500 bis 590 nm) bis hin zu den sogenannten „warmen“ Farben wie Orange und Rot (590 bis 700 nm) wahrnehmen. Dieses Spektrum entspricht dem sogenannten sichtbaren Licht. Andere Tierspezies besitzen Farbrezeptoren, die zur Wahrnehmung anderer Bereiche des elektromagnetischen Spektrums befähigt sind.

Die Begriffe warmes und kaltes Licht beziehen sich auf einen Aspekt, der Aufschluss gibt über die von einer bestimmten Lichtquelle hervorgerufene allgemeine Farbempfindung - die Farbtemperatur. Sie wird in Kelvin (K) ausgedrückt (bis 1967 sprach man noch von Grad Kelvin!) und erstreckt sich von 2000-3000 K bei rötlichem Licht (beispielsweise Energiespar-Glühlampen) über Zwischenwerte von 4000-5000 K bei gelblichem Licht (Halogenlampen) bis hin zu Spitzenwerten von 6000-7000 K bei bläulichem Licht wie beispielsweise ein Sommerhimmel um die Mittagszeit (Abb. 1).

Im Bereich Beleuchtung spielt noch eine andere Lichteigenschaft eine wichtige Rolle, und zwar der sogenannte Farbwiedergabeindex (CRI) – ein Index anderer Art, der die Fähigkeit einer Lichtquelle misst, für das Auge eine möglichst realitätsgetreue Farbwiedergabe bis zum oberen Grenzwert von 100 zu vermitteln.

Mitunter sind diese Angaben auf den künstlichen, im Handel erhältlichen Lichtquellen, insbesondere den Neonröhren, sichtbar aufgebracht. Auf traditionellen Neonröhren findet sich häufig der Code 840, der bedeutet, dass das Licht einen CRI über 80 und eine Farbtemperatur von 4000 K aufweist. Statt dieser nüchternen Zahlen

bevorzugen Industrieunternehmen allerdings klangvollere Namen. So wird dieses Licht beispielsweise „neutral-weiß“, „warm-weiß“, kalt-weiß“ oder „tageslicht-weiß“ genannt.

Wo kommt blaues Licht vor?

Eine bestimmte Lichtquelle kann also Licht unterschiedlicher Qualität erzeugen, und je kälter das Licht ist, desto mehr Blau ist im Lichtspektrum enthalten.

Früher waren wir mit den guten, alten (von Edison 1879 erfundenen) Glühlampen eher daran gewöhnt, von Lichtmenge je nach Wattstärke der Glühbirne zu sprechen. Die Lichtqualität spielte keine Rolle, da dieser Lampentypus ohnehin nur orange-gelbliches Licht erzeugte, das kaum heller als die 100W-Birnen war. Der CRI war eindeutig schlecht und die Farbtemperatur niedrig. Ihr Spektrum hingegen enthielt nur sehr wenig blaues Licht (Abb. 2). Doch jetzt gehören Glühbirnen der Vergangenheit an, nachdem es den verschiedenen Lobbys gelungen ist, sie seit 2012 in Europa endgültig aus dem Verkehr zu ziehen. Dies ist sehr schade für unseren Sehkomfort und die Gesundheit unserer Augen! Man kann im Übrigen nur darüber staunen, dass diese drastischen Entscheidungen mit dem erhofften geringeren Energieverbrauch modernerer Lampen im Vergleich zu den wenig energieeffizienten Glühbirnen gerechtfertigt wurden, ohne dabei die CO₂-Bilanz bei ihrer Herstellung und insbesondere ihrem Recycling in Betracht zu ziehen. Aber das ist ein anderes Thema, zu dem sich sehr viel sagen ließe.

Was Glühlampen anbetrifft, bleiben uns immerhin noch die Halogenlampen. Sie kamen erst sehr viel später auf (sie wurden im Jahr 1959 von Zubler und Mosby erfunden) und haben den Vorteil, dass ihr Spektrum nur wenig blaues Licht enthält (Abb. 3), aber eine höhere Farbtemperatur besitzt. Ihr CRI bleibt gering, denn wir sind noch weit vom Sonnenlichtspektrum entfernt. Die zuständigen EU-Behörden haben allerdings auch ein

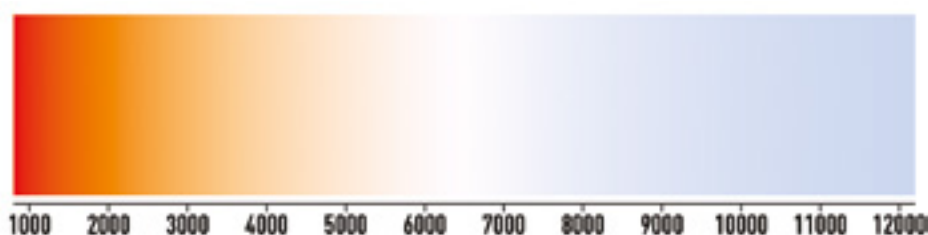


ABB. 1 | Die einzelnen Farbtemperaturen in K stellen die Farbe der Strahlung eines schwarzen Körpers dar (ein auf diese Temperaturen erwärmter theoretischer Körper) für einen Betrachter bei Standard-Tageslicht D65 (<http://www.cie.co.at/index.php>)

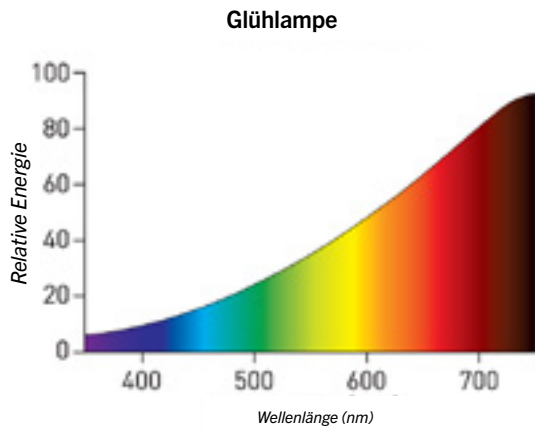


ABB. 2| Spektrum einer Glühlampe. Es enthält sehr wenig blau.

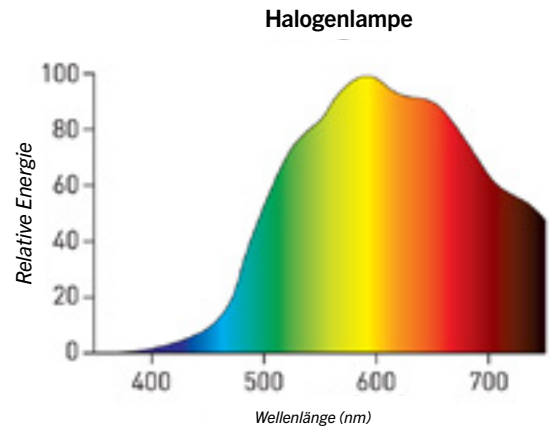


ABB. 3| Spektrum einer Halogenlampe. Es enthält sehr wenig Blau, aber mehr Gelb als eine herkömmliche Glühlampe

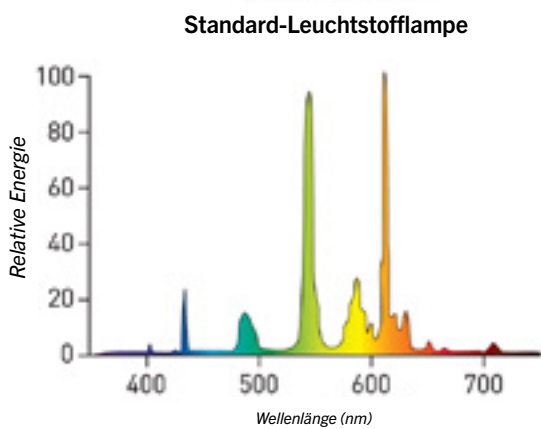


ABB. 4| Spektrum einer Standard-Leuchtstofflampe. Linienspektrum, wenig blau

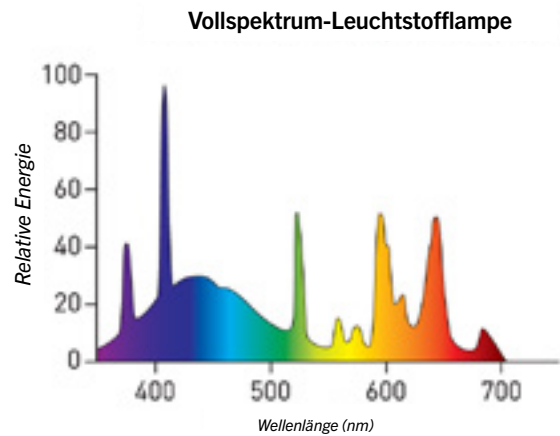


ABB. 5| Spektrum einer sogenannten Vollspektrum-Leuchtstofflampe. Sie ist dem Sonnenspektrum ähnlich und enthält viel Blau

Verbot dieser Halogenlampen beschlossen, das 2018 in Kraft treten soll.

Die Fluoreszenzlampen in ihrer länglichen Form, die sogenannten „Neonröhren“, gibt es schon seit geraumer Zeit (Germer 1926). Doch ist schon lange kein Neon mehr in diesen Lampen enthalten. Ihr Lichterzeugungssystem generiert ein völlig anderes Spektrum als das der oben beschriebenen Lampen, denn es handelt sich um ein Linienspektrum (Abb. 4).

Wie bereits erwähnt, kann dieses Lichtspektrum je nach den gewünschten Lichteigenschaften stark variieren (Abb. 5).

Typisch für die moderne Weiterentwicklung dieses Lampentypus (Anfang der 1980er-Jahre) sind die sogenannten „Kompaktleuchtstofflampen“ oder auch „Energiesparlampen“ mit einem sehr ähnlichen Spektrum. Darüber hinaus sind sie aufgrund ihrer kompakteren Form praktischer. Inzwischen sind Leuchtstofflampen mit nur wenigen blauen Spektralanteilen leicht zu finden.

LED-Lampen sind erst seit einigen Jahren (1990) unaufhaltsam auf dem Vormarsch, dies aber in rasantem Tempo. Führende Beleuchtungshersteller rechnen damit, dass bis 2020 weltweit mehr als 90 % aller Lichtquellen

auf halbleiterbasierten Produkten und LEDs beruhen.

Die Industrie schreibt diesen Lampen alle Qualitäten zu, namentlich lange Lebensdauer, Beständigkeit der Lichtemission, relative Unempfindlichkeit gegenüber der Einschalthäufigkeit sowie ruckfestigkeit, kaltes Licht und vor allem ein hohes Energieeinsparpotenzial aufgrund ihrer außergewöhnlichen Energieeffizienz. Leider ist das alles noch längst nicht erwiesen, angefangen bei der Lebensdauer, die nur ein theoretischer Richtwert ist und in hohem Maße von der Herstellungsqualität der Lampe und der Effektivität ihres Entwärmungskonzepts abhängt ... denn nur das Licht ist kalt, aber nicht die Lampe! Als besonders bedenklich unter Augenoptikern gilt jedoch der doppelte Nachteil dieser Lampen, nämlich ihre hohe Blaulicht-Emission (bei den meisten derzeit erhältlichen LEDs) sowie ihre extrem hohe Leuchtdichte, die aufgrund des stark gebündelten Lichts um das 1000-fache höher ist als bei einer herkömmlichen Lampe.

Die LED-Lampen sind Entladungslampen, die Halbleiter verwenden, so dass sie nur eine einzige Peakwellenlänge (d. h. nur eine einzige „Farbe“) emittieren können. Somit gibt es keine weißen LEDs. Die Erzeugung von weißem Licht erfolgt entweder durch die Kombination mehrerer farbiger LED's (3 Grundfarben), was sehr kostspielig ist,



Die Gefahr geht nicht nur von der Gesamtmenge des abgestrahlten Lichts (Lichtfluss) aus, sondern von dem zweifachen Risiko des geringen Abstands und der langen Nutzungsdauer. So kann es sich als gefährlich erweisen, sich einen Film auf einem Smartphone oder einem AMOLED-Display anzuschauen.“

durch Zugabe von Phosphor auf die Außenfläche der Diode (so wird eine LED tageslicht-weiß) (Abb. 6) oder durch optische Täuschung des Nutzerauges mit blauen LEDs, deren hohe Leuchtdichte eine „Weißlicht“-Wirkung erzeugt. Dies gilt derzeit für die meisten im Handel erhältlichen LEDs, namentlich billige Lampen und Taschenlampen. Ihr Spektrum ist mit einem einzigen Spitzenwert im blauen Bereich für das Auge katastrophal, wobei die Toxizität proportional zu diesem Wert steigt (Abb. 7). Zum Glück gibt es immer mehr LEDs mit warmweißem Licht, bei denen der Blauanteil wesentlich geringer ist, da bei dieser Technologie zwei Phosphore zum Einsatz gelangen. Allerdings sind diese LEDs relativ teuer und auch deutlich weniger energieeffizient (Abb. 8).

Und welche Rolle spielt dabei die Sonne? Sie bleibt mit Abstand der größte Blaulicht-„Produzent“. Das Sonnenspektrum hängt stark von Tageszeit, Breitengrad, Höhenlage, Jahreszeit und Atmosphäre (Anwesenheit von Wolken) ab. Als Referenzspektrum des sogenannten natürlichen Tageslichts wird ein im Norden der nördlichen Halbkugel um die Mittagszeit betrachteter Himmel zugrunde gelegt. Dieses Spektrum ist relativ ausgewogen, so dass wir dieses Licht als „weiß“ wahrnehmen können (Abb. 9).

Dennoch enthält es einen beträchtlichen Teil an blauem Licht, vor dem wir uns in Acht nehmen müssen. Nach den Normen (ASTM G173-03 und D65) macht blaues Licht 24 bis 30 % des Tageslichts aus. Wenn man weiß, dass die Leuchtdichte eines sonnigen Himmels mindestens 5000 cd/m² und die eines Computerbildschirms 250 bis 300 cd/m² beträgt, gibt einem das zu denken!

Blaulicht und Bildschirme

Neben den LED-Lampen gibt die immer längere Nutzung von Bildschirmen Grund zu Besorgnis. So verbringen 60 % der Bevölkerung mehr als 6 Stunden täglich vor einem digitalen Gerät! (Studie „Das Blau im Licht“).^[1]

Wir haben festgestellt, dass die Leuchtdichte von Bildschirmen verglichen mit Sonnenlicht gering ist. Trotzdem verbringen wir nicht nur viele Stunden vor dem Bildschirm, sondern es kommt uns noch nicht einmal in den Sinn, uns davor zu schützen, wie wir es bei Sonnenlicht tun. Während man das TV-Gerät noch aus sicherem Abstand nutzt, gilt dies nicht für Computerbildschirme

und noch weniger für Tablets und Handys, die die jüngere Generation mehrere Stunden am Tag in Gebrauch hat.

Der von Bildschirmen abgestrahlte Blaulichtanteil hängt in hohem Maße mit deren Technologie zusammen.

Bei den traditionellen LCD-Displays dienen Leuchtstoffröhren als Hintergrundbeleuchtung des Panels. Da der Benutzer nur sehr wenig blaues Licht wahrnimmt, ist das Risiko gering.

Bei den LCD-LED-Displays werden die Monitore von den LEDs hinterleuchtet oder letztere sind an den Seiten angebracht, um den Bildschirm flacher zu gestalten. Dadurch, dass das Licht durch den LCD-Panel hindurchtritt, verringern sich die Risiken erheblich.

Bei OLED- oder AMOLED-Displays hingegen (Active Matrix Organic Light Emitting Diode) erzeugt der Monitor selbst sein eigenes Licht, das für den Benutzer direkt sichtbar ist. Im Gegensatz zu den sog. transmissiven LCD-Displays wirken diese Bildschirme emissiv. Da sie sehr flach sind, werden sie immer häufiger bei Smartphones und Tablets eingesetzt. Das abgestrahlte blaue Licht wird direkt von der Netzhaut aufgenommen, und dies in einem sehr geringen Abstand. Die Gefahr geht nicht von der Gesamtmenge des abgestrahlten Lichts (Lichtfluss) aus, sondern von dem zweifachen Risiko des geringen Betrachtungsabstands und der langen Nutzungsdauer. Das Betrachten von Filmen auf einem Smartphone mit AMOLED-Bildschirm kann daher sehr gefährlich sein. In diesem Zusammenhang wurde unlängst von einseitiger, vorübergehender Erblindung bei jungen Frauen berichtet, die auf der Seite liegend im Dunkeln über einen längeren Zeitraum auf ihr Smartphone geschaut haben.^[2] Doch dies sind nur die unmittelbaren Risiken. Denn damit fangen die Probleme erst an. Bei einem einfachen, direkten Vergleich zwischen einem Smartphone-AMOLED-Display und einem LCD-LED-Bildschirm erkennt jeder sofort, dass sie nicht unter dieselbe Helligkeitskategorie fallen. Die Kunst der Händler besteht indes darin, genau das als Vorteil anzupreisen, was im Grunde ein Mangel an Komfort und obendrein gefährlich ist. Dasselbe gilt für Computerbildschirme. Sogar der Geschäftsführer der französischen Agentur für Beleuchtung (AFE) äußerte sich sehr kritisch über die Marketingtrends: „Der Markt wurde verdorben von opportunistischen Herstellern, die Produkte von sehr schlechter Qualität verkaufen“.^[3]

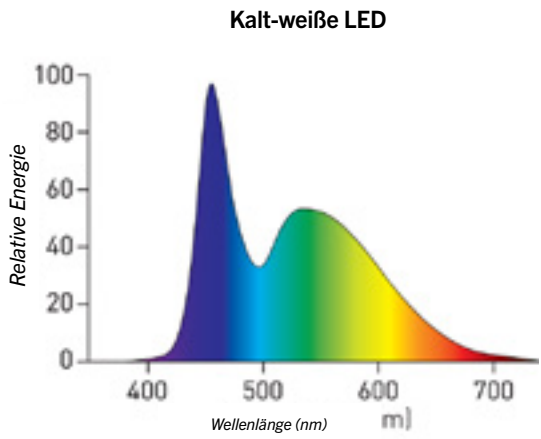


ABB. 6 | Spektrum einer LED-Lampe mit kalt-weißem Licht. Es enthält viel Blau (35 %) und in seiner toxischsten Lokalisierung

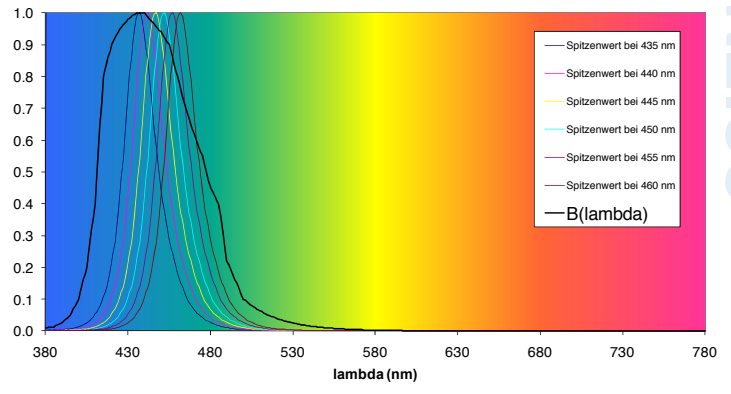


ABB. 7 | Spektrum blauer LED-Lampen. Durchschnittlicher Spitzenwert bei 440 bis 450 nm, d.h. nahe an der toxischsten Farbe (Abbildung aus dem ANSES-Bericht)

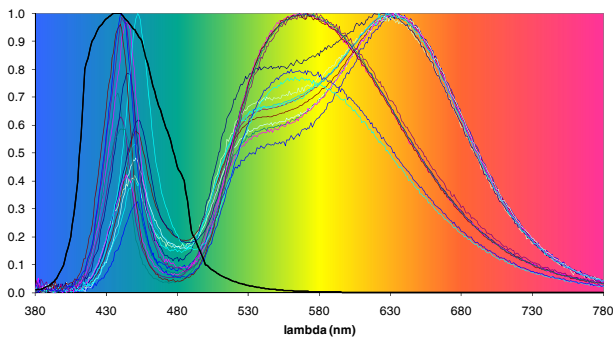


ABB. 8 | Spektrum warmer, blauer LED-Lampen mit 2 zusätzlichen Phosphoren (Abbildung aus dem ANSES-Bericht)

Tageslicht

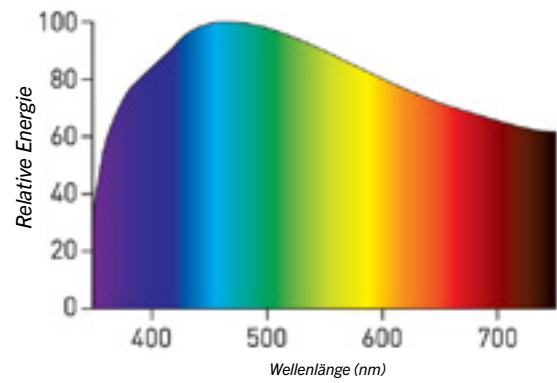


ABB. 9 | Spektrum von Sonnenlicht (CIE Illuminant D65). Viel blau (24 bis 30 %) und ausgewogenes Verhältnis der einzelnen Komponenten

Welche Gefahren birgt blaues Licht für die Augen?

Es ist somit offenkundig, dass unsere Belastung durch blaues Licht weiter zunimmt. Ist dieses berüchtigte „blaue Licht“ nun aber tatsächlich schädlich und muss man davor Angst haben?

Warum soll das blaue Licht eigentlich gefährlicher als das rote oder grüne sein?

Die Antwort ist eine einfache Formel von Max Planck von 1900: Sie lautet $E=h\nu$ und zeigt, dass die Energie eines Oszillators (der Begriff Photon taucht erst 1926 nach den Arbeiten von Einstein und Compton auf) direkt proportional zu seiner Frequenz bzw. umgekehrt proportional zu seiner Wellenlänge ist (h bezeichnet die Planck-Konstante). Je kürzer die Wellenlänge des Lichts, desto höher seine Energie. Demnach steht Blau in dieser Hinsicht an erster Stelle.

Die toxische Wirkung von blauem Licht auf die Netzhaut ist damit jedoch noch nicht hinreichend erklärt.

Die erste Studie zu blauem Licht-induzierter Phototoxizität (an Ratten, deren Netzhautstäbchen mit Leuchtstoffröhren bestrahlt wurden) soll vor einem halben Jahrhundert durchgeführt worden sein (Noell 1966). [4]

Doch erst die umfangreichen Forschungsarbeiten von John Marshall sind dem Problem auf den Grund gegangen. 1972 erbrachte er den Beweis für die toxische Wirkung kurzwelliger Lichts auf die Zapfen von Tauben. [5] Es folgten eine ganze Reihe von *In vitro*- Studien, bei denen die Zerstörungsmechanismen von blauem Licht auf Photorezeptor-Ebene im Falle einer AMD aufgezeigt wurden.

So wurde nachgewiesen, dass die Photoaktivierung des All-trans-Retinal durch blau-violettes Licht zu oxidativem Stress in den Außensegmenten der Photorezeptoren führen kann. Genauer gesagt ist es das A2E, der fotosensitive Bestandteil des Lipofuszins, der durch Blaulichtstrahlungen von 440 nm erregt werden kann und langfristig zu einer Degeneration der Photorezeptoren und der Pigmentepithelzellen führen kann.

Dennoch wäre es unklug, blaues Licht völlig aus unserem Leben zu verbannen, denn bei Wellenlängen von knapp über 480 nm hat dieses Licht eine durchaus positive Wirkung; es entspricht dem Empfindlichkeitsmaximum der melanopsinhaltenen Ganglienzellen, die an der Synchronisierung der circadianen Uhr direkt beteiligt sind. (Arbeiten von Provencio 1998 [6] und von Brainard 2001). [7] Es besteht daher nur ein schmaler Grat zwischen dem „guten Blau“, das unseren circadianen Rhythmus reguliert und erhebliche Auswirkungen auf die allgemeine



„Die Risiken von Netzhautschäden durch blaues
Blicht müssten daher begrenzt werden, aber dessen
wichtige circadiane Taktgeberfunktion erhalten
bleiben. Dazu müsste man blaues Licht bis ca. 455
nm ausschalten und über 465 nm nicht filtern.“

Ökonomie der menschlichen Physiologie hat, und dem „schlechten Blau“, das unsere so kostbaren Sehrezeptoren langfristig zerstören kann.

Die Risiken von Netzhautschäden durch blaues Blicht müssten somit begrenzt werden, aber dessen unverzichtbare Taktgeberfunktion erhalten bleiben. Um dies zu bewerkstelligen, müsste man blaues Licht bis ca. 455 nm ausschalten und über 465 nm nicht filtern. Das bedeutet, dass wir nur einen sehr geringen Spielraum haben! (Abb. 10).

Das Aufkommen der LEDs nach 1990 veranlasste die Forscher dazu, sich mit den damit verbundenen Risiken zu befassen.

2001 haben Dawson und sein Forscherteam an der Netzhaut von Affen nachgewiesen, dass die Blaulicht emittierenden LED-Lampen ebenso toxisch sind wie ein blauer Laser bei gleicher Exposition.^[8]

2010 veröffentlichte die französische Agentur für Lebensmittelsicherheit (ANSES) unter der Leitung von Professor Béhar-Cohen einen umfangreichen Bericht über die „gesundheitlichen Auswirkungen von Beleuchtungssystemen mit Leuchtdioden“. ^[9] Diesem Bericht folgten zwei weitere französische Publikationen 2011 ^[10] und 2013, ^[11] die vor den Gefahren von LED-Lampen warnten. Ihnen zufolge stehen diese Gefahren einerseits in direktem Zusammenhang mit dem spektralen Ungleichgewicht dieser Lampen zugunsten von niedrigwelligem Licht, dessen Toxizität *in vitro* eindeutig erwiesen ist, und resultieren andererseits aus der sehr hohen Helligkeit dieser Lampen. Sie kommen zu dem Schluss, dass die photochemische Gefährdung von der kumulativen Blaulicht-Dosis abhängt, der die betreffende Person ausgesetzt war.

Dieser Bericht enthält außerdem Empfehlungen, vor allem in Bezug auf die Notwendigkeit, die Einführung von LED-Beleuchtungssystemen auf dem Massenmarkt in Grenzen zu halten sowie die Normen anzupassen und durchzusetzen. Außerdem müsste der Verbraucher

ordnungsgemäß informiert werden (aussagefähige Kennzeichnung der Beleuchtungssysteme).

Bis heute sind diese Empfehlungen noch lange nicht umgesetzt, und es sieht auch nicht danach aus, als würde dies bald geschehen. Das Bewusstsein für die Gefahren von LEDs für die Volksgesundheit ist noch nicht hinreichend geschärft und man kann sich nur darüber wundern, dass das Vorsorgeprinzip nicht zur Anwendung gebracht wird, sollten doch einige negative Vorkommnisse in den letzten Jahrzehnten eher zum Nachdenken anregen und zur Vorsicht gemahnen.

Ganz offensichtlich liegen nicht genügend Studien mit überzeugenden *In vitro*-Nachweisen für die Makulaschädigung durch kurzwelliges blaues Licht vor, die sich auf die *In vivo*-Situation übertragen ließen. Nur wenige langfristige Studien stellen eine eindeutige Beziehung zwischen längerer Blaulichtbelastung und AMD her (Beaver Dam Eye Study ^[12], Etude Eureye ^[13]). Letztlich ist alles nur eine Frage der Mittel und der Methodik. Die Forscherteams müssten dazu bereit sein, langwierige und schwierige Studien durchzuführen, die bereits jetzt die neuen Lifestyle-Faktoren berücksichtigen, die in den kommenden Jahren zunehmend an Gewicht gewinnen werden (Bildschirme, LED-Lampen). Sonst wird sich die zur Vorsicht gemahnende Stimme wohl kaum Gehör verschaffen können – stehen doch enorme wirtschaftliche Interessen in dieser Branche auf dem Spiel.

Fazit

Heute kann niemand mehr die potenzielle Gefährdung der Augen durch übermäßige Blaulichtexposition leugnen. Um bei diesem viel diskutierten Thema besonnen und gleichzeitig nüchtern zu bleiben, müssen wir uns der „Hauptproduzenten“ dieses hochenergetischen Lichts stets bewusst sein, das *in-vitro* imstande ist, unsere Makulazellen zu zerstören. Dies sind in erster Linie die Sonne und in zweiter Linie die künstliche Beleuchtung durch kalt-weiße LEDs und die AMOLED-Displays.

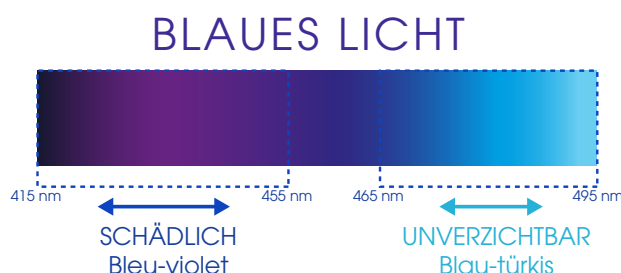


ABB. 10 | Das Dilemma des blauen Lichts



„Vor allem darf nicht vergessen werden, dass es die kumulative Wirkung ist, die sich im Laufe der Jahre als gefährlich erweist und gegen die angegangen werden muss. Schutzvorkehrungen müssen rechtzeitig und dauerhaft getroffen werden.“

Die Vorbeugung gegenüber den schädlichen Wirkungen von blauem Licht beginnt mit dem dauerhaften Schutz der Augen vor Sonneneinstrahlung durch getönte Qualitätsgläser. Notwendig sind außerdem Schutzvorkehrungen beim Gebrauch von Bildschirmen mit hoher Blaulicht-Emission. Der Gebrauch von digitalen Geräten über einen längeren Zeitraum und aus zu geringem Abstand sollte vermieden werden. Außerdem sollte man so oft wie möglich auf Sehhilfen zurückgreifen, die vor schädlichem blauen Licht schützen. Diese Möglichkeiten sind bereits vorhanden und werden sich weiter verbessern und verbreiten. Schwieriger ist es, sich gegen das nachteilige Licht der weiter auf dem Vormarsch befindlichen LED-Lampen zu schützen, es sei denn, man setzt sie nur sehr sparsam in seinem Haushalt ein. Nur ein zunehmendes Problembewusstsein bei den öffentlichen Behörden könnte in dieser Hinsicht etwas bewirken.

Vor allem darf nicht vergessen werden, dass es die kumulative Wirkung ist, die sich im Laufe der Jahre als gefährlich erweist und gegen die angegangen werden muss. Schutzvorkehrungen müssen rechtzeitig und dauerhaft getroffen werden. Dabei gilt unser besonderes Augenmerk den Kindern, deren Augenmedien dieses hochenergetische Licht in hohem Maße durchlassen, sowie der jüngeren Generation, die dazu neigt, sich über längere Zeiträume Displays und der Sonne auszusetzen. Und last but not least muss auch der Schutz älterer Risikogruppen wie Katarakt-Operierte ohne gelbe Implantate sowie Menschen mit altersbedingten Makulaerkrankungen in den Fokus gerückt werden.

Verzichten wir also nicht auf Licht, das für uns so unentbehrlich ist, sondern versuchen wir, es wie so viele andere Naturphänomene besser zu verstehen, damit wir es ohne Risiko besser nutzen können.



DAS WESENTLICHE IN KÜRZE

- Blaues Licht ist nicht als solches sichtbar, sondern ist eine Spektralkomponente des sichtbaren Lichts der Wellenlängen zwischen annähernd 400 und 500 nm.
- Die „Hauptproduzenten“ dieses hochenergetischen Lichts, das *in-vitro* imstande ist, unsere Makulazellen zu zerstören, sind in erster Linie die Sonne und in zweiter die künstliche Beleuchtung durch kalt-weiße LEDs und AMOLED-Displays.
- Das Aufkommen von LED-Lampen und Bildschirmen der neuesten Generation ist für eine zunehmende Blaulichtbelastung verantwortlich.
- Blaulicht der Wellenlänge 440 nm kann oxidativen Stress in den Außensegmenten der Photorezeptoren verursachen, was langfristig zu einer Degeneration der Photorezeptoren sowie der Pigmentepithelzellen führen kann.
- Verstärkte Schutzvorkehrungen müssen insbesondere bei Kindern, Katarakt-Operierten und Menschen getroffen werden, die an altersbedingten Makulaerkrankungen leiden.
- Dennoch wäre es unklug, blaues Licht völlig aus unserem Leben zu verbannen, denn bei Wellenlängen von knapp über 480 nm hat dieses Licht eine durchaus positive Wirkung – ist es doch direkt an der Synchronisierung der circadianen Uhr beteiligt.

QUELLENACHWEISE

1. Campagne Bleu en Lumière: <http://www.bleuenlumiere.com/#bleuenlumiere>
2. Transient Smartphone "Blindness" N Engl J Med 2016; 374:2502-2504 June 23, 2016 DOI: 10.1056/NEJMc1514294
3. Les Brèves de l'AFE n° 64, mars 2011. <http://www.afe-eclairage.fr/docs/10267-ext.pdf>
4. Noell WK, Walker VS, Kang BS, Berman S. Retinal damage by light in rats. Invest Ophthalmol. 1966;5:450-473
5. Marshall J, Mellerio J, Palmer DA. Damage to pigeon retinae by moderate illumination from fluorescent lamps. Exp Eye Res 1972;14:164-9.
6. Provencio I, Jiang G, De Grip WJ, Hayes WP, Rollag MD. Melanopsin: an opsin in melanophores, brain, and eye. Proc Natl Acad Sci USA. 1998;95:340-5.
7. Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne B, Glickman G, Gerner E, Rollag MD. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. J Neurosci 2001;21:6405-6412. [PubMed: 11487664]

8. Dawson W, Nakanishi-Ueda T, Armstrong D, Reitze D, Samuelson D, Hope M, et al. Local fundus response to blue (LED and laser) and infrared (LED and laser) sources. Exp Eye Res 2001;73:137-47
9. ANSES. Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED); 2010 [Disponible sur le site www.anses.fr].
10. Behar-Cohen F, Martinsons C, Viénot F, Zissis G, Barlier-Salsi A, Cesarini JP, et al. Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye? Prog Retin Eye Res 2011;30:239-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.preteyres.2011.04.002> [Epub 2011 May 14].
11. Arnault E, Barrau C, Nanteau C, Gondouin P, Bigot K, Viénot F, et al. Phototoxic action spectrum on a retinal pigment epithelium model of age-related macular degeneration exposed to sunlight normalized conditions. PLoS One 2013;8:e71398. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0071398> [eCollection 2013]
12. Cruickshanks KJ, Klein R, Klein BE, et al. Sunlight and age-related macular degeneration of the Beaver Dam Eye Study. Arch Ophthalmol 1993;111:514-18.
13. Fletcher AE, Bentham GC, Agnew M, et al. Sunlight exposure, antioxidants, and age-related macular degeneration. Arch Ophthalmol 2008;126:1396-403.