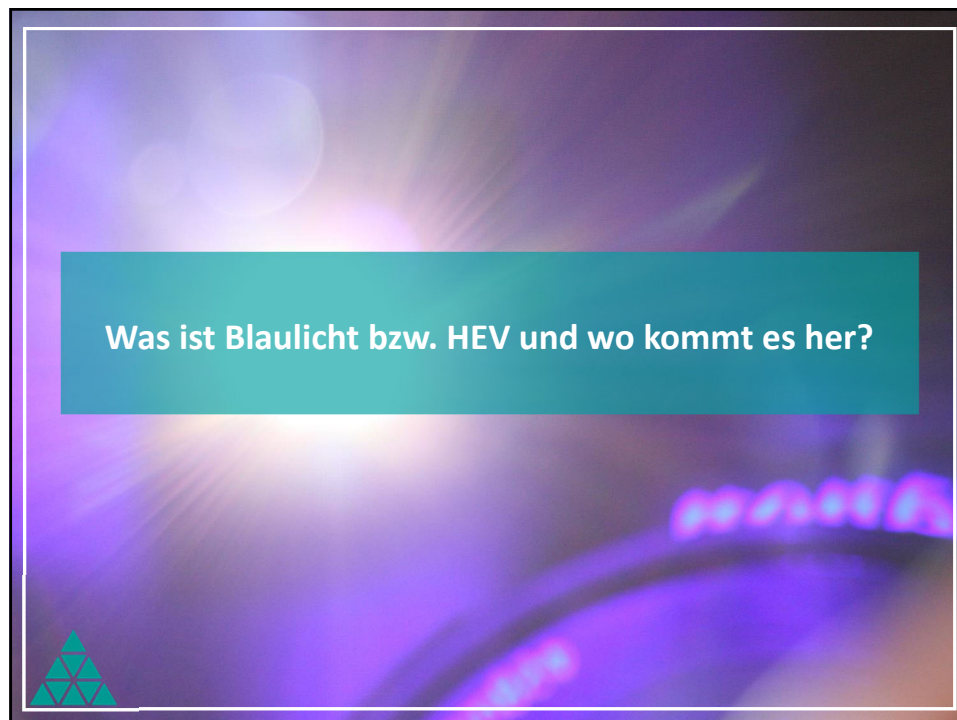
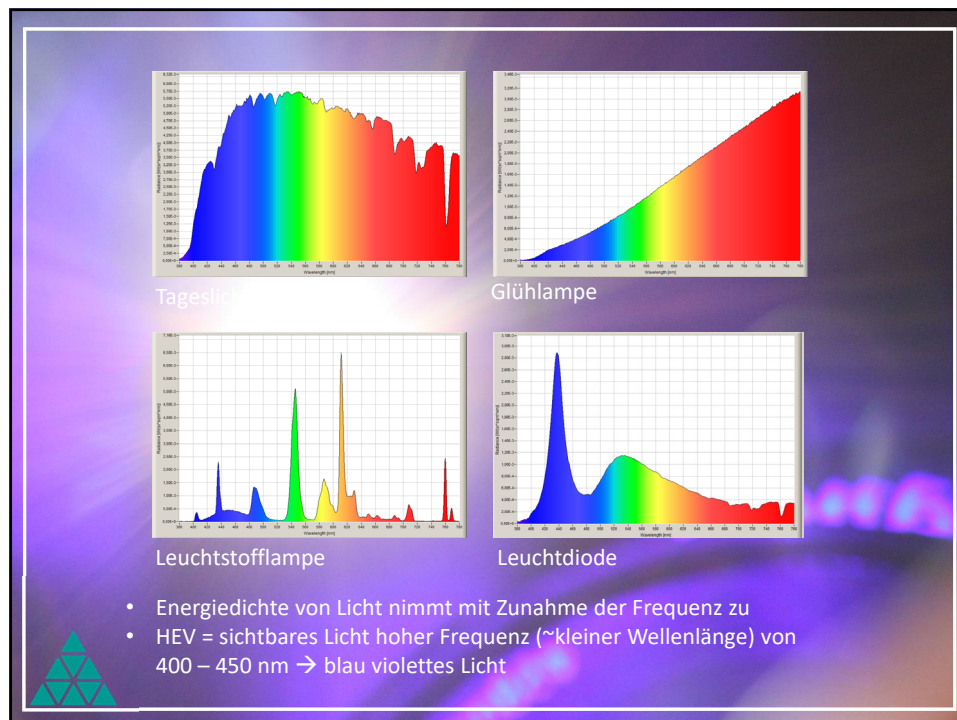




1



2



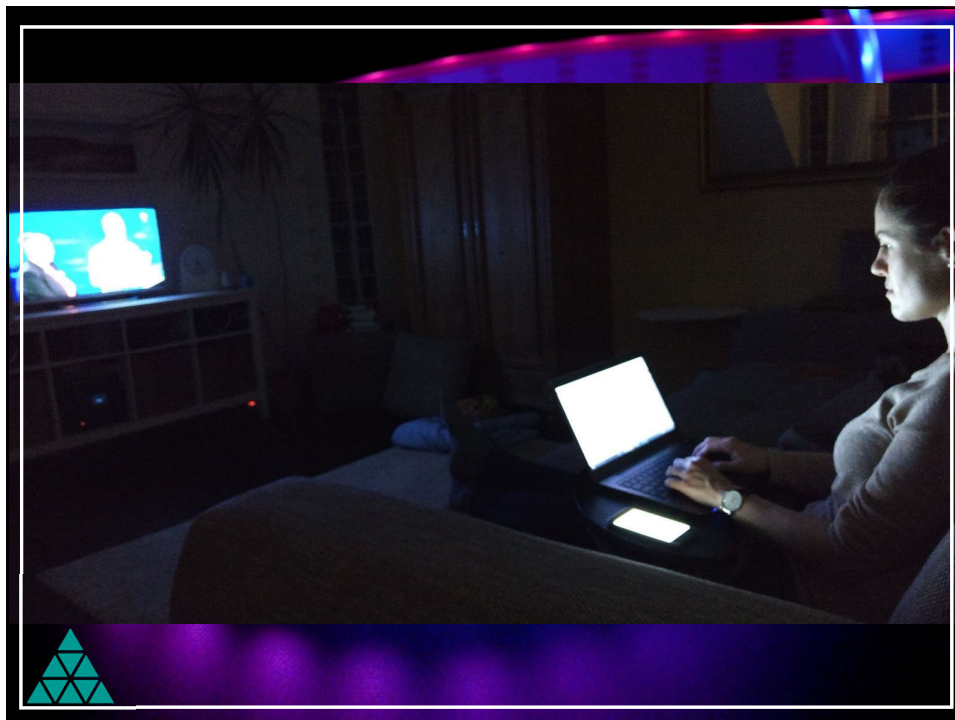
3



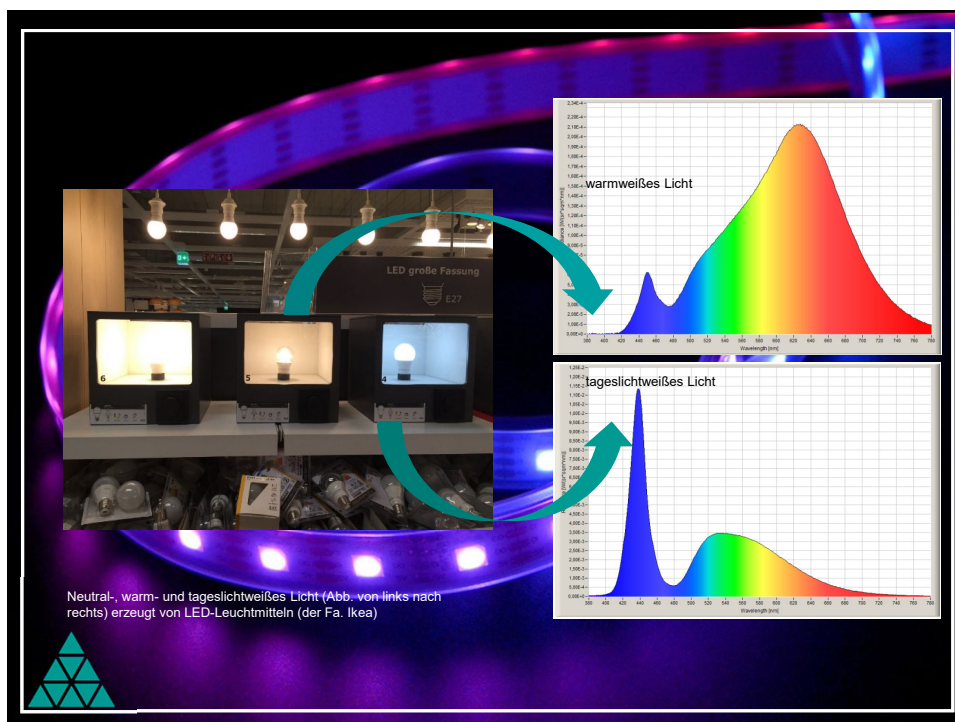
LEDs

- Mitte der 1990er-Jahre erste LEDs auf Markt
- äußerst effizient, langlebig, vernetzbar und präzise steuerbar
- jede zweite Außenleuchte LED
- mehr als 30 Prozent der Leuchten für den Innenbereich mit LED-Modulen ausgestattet (Stand 2015, ZVEI).
- Licht wird seither immer dynamischer.

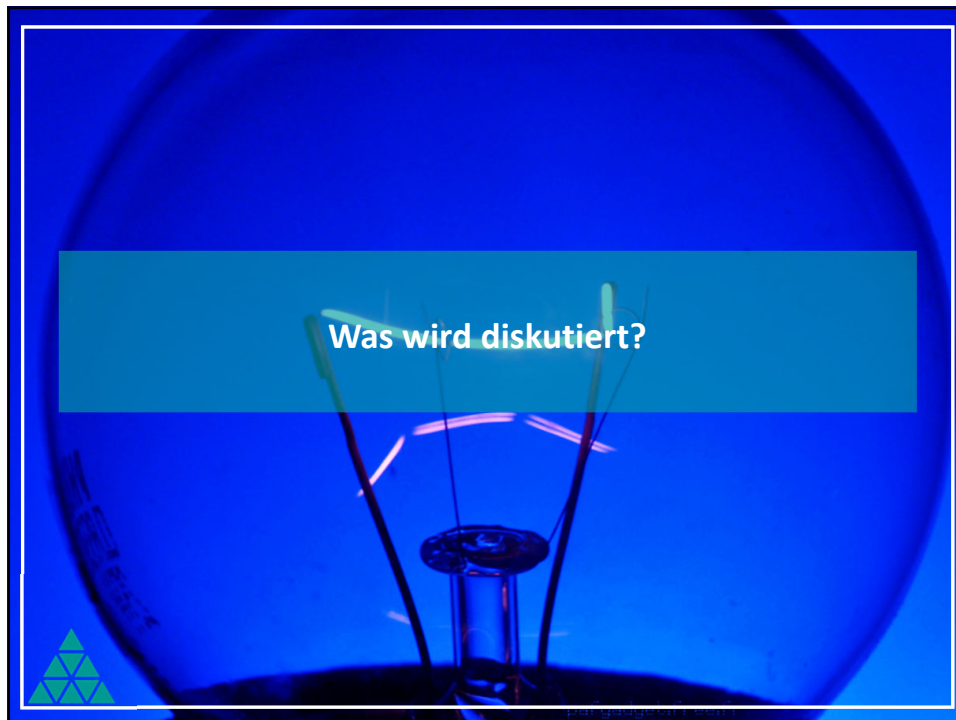
4



5



6



7

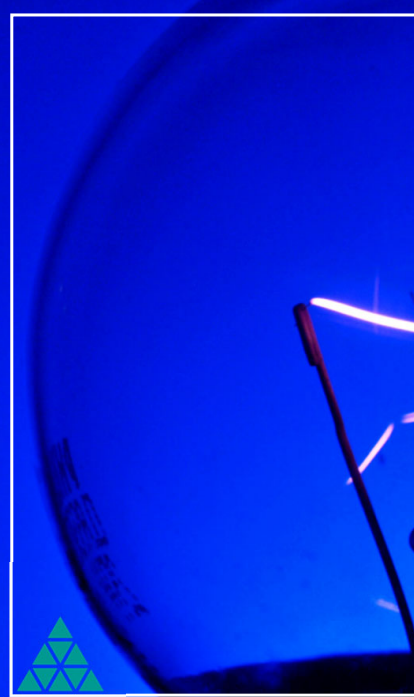
 A slide with a blue background featuring a glowing light bulb. The right side of the slide has a teal overlay containing text. The title "Blue Light Hazard" is at the top. Below it are two bullet points. At the bottom, there is a citation. In the bottom-left corner, there is a small logo consisting of several green triangles arranged in a larger triangular shape.

Blue Light Hazard

- Zellschädigung durch Apoptose in der Retina durch blaues Licht, bzw. High-Energy-Visible Light (HEV)
- Apoptose (programmierter Zelltod bzw. „Suizidprogramm einzelner biologischer Zellen“) konnte vor allem bei $435 \pm 20 \text{ nm}$ nachgewiesen werden

Ouyang X, Yang J, Hong Z, Wu Y, Xie Y, Wang G. Mechanisms of blue light-induced eye hazard and protective measures: a review. Biomed Pharmacother. 2020 Oct;130:110577. doi: 10.1016/j.biopha.2020.110577. Epub 2020 Aug 4. PMID: 32763817.

8

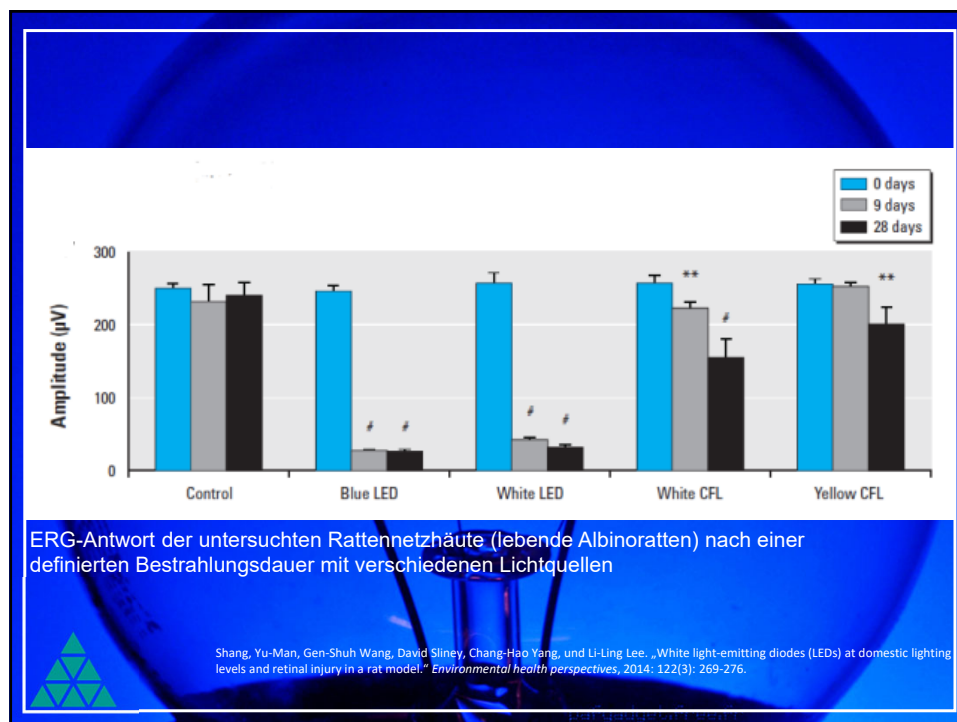


Blue Light Hazard

- Durchführung unzähliger Laborstudien, die Zelltod von RPE-Zellen und später auch Fotorezeptoren zeigen
- Nachweis auch an lebenden Zellen bei Ratten und Rhesusaffe
- Kumulativer Prozess (aufsummierend)

Tosini G, Ferguson I, Tsubota K. Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. *Mol Vis.* 2016 Jan 24;22:61-72. PMID: 26900325; PMCID: PMC4734149.

9



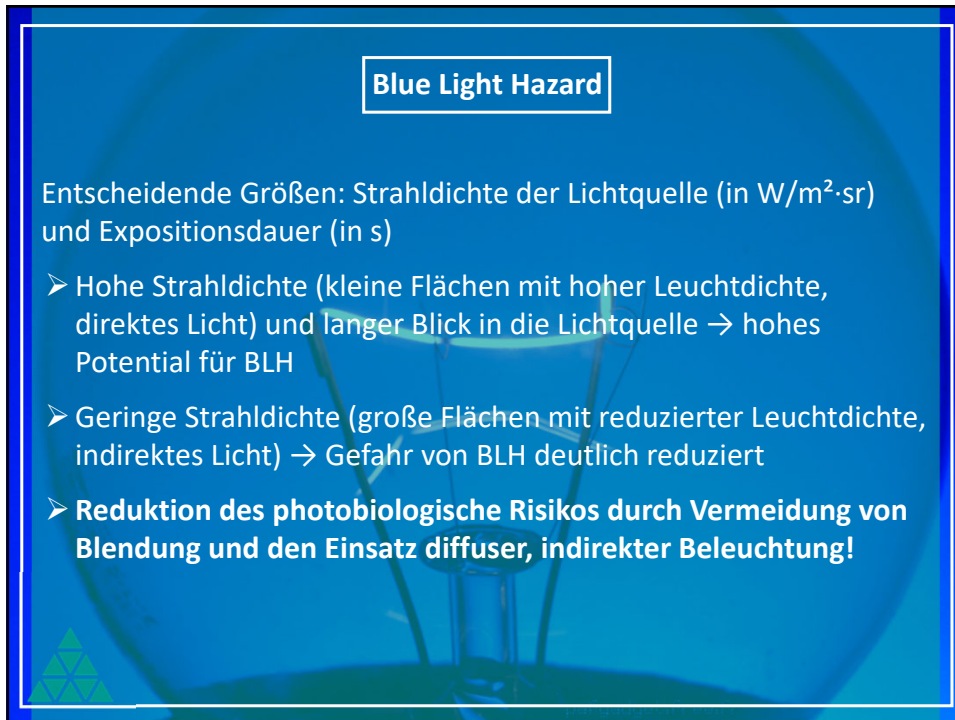
10



Blue Light Hazard

- Manche der Studien stehen in Kritik
“Die für die Schädigung erforderliche Expositionszeit entsprach einem 15-minütigen Blick in die tropische Mittagssonne, ohne zu blinzeln.” –Ian Ashdown, chief scientist, Lighting Analysts, and president, ByHeart Consultants
“12 hours on - off for 28 days [...] 20 centimeters away from the rats and measured for 750 lux”

11



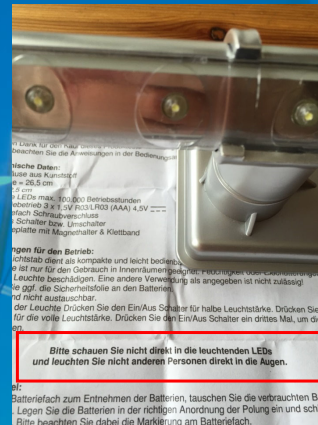
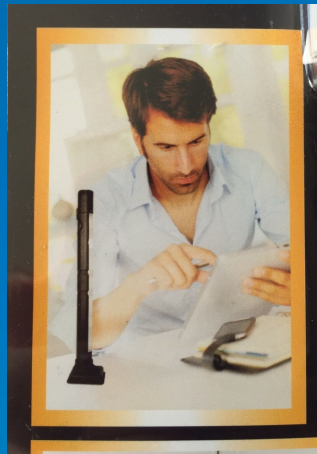
Blue Light Hazard

Entscheidende Größen: Strahldichte der Lichtquelle (in $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{sr}$) und Expositionsdauer (in s)

- Hohe Strahldichte (kleine Flächen mit hoher Leuchtdichte, direktes Licht) und langer Blick in die Lichtquelle → hohes Potential für BLH
- Geringe Strahldichte (große Flächen mit reduzierter Leuchtdichte, indirektes Licht) → Gefahr von BLH deutlich reduziert
- **Reduktion des photobiologische Risikos durch Vermeidung von Blendung und den Einsatz diffuser, indirekter Beleuchtung!**

12

Blue Light Hazard



LED-Lampe aus dem Supermarkt

13

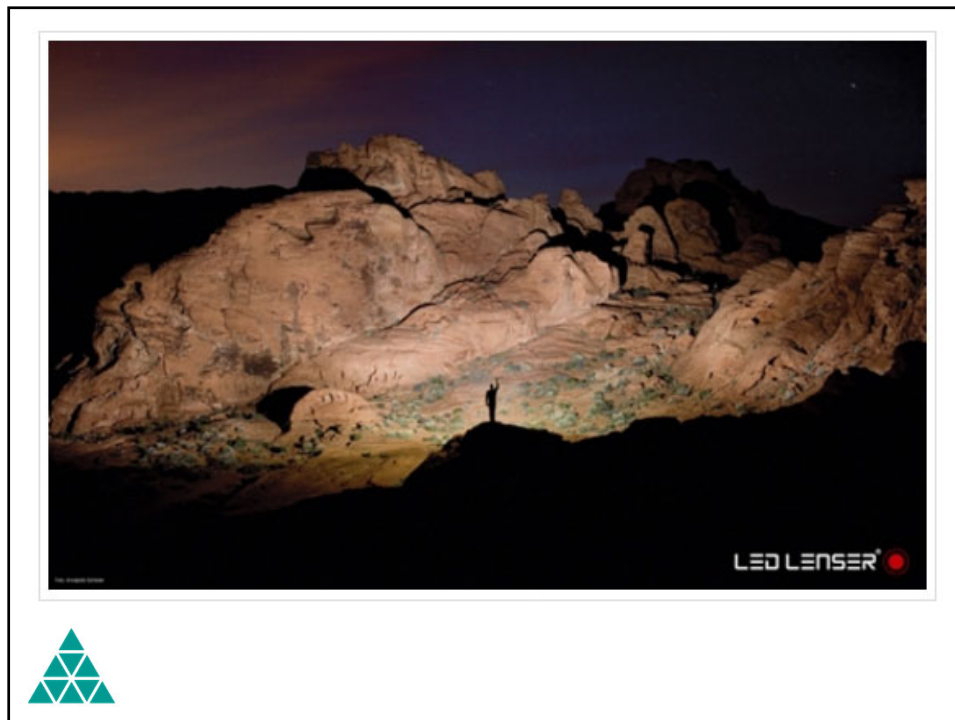
Blue Light Hazard

In DIN EN 62471 sind die folgenden Risikogruppen definiert:

Freie Gruppe (Risikogruppe 0 – RG 0)	Geringes Risiko (Risikogruppe 1 – RG 1)	Mittleres Risiko (Risikogruppe 2 – RG 2)	Hohes Risiko (Risikogruppe 3 – RG 3)
Die Lampe bzw. Leuchte stellt keine fotobiologische Gefährdung dar.	Die Lampe bzw. Leuchte stellt aufgrund von normalen Verhalten des Nutzers im Gebrauch keine Gefährdung dar.	Die Lampe bzw. Leuchte stellt aufgrund von Abwendreaktionen von hellen Lichtquellen oder durch thermisches Unbehagen keine Gefährdung dar.	Die Lampe bzw. Leuchte stellt sogar für flüchtige oder kurzzeitige Bestrahlung eine Gefährdung dar.
mattierte Glühlampen Leuchtstofflampen LED-Retrofit	Halogenlampen LED-Module LED Retrofit	Metall dampflampen High Brightness LED	Laser Speziallampen

Risikopotential nimmt zu

14



15

Blue Light Hazard

Risikogruppen

- bei sachgemäßer Anwendung der Leuchte darf maximal geringe Gefährdung gemäß der Risikogruppe RG1 auftreten
- für höher als RG1 eingestufte Leuchten ist Kennzeichnung durch Bildzeichen erforderlich ... usw.
- laut EN 62471 ist eine genauere Analyse nur notwendig, wenn die Leuchtdichte bei weißem Licht den Wert von 10.000 cd/m^2 übersteigt.

Bildzeichen 1: Nicht in die Lichtquelle/Leuchte starren!



Die Kennzeichnung von Lichtquellen bezüglich der Fotobiologischen Sicherheit erfolgt nach Normenvorgabe; demnach für LED-Module in der technischen Dokumentation und für alle Lampen auf deren Verpackung.

Quelle: © VDE

16



Blue Light Hazard

Hornhaut:

- Erhöhung des oxidativen Stress und Entzündungsfaktoren in der Hornhaut sowie im Tränenfilm
- Verringerung der Lebensfähigkeit der Hornhautzellen
- (weitere) mögliche Ursache für das Krankheitsbild des trockenen Auges

Ouyang X, Yang J, Hong Z, Wu Y, Xie Y, Wang G. Mechanisms of blue light-induced eye hazard and protective measures: a review. Biomed Pharmacother. 2020 Oct;130:110577. doi: 10.1016/j.biopha.2020.110577. Epub 2020 Aug 4. PMID: 32763817.

17



Blue Light Hazard

- Gefahr durch HEV ist oft bei natürlichem Licht größer als bei künstlichen Lichtquellen, da der absolute Anteil der schädlichen Strahlung größer ist
- Ausnahme: lange direkte Betrachtung von LEDs v.a. ohne Diffuser o.ä. aus kurzem Abstand!

Hagan et al. 2016 Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard

18



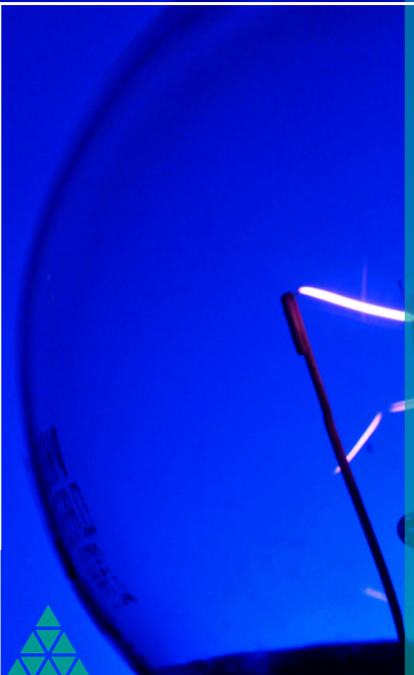
Blue Light Hazard

- Über die Schädigung des Blaulichtanteils von polychromatischem Licht auf eine Netzhaut im lebenden Auge von Menschen (in-vivo) gibt es (bisher) keine gesicherten Erkenntnisse.
- Gelbfärbung der Linse (natürlicher Blaufilter) reduziert das Risiko im Alter*
- Hohes Risiko: Aphake und Pseudophake (UV ist dann aber noch schädlicher)**

*Slaney DH. Eye protective techniques for bright light

**Illuminating Engineering Society 2015

19



Blue Light Hazard

- Zusätzliche Bestrahlung mit rotem Licht führt zu deutlich geringerem Absterben der Photorezeptoren
- Vermutung: rotes Licht führt zur Bildung von Anti-Oxidantien die die freien Sauerstoffradikale binden

Anais Françon; Francine F Behar-Cohen; Alicia Torriglia
; Evaluation of the Blue Light Hazard weighting in phototoxicity in a rat model. Investigative Ophthalmology & Visual Science June 2021, Vol.62, 2216

20

Rotlicht als Heilmittel?

Erkenntnisstand:

Licht im Wellenlängenbereich von 670nm hat Potenzial für medizinische Anwendungen

- Erhöhung des mitochondrialen Stoffwechsels
- Verringerung von Entzündungen in der Netzhaut
- Reduktion des oxidativen Zellstress' welches zu einem verbesserten Energiestoffwechsel in den Mitochondrien führt
- Wohlbefinden
- Leistungsfähigkeit
-

21

Rotlicht als Heilmittel?

Erkenntnisstand:

:

- Förderung der Wundheilung in der Netzhaut (z.B. bei Ratten, 24h Bestrahlung, nachgewiesen)¹
- Positive Effekte bei AMD (Visusverbesserung, Red. des Drusenvolumens) ... (n=24², n=40³), aber auch keine Effekte (n=42⁴, n=90⁴)
- Farbkontrastverbesserung nach einmaliger Bestrahlung, aber nur morgens (n=24⁵)

1 Ryzalin Albarrazin, Janis Eells, Krisztina Valter 2011
(<https://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2165919>)

2 Graham F. Merry, et al. 2017
(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5484346/>)

3 Samuel N. Markovitz, et al. 2020
(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7392581/>)

4 Manjot K. Grewal, et al. 2020
(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7231137/>)

5 C. Henein, D. HW Steel 2021
(<https://sci-hub.st/downloads/2021-05-24/df/henein2021.pdf>)

6 Harpreet Shinmar, et al. 2021
(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8613193/>)

22

Rotlicht als Heilmittel?

- Die Photobiomodulation wurde von dem Medizintechnik-Unternehmen LumiThera Inc. entwickelt. Sie ist seit 2018 CE-zertifiziert und für die Behandlung der trockenen Makuladegeneration (AMD) zugelassen.
- Wellenlängen: 590, 660 und 850 nm



Das Valeda® Light Delivery System © LumiThera

23

Rotlicht als Heilmittel?

How Does Red Light Therapy Work?

Certain wavelengths of light heal and charge our cellular batteries. These are responsible for health and energy. Let's explore how they do it.



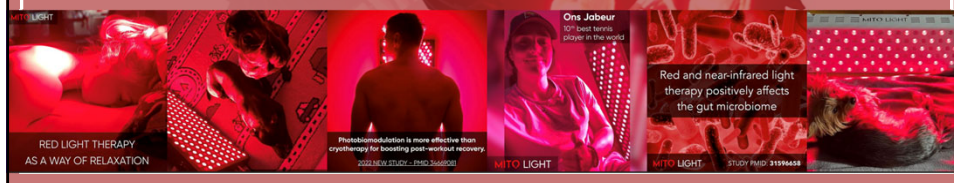
With MITO LIGHT® red light device you can:

- Regenerate faster
- Improve athletic performance
- Optimise hormones
- Increase collagen production
- Reduce inflammation in the body

Exposure to red light also has a positive effect on:

- Sleep and Circadian Rhythm
- The musculoskeletal system
- Mental and cognitive function
- Eye health
- Longevity

Beispiel und Quelle: mitolight.com



24



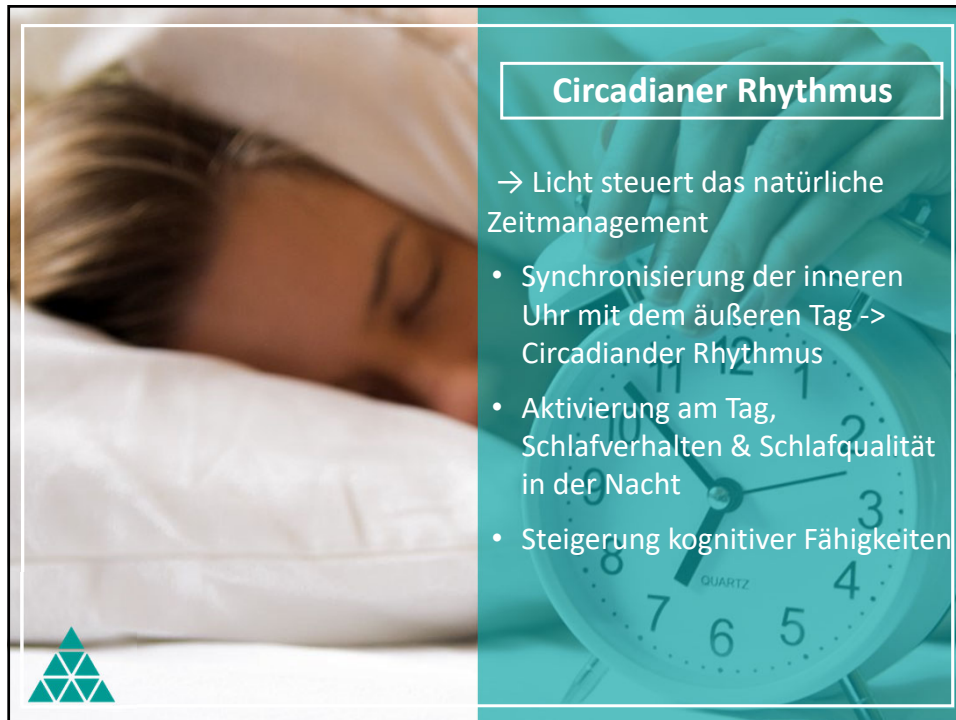
Circadianer Rhythmus

**Versuche im „Andechser Bunker“
(ab 1968)**

- Natürlicher Tag-Nacht-Wechsel synchronisiert die innere Uhr mit dem äußeren Tag
- Ohne Lichtsignal stellt sich die genetische vorgegebene Periodenlänge ein (24-26 h)
- Der Rhythmus verschiebt sich gegenüber dem äußeren Tag

<https://www.br.de/radio/bayern2/sendungen/bayerisches-funkhaus/andechser-schlaflabor-chronobiologie-2023.html>

25



Circadianer Rhythmus

→ Licht steuert das natürliche Zeitmanagement

- Synchronisierung der inneren Uhr mit dem äußeren Tag -> Circadianer Rhythmus
- Aktivierung am Tag, Schlafverhalten & Schlafqualität in der Nacht
- Steigerung kognitiver Fähigkeiten

26



Circadianer Rhythmus

- **Licht steuert den circadianen Rhythmus durch die Beeinflussung des Hormons Melatonin**
- Bei Dunkelheit schüttet die Zirbeldrüse Melatonin aus -> Müdigkeit, Schlaf
- Licht sorgt tagsüber für eine Unterdrückung der Ausschüttung von Melatonin -> Aktivität, Leistung
- Bei unnatürlich langer Aussetzung von energiereichem Licht und mit zunehmendem Alter nimmt der Melatoninspiegel ab

27



Circadianer Rhythmus

- 2002 entdeckte 3. Form der Photorezeptoren: lichtempfindliche retinale Ganglienzellen, ipRGC, die das Fotopigment Melanopsin enthalten
- Melanopsin hat seine maximale Empfindlichkeit bei 490 nm und hemmt die Melatoninproduktion (DIN SPEC 5031-100)
- Zusammenspiel Melatonin – Serotonin

28



Circadianer Rhythmus

Veränderung im Alter:

- Durch grauen Star und kleinere Pupillengrößen
→ weniger Blaulicht im Auge
- Photorezeption bei Kleinkindern (10 Jahre alt) 10-mal höher ist als bei Erwachsenen (95 Jahre alt)
- Alterung des Netzhautgewebes wirkt sich am stärksten auf die Verringerung der Amplitude des Rhythmus der circadianen Uhr aus

Wahl S, Engelhardt M, Schaupp P, Lappe C, Ivanov IV. The inner clock- Blue light sets the human rhythm. J Biophotonics. 2019 Dec;12(12):e201900102. doi: 10.1002/jbio.201900102. Epub 2019 Sep 2. PMID: 31433569; PMCID: PMC7065627.

29



Circadianer Rhythmus

Blaues Licht fördert:

- die Aufmerksamkeit, steigert die Leistung und verbessert die Konzentration. (Viola et al., 2008)
- Gesundheit von Patienten in Pflegeheimen oder Krankenhäusern

Wahl S, Engelhardt M, Schaupp P, Lappe C, Ivanov IV. The inner clock- Blue light sets the human rhythm. J Biophotonics. 2019 Dec;12(12):e201900102. doi: 10.1002/jbio.201900102. Epub 2019 Sep 2. PMID: 31433569; PMCID: PMC7065627.

30



Circadianer Rhythmus

- Blaues Licht ggf. nützlich bei Behandlung von prämenstruellen Depressionen, Bulimie und Angstzuständen*
- personalisierte Blaulichtexposition erhöhte das Aktivitätsniveau während des Tages und verbesserte den Schlaf während der Nacht bei Patienten mit Alzheimer-Krankheit**

*Holzman DC. What's in a color? The unique human health effect of blue light. *Environ Health Perspect.* 2010;118(1):A22-A27. doi:10.1289/ehp.118-a22

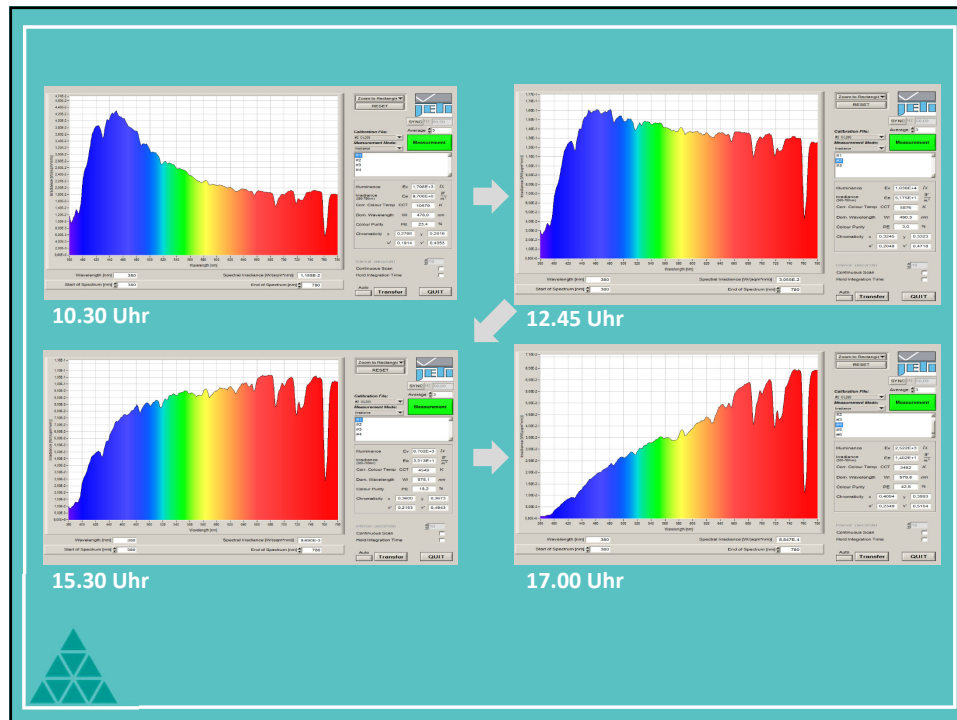
**Figueiro MG, Plitnick BA, Lok A, et al. Tailored lighting intervention improves measures of sleep, depression, and agitation in persons with Alzheimer's disease and related dementia living in long-term care facilities. *Clin Interv Aging.* 2014;9:1527-1537. Published 2014 Sep 12. doi:10.2147/CIA.S68557

31

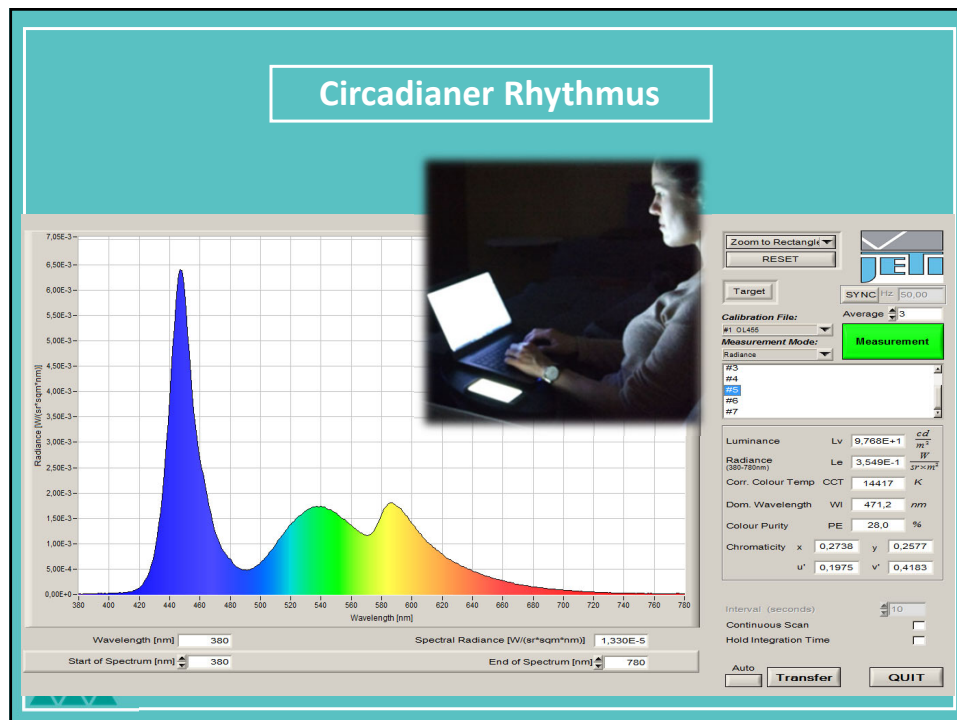


- Licht der Sonne verändert sich im Tages- und Jahresverlauf und je nach Wetter
- Beleuchtungsstärken von bis zu 100.000 Lux bei Sonnenlicht; 500 Lux oft bei Kunstlicht

32



33



34

Circadianer Rhythmus



Kindertaschenlampe aus dem Supermarkt

35

Circadianer Rhythmus

Chronische Störung unseres Biorhythmus konnten indirekt in Verbindung gebracht werden mit:

- Krebs
- Herz-Kreislauf-Erkrankungen
- Magen-Darm- und Verdauungsprobleme
- Diabetes
- Fettleibigkeit
- Depressionen
- Schlafentzug
- bipolare Störungen
- kognitive Störungen

Wahl S, Engelhardt M, Schaupp P, Lappe C, Ivanov IV. The inner clock- Blue light sets the human rhythm. J Biophotonics. 2019 Dec;12(12):e201900102. doi: 10.1002/jbio.201900102. Epub 2019 Sep 2. PMID: 31433569; PMCID: PMC7065627.

36



Circadianer Rhythmus

- Zusammenhang zwischen einer Störung des circadianen Systems und einem Gesundheitsrisiko findet sich für Brustkrebs bei Nachtschichtarbeitern



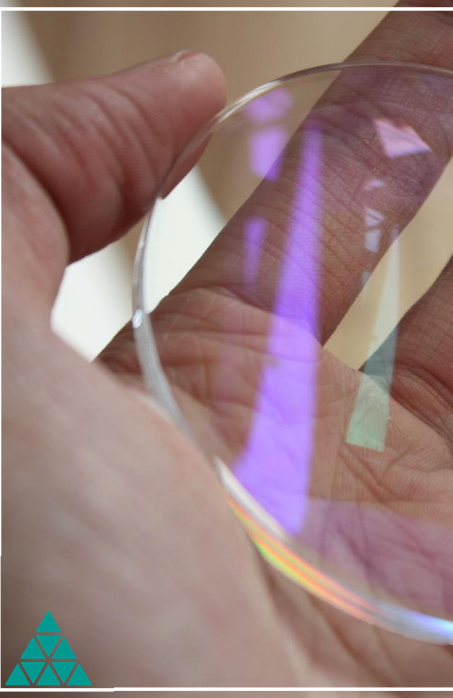
37



Methoden der optischen HEV-Reduzierung



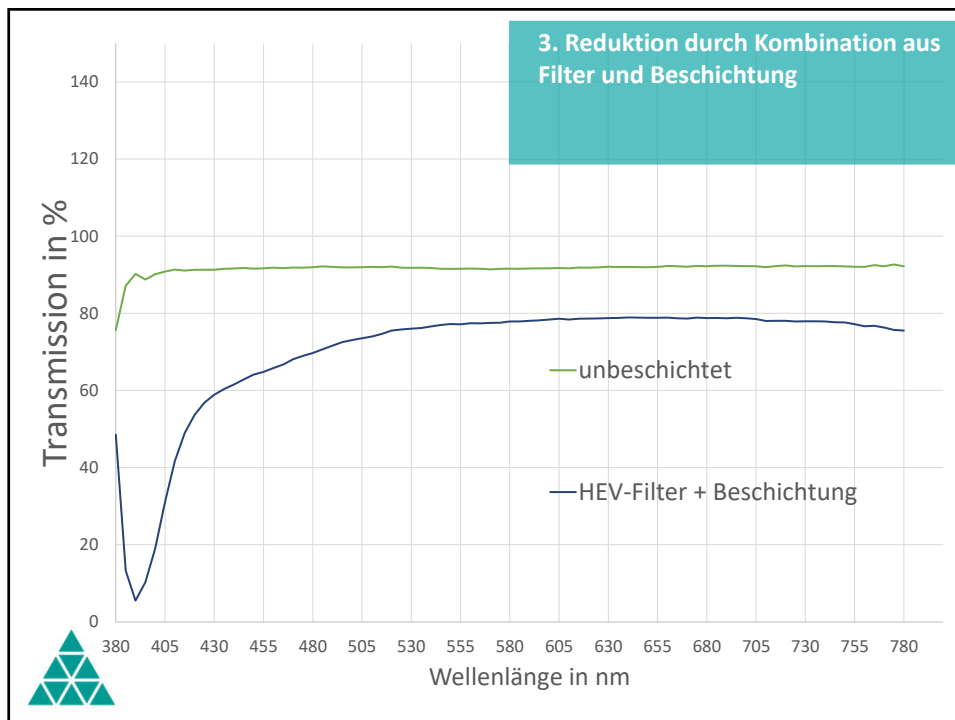
38



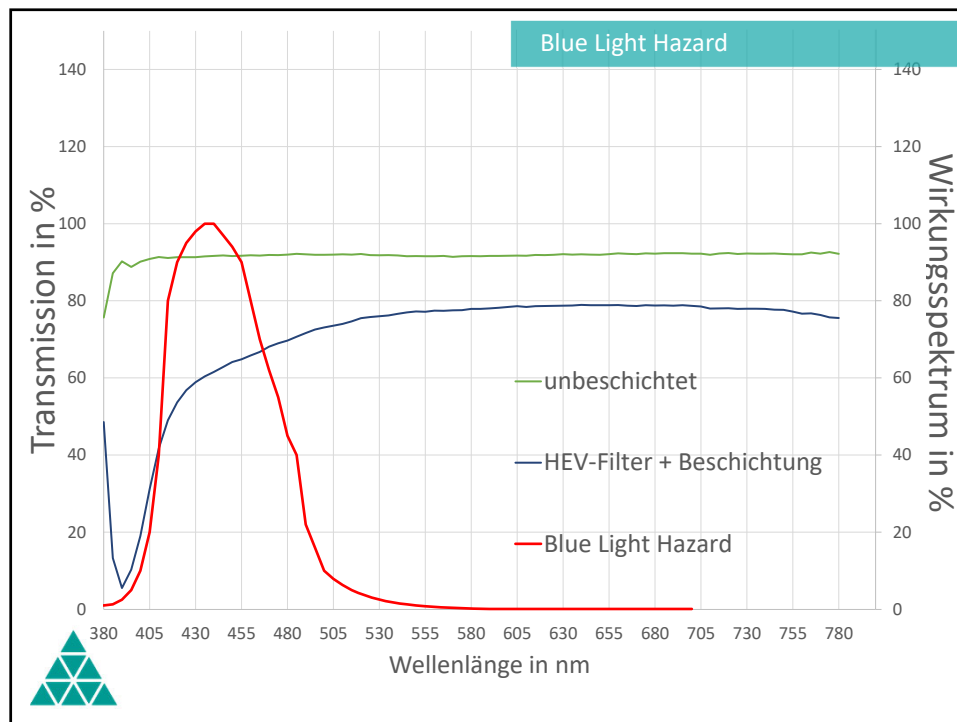
Blaulichtreduzierung

- Derzeit sind drei verschiedene Systeme zur Blaulichtreduzierung mit Brillengläsern auf dem Markt:
 1. Reduktion durch Beschichtungen
 2. Reduktion durch Filter
 3. Kombination aus Beschichtung und Filter

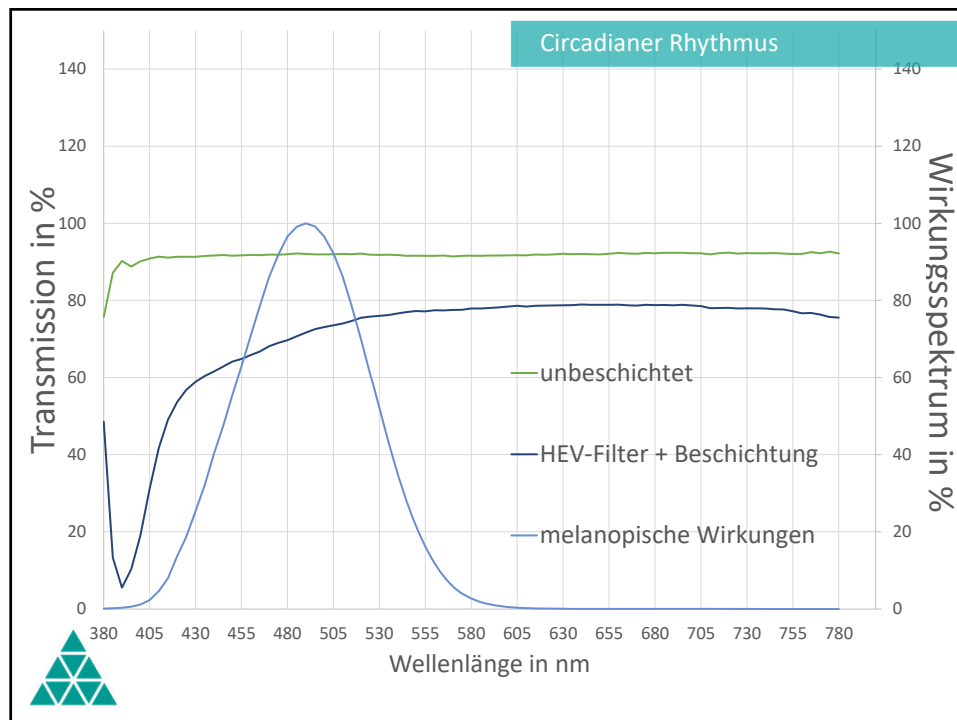
39



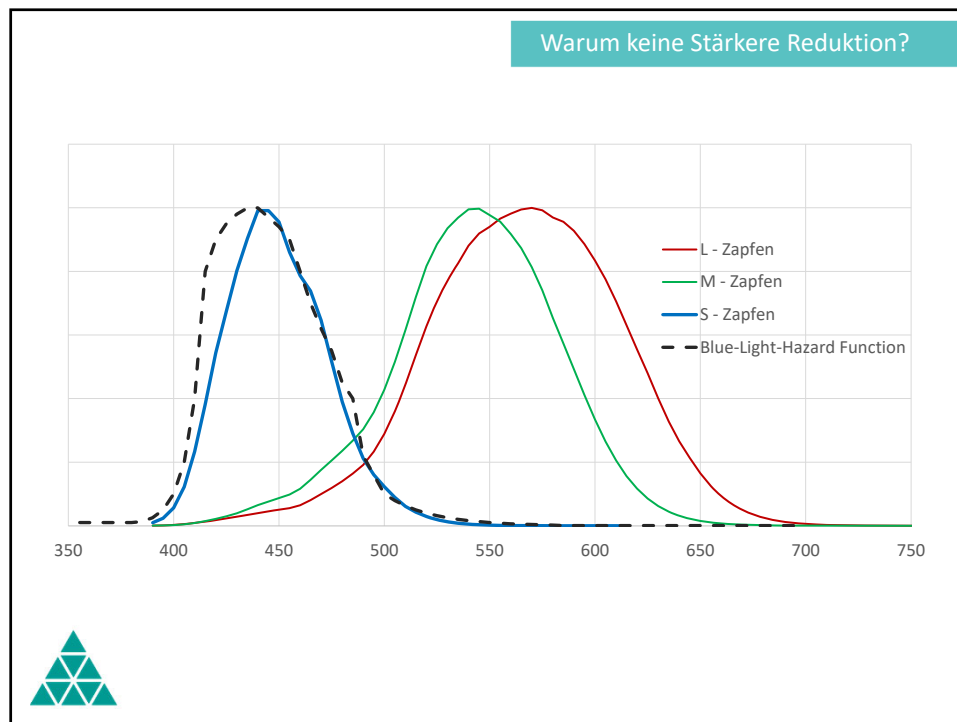
40



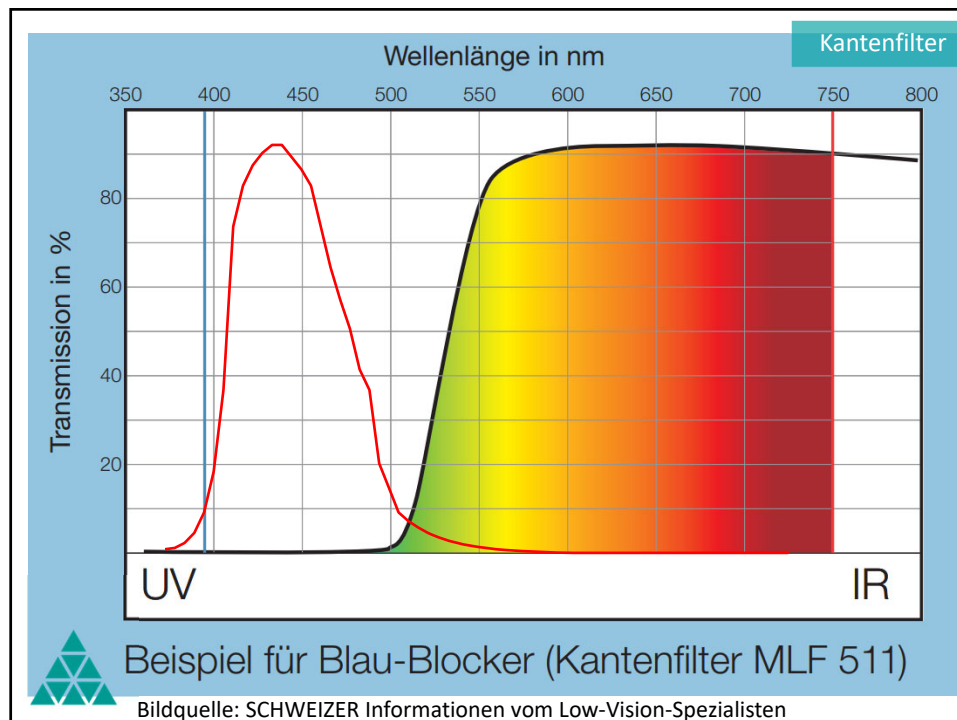
41



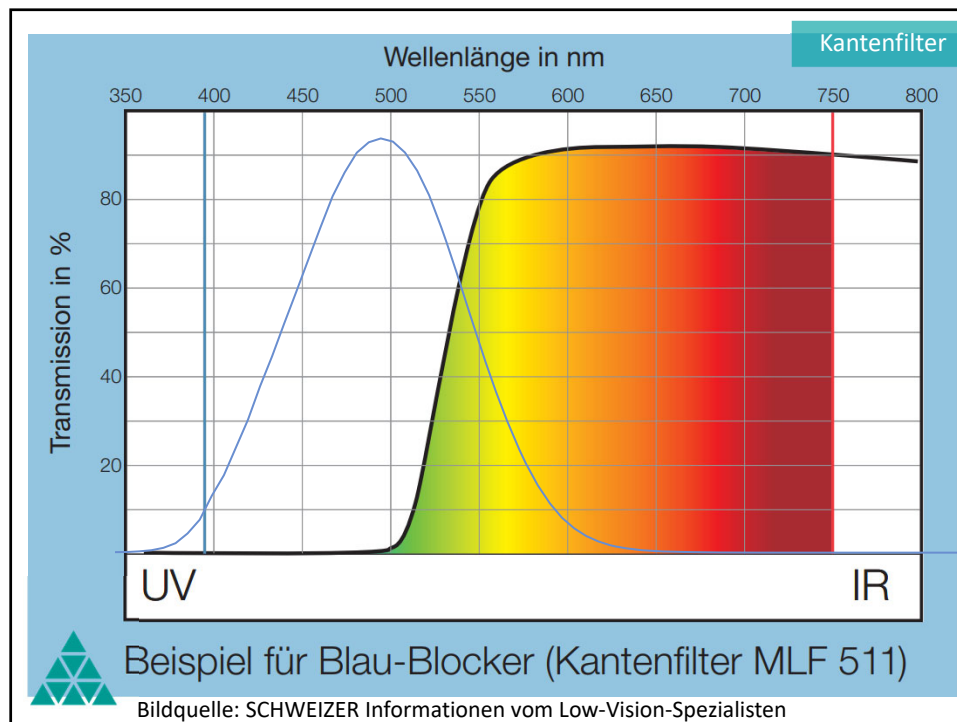
42



43



44



45

Blaulichtreduzierung

- Blaulicht-reduzierende Brillengläsern können die Farbwahrnehmung verändern (Verschiebung der Farbtemperatur)
 - Vorsicht bei Mediengestalten, Grafikern etc.
 - Darstellung auf Monitor unterscheidet sich vom Druck

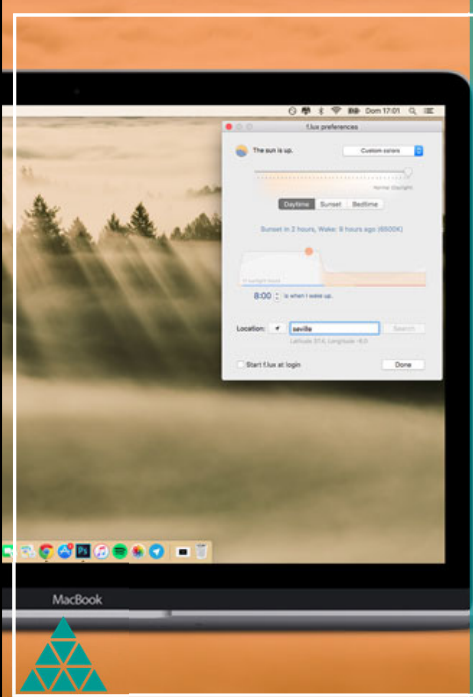
46



47



48

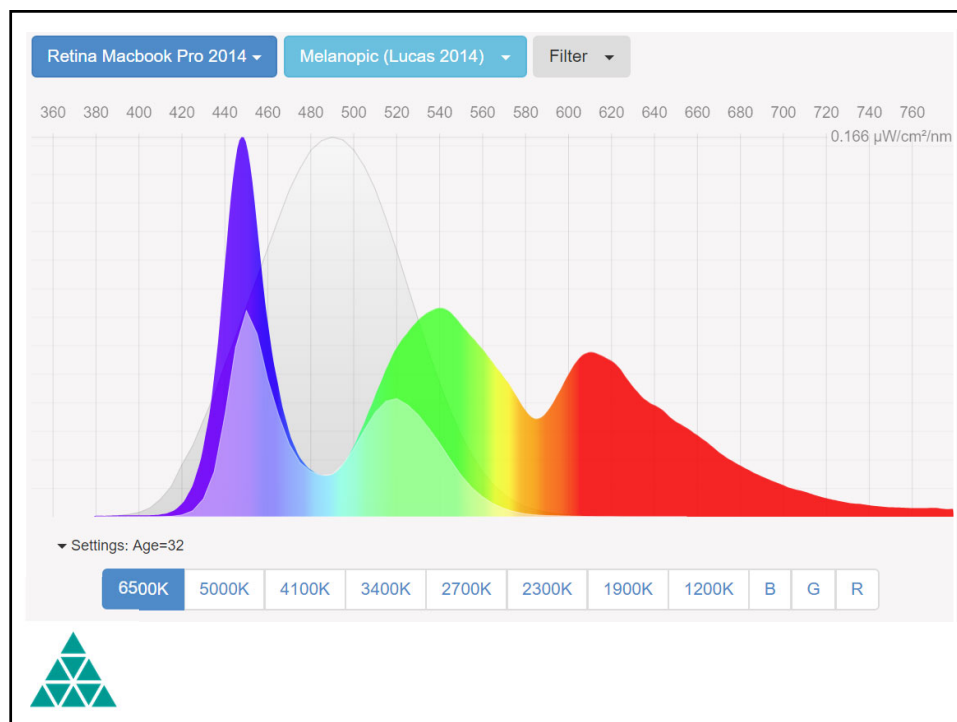


Softwarelösungen

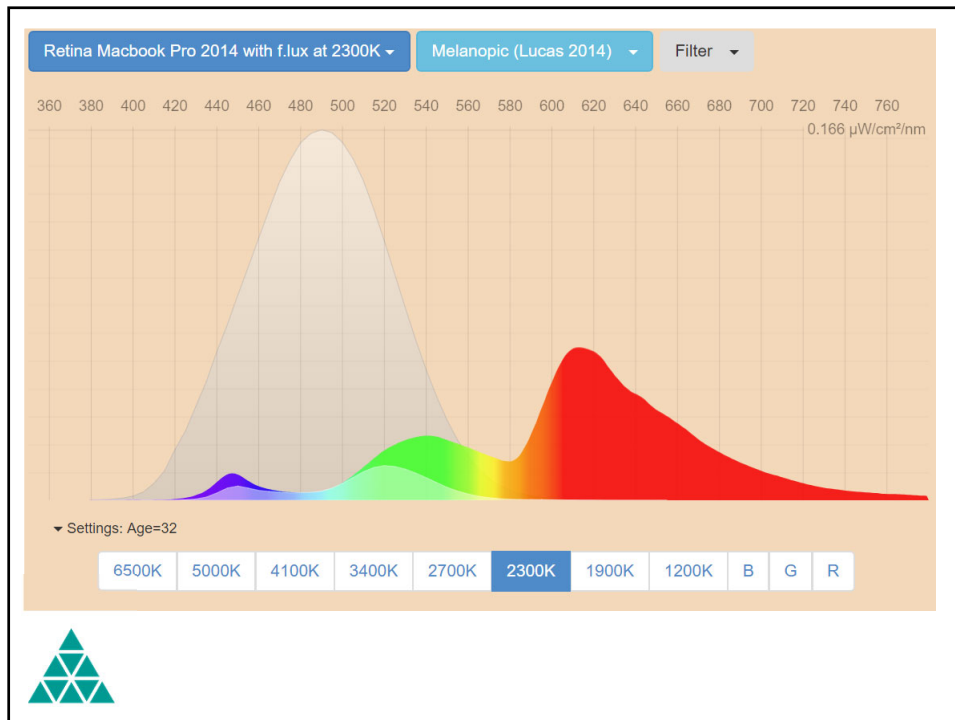
F.Lux

- Plattformunabhängig (Win/MAC/Android)
- Veränderung der Farbtemperatur des Displays durch Bildschirmprofilierung in Abhängigkeit der Tages- und Jahreszeit
- Koppelbar mit Smart Lighting (z.B. Philipps Hue)

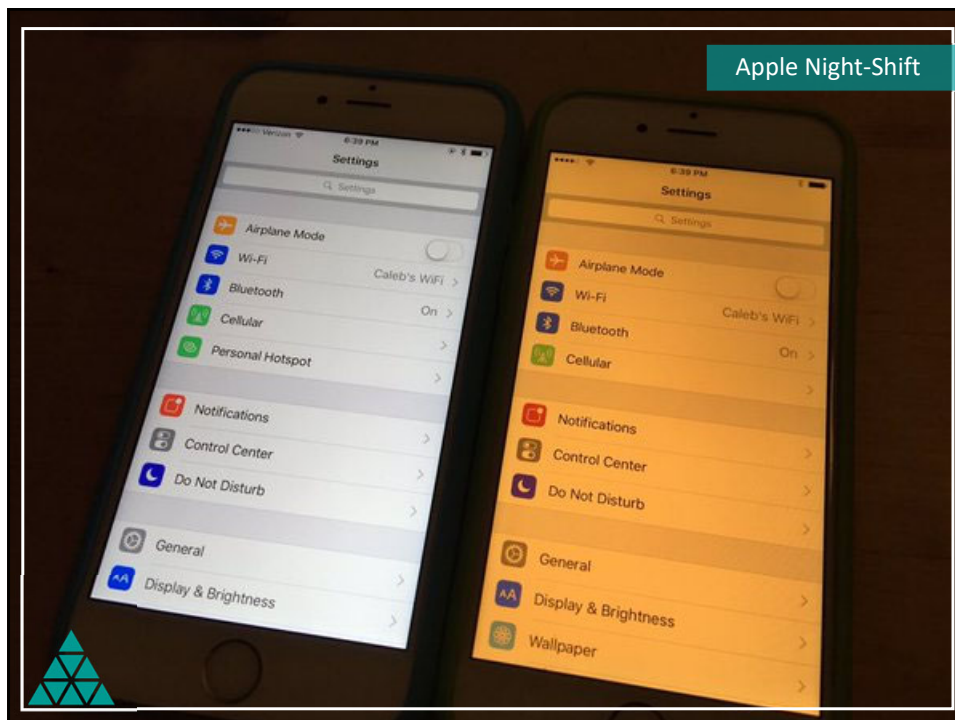
49



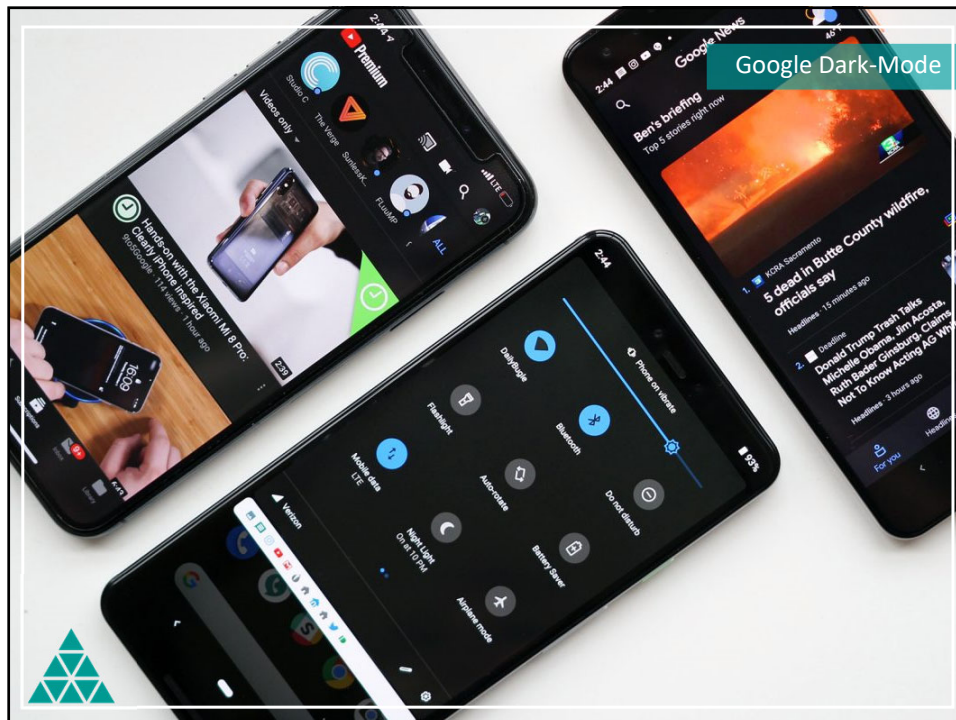
50



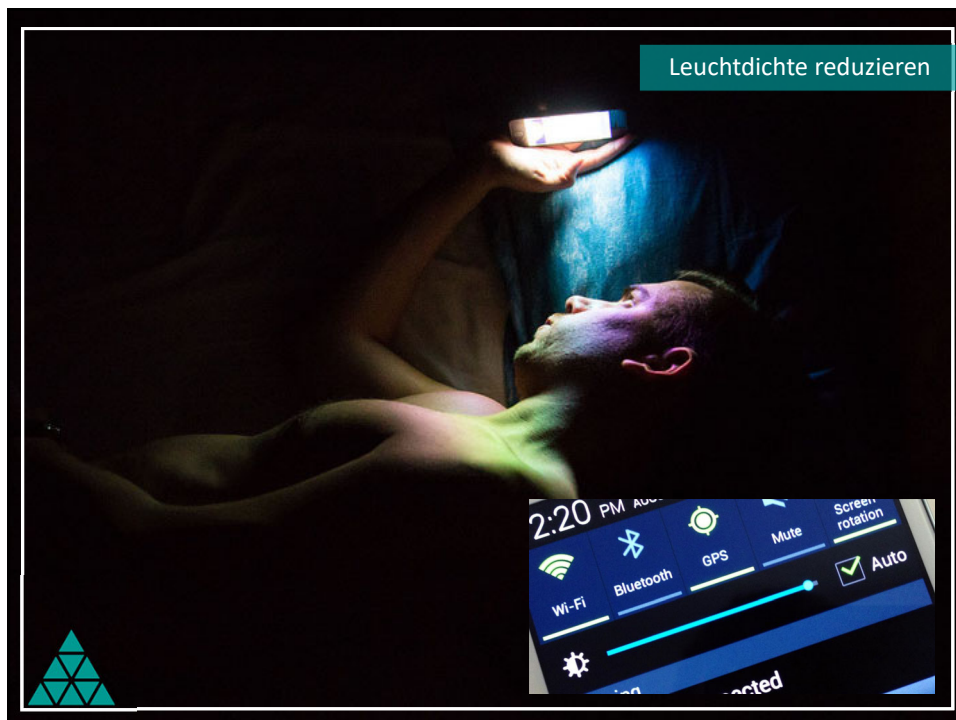
51



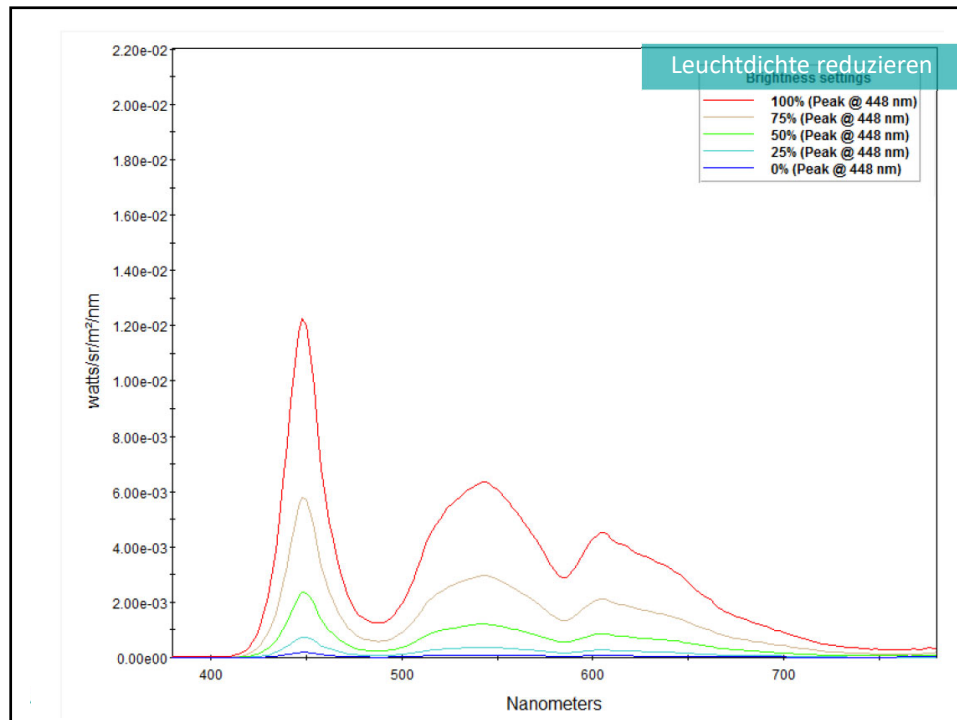
52



53



54



55

Biologisch wirksames Licht

DIN SPEC 67600:2013-04

Tabelle 1 — Faktoren, die biologische Lichtwirkungen grundsätzlich erhöhen oder verringern können

	Höhere biologische Wirkung wird erzeugt durch	Geringere biologische Wirkung wird erzeugt durch	Erläuterungen	Verweise
a)	höhere Bestrahlungsstärke	geringere Bestrahlungsstärke	Höhe der biologisch bewerteten Strahlung (vgl. DIN V 5031-100).	5.3
b)	längere Dauer der Exposition	kürzere Dauer der Exposition		5.5.4
c)	höhere Blauanteile	geringere Blauanteile	Die kurzwelligen Spektralanteile des Lichts haben eine größere biologische Wirkung. Für weißes Licht ist die biologische Wirksamkeit mit der Farbtemperatur positiv korreliert. ANMERKUNG Dies kann für Melatoninunterdrückung und das Verschieben der circadianen Phase als nachgewiesen angesehen werden. Möglicherweise stimmt dies für andere biologische Wirkungen nicht immer, da der zusätzliche Einfluss der Zapfen und Stäbchen noch nicht vollständig bekannt ist.	5.2
d)	flächiges Licht	punktförmiges Licht	Großflächiges Licht wird oft durch indirekte Beleuchtung erzeugt. Licht das von oberhalb der Blickrichtung ins Auge gelangt, ist wirksamer als Licht von unterhalb [2][4].	4.4

56

Biologisch wirksames Licht



aktivierend

- hohe Beleuchtungsstärken, kaltweiß an Wand und Decke
- indirektes Licht, sichtbare Leuchtdichten, aber keine Blendung



abends und nachts

- direktes Licht, warmweiß
- Unterstützung für visuelles System

57

Biologisch wirksames Licht

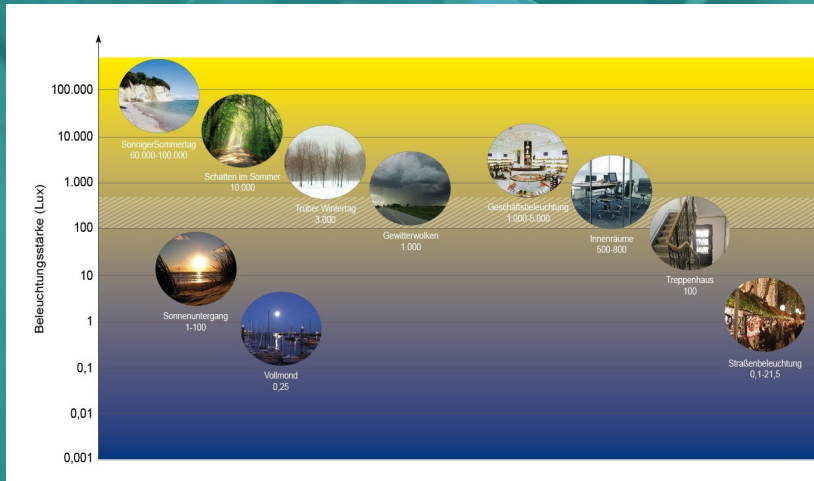


- DIN SPEC 67600:2013-04 - Empfehlungen für eine biologisch wirksame Beleuchtung im Büro
- DIN SPEC 5031-100:2015 - tageslichtäquivalenten lichttechnischen Größen
- z.B. 426 Lux / 4000 K entspricht 240 Lux / 6500 K Normlichtart D65 (nat. Tageslicht)
- neue DIN EN 12464-1

Beispiel einer tageszeitabhängigen Lichtdynamik aus einer Lichtplanung im Büro. Darstellung vertikaler Beleuchtungsstärken am Auge für biologisch relevante Tagesphasen (eigene Grafik nach DIN SPEC 67600 (2013) „Biologisch wirksame Beleuchtung – Planungsempfehlungen“) (Fluoreszenzlicht)

58

Biologisch wirksames Licht



- Effekte von Licht auf Schlafqualität erst ab Beleuchtungsstärke von 1000 lux tagsüber

59

Vielen Dank!



60