

Stephan Völker | Heike Schumacher (Hrsg.)

9. Symposium Licht und Gesundheit

Abstracts



Abstracts der Tagung „9. Symposium Licht und Gesundheit“
6.–7. Oktober 2016 im Forum Treptow in Berlin

Stephan Völker | Heike Schumacher (Hrsg.)
9. Symposium Licht und Gesundheit

Organisation

Technische Universität Berlin
Fachgebiet Lichttechnik



mit Unterstützung von:



Tagungsbeirat

Dr. Peter Bocionek (Stuttgart)
Prof. Dr. Carl Erb (Berlin)
Prof. Dr. Heinrich Kaase (Berlin)
Dr. Rolfdieter Krause (Berlin)
Prof. Dr. Hans Meffert (Gager-Rügen)
Prof. Dr. med. Andreas Michalsen (Berlin)
Prof. Dr. Christoph Schierz (Ilmenau)
Prof. Dr. Paul W. Schmits (Hildesheim)
Prof. Dr. Jürgen Zulley (Regensburg)

Fachliche Gesamtleitung

Prof. Dr. Stephan Völker (Berlin)

9. Symposium Licht und Gesundheit

Abstracts der Tagung „9. Symposium Licht und Gesundheit“
vom 6. bis 7. Oktober 2016
im Forum Treptow in Berlin

Herausgeber:
Stephan Völker
Heike Schumacher

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de/> abrufbar.

Universitätsverlag der TU Berlin, 2016

<http://verlag.tu-berlin.de>

Fasanenstr. 88, 10623 Berlin

Tel.: +49 (0)30 314 76131 / Fax: -76133

E-Mail: publikationen@ub.tu-berlin.de

Alle Texte dieser Veröffentlichung – ausgenommen Zitate – sind unter der CC-Lizenz CC BY lizenziert.

Lizenzvertrag: Creative Commons Namensnennung 4.0

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Umschlagfoto: Heike Schumacher, 2016

Druck: docupoint GmbH

Satz/Layout: Antonia Volke, Heike Schumacher

ISBN 978-3-7983-2866-2 (print)

ISBN 978-3-7983-2867-9 (online)

ISSN 2196-338X (print)

ISSN 2198-5103 (online)

Zugleich online veröffentlicht auf dem institutionellen Repository der Technischen Universität Berlin:

DOI 10.14279/depositonce-5458

<http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-5458>

Vorwort

Die Wirkung von Strahlung auf den menschlichen Organismus rückt zunehmend in den Fokus der Lichttechnik. Grund hierfür ist das wachsende Wissen über die biologischen Wirkungen von Licht und deren Bedeutung für unsere Gesundheit.

Unsere Traditionstagung *Licht und Gesundheit* schlägt die Brücke zwischen Wissenschaft und Anwendung. Der umfassende Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zu den verschiedensten Wirkungen von Strahlung soll Sie wieder zu einem intensiven Informationsaustausch anregen.

Auch in diesem Jahr werden dabei wieder „beide Seiten der Medaille“ betrachtet und sowohl therapeutische als auch schädigende Folgen von Strahlungsexposition erörtert. Getreu dem Motto „Dosis sola facit venenum“ (Allein die Dosis macht das Gift) gilt es, negative Auswirkungen durch ein zu viel oder zu wenig an Strahlung zu verhindern.

Dass Strahlung für eine gezielte Anwendung messtechnisch exakt abgebildet werden muss, ist nicht neu; jedoch müssen vor dem Hintergrund neuer Erkenntnisse auch die Messverfahren und -methoden überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

Erstmals wird die *Licht und Gesundheit* gemeinsam mit dem Anwenderforum BioWi organisiert und ausgetragen. Dabei bleiben beide Symposien in ihrem Charakter eigenständig, bündeln jedoch die gemeinsamen Inhalte. Hierdurch können wir Ihnen ein einmaliges unabhängiges Wissenschafts- und Anwenderforum anbieten.

Auch künftig muss die Forschung auf dem Gebiet weiter vorangetrieben werden, denn die komplexen Zusammenhänge zwischen Licht und Gesundheit werden für uns immer wichtiger. In diesem Sinne wünsche ich uns allen eine spannende und erfolgreiche Tagung mit vielen interessanten Gesprächen.

Ihr Stephan Völker

Effects of light beyond vision: from non-visual photoreception to new applications and metrics	
Luc Schlangen Philips Lighting Research	8
Mythen und Wahrheiten über nicht-visuelle Effekte – Ein Überblick zum Stand der Forschung	
Stephan Völker Technische Universität Berlin	10
Optimiertes Licht zur Gesundheitsförderung bei älteren Menschen in Pflegeheimen	
Tobias Peters Universität Tübingen	12
Beleuchtungsstärke vs. Spektrum – Wie lässt sich die Aufmerksamkeit energieeffizient steigern?	
Inga Rotherth Technische Universität Berlin	16
Charakterisierung und Kalibrierung von Detektoren für personenbezogene Lichtexpositionsmessungen in Feldstudien am Beispiel des Actiwatch Spectrum	
Ljiljana Udovičić/Marco Janßen//Dennis Nowack/Luke Price Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin//Public Health England	18
Präventionsmaßnahmen für Arbeitnehmer im Freien – Schutz vor solarer UV-Strahlung	
Günter Ott, Winfried Janßen, Peter Knuschke Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin//Technische Universität Dresden	24
Melatonin-Suppression: Vergleich von Patienten mit einer Bipolar-I-Störung und gesunden Kontrollprobanden	
Philip Ritter Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden	30
Einfluss von Lichtspektren auf die Ausschüttung des Stressparameters Cortisol	
Katja Petrowski Deutsche Sporthochschule Köln	32
Einfluss von Spektrum, Bestrahlungsstärke und Alter auf die Melatonin-Suppression	
H. Piazena, L. Franke, A. Nasert, B. Weller, R. Uebelhack, Th. Penzel, I. Fietze Charité Berlin	34
Scoping Review zum Einfluss der Beleuchtung auf Faktoren der psychischen Gesundheit in der Arbeitswelt	
Jan Krüger Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin	36
Effekte von blauem Licht auf Somatosensorik und neuropathischen Schmerz	
Christian Maihöfner/Max Florian Bartels//Marco Schröter/Robert Scholl Klinikum Fürth//Hochschule Bonn-Rhein-Sieg	44

Die Bedeutung der UV-indizierten kutanen Vitamin D-Synthese für unsere Gesundheit: ein Update Jörg Reichrath Universitätsklinikum des Saarlandes.....	46
Vitamin D- Evidence in Prevention and Therapy of Diseases and on Mortality Rolf-Dieter Krause//Michael F. Holick Charité Berlin//Boston University Medical Center.....	48
Der Einfluss von natürlicher und künstlicher UV-Strahlung auf den Vitamin D-Status im Jahresgang P. Knuschke/A. Bauer/A. Püschel/H. Rönsch Technische Universität Dresden	52
Einfluss des Sonnenstandes auf biologische Wirkungen über die Haut Gunther Seckmeyer Leibniz Universität Hannover.....	54
Wie stark scheint die Sonne jetzt? Schattenregel und aktueller UV-Index Hans Meffert, Helmut Piazena, Peter J. Meffert Dermatologisches Zentrum Berlin.....	56
Sonnencremes mit Infrarot-A-Schutz? Helmut Piazena Charité Berlin	58
Wirkung von Strahlung – Das Problem der potentiellen Schädigung durch Lichtstrahlen im Sehspektrum im Berufsleben der Ärzte Kazim Hilmi Or Ophtamologe, Istanbul.....	60
Winkelabhängige Netzhautbelastung durch die Strahlung von Bühnenscheinwerfern Christoph Schierz Technische Universität Ilmenau.....	62
Tageslicht als bevorzugte Lichtquelle – Welche charakteristischen Eigenschaften hat das Licht (noch) hinter der Fassade? Martine Knoop Technische Universität Berlin.....	70
Variabilität vom Tagesstrahlung-Spektren außen und im Innenraum – Feldmessergebnisse und Analyse Alexander Herzog/Adrian Eissfeldt. Technische Universität Darmstadt.....	72
Örtlich aufgelöste Messung biologisch wirksamer Beleuchtung Tobias Porsch TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH.....	74

Effects of light beyond vision: from non-visual photoreception to new applications and metrics

Luc Schlangen
Philips Lighting Research

Background

Our understanding how to assess and quantify light conditions for their ability to elicit non-visual effects is still incomplete. Behavioral and biological effects of light are known to be influenced by distinct photoreceptors in the eye, melanopsin-containing retinal ganglion cells, next to conventional rods and cones. A new strategy to quantify light allows to individually characterize all these different photoreceptive inputs, and expresses light intensity in terms of five different kinds of α -opic irradiances: melanopic, rhodopic, cyanopic, chloropic and erythropic.

Methods

For each of the five α -opic irradiances, dose-response relationships are established from a meta-analysis of the scientific literature for specific non-visual effects of light in man, such as alertness induction and nocturnal suppression of the sleep-supporting hormone melatonin.

Results

Both alertness induction and melatonin suppression display a strong and significant correlation with the melanopic-irradiance, but less so with the other α -opic irradiances. These results indicate that a melanopsin weighted light intensity is highly predictive for the alerting and melatonin suppressing effects of light. Previously a “melanopic-lux” quantity has been proposed to evaluate melanopsin weighted light intensities. This quantity is easily and directly translatable into a melanopic irradiance or a melanopic “daylight equivalent” illuminance, thus ensuring compatibility with existing SI units. Within CIE, the Joint Technical Committee 9 is developing a standard in which action spectra and quantities for the five photoreceptor weighted light intensities are defined.

Conclusions

Quantifying light exposures in terms of the different α -opic irradiances and α -opic daylight equivalent illuminances helps light designers decide what lighting conditions to use in order to promote, or avoid, certain non-visual responses to light. Moreover, it allows to define further experiments to establish what photoreceptor inputs and photoreceptor interactions are predictive for particular non-visual responses to light.



Mythen und Wahrheiten über nicht-visuelle Effekte – Ein Überblick zum Stand der Forschung

Stephan Völker

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik

Nicht-visuelle Wirkungen – eine schöne Geschichte, die dem Verkauf von Leuchten dient oder lässt sich unser Körper tatsächlich mit künstlicher Beleuchtung steuern? Dieser Beitrag wird einen Überblick über die verschiedenen Aspekte aus Sicht der Wissenschaft geben. Die Präsentation greift dafür neben der AT Kearney Studie, welche im Auftrag des ZVEI erstellt wurde, die Position des KAN (August 2015) und das Positionspapier der CIE zu nicht-visuellen Wirkungen von Licht auf. Diese drei Papiere zeigen exemplarisch die Bandbreite an Positionen, welche aktuell diskutiert werden.

I. Bekannte nicht-visuelle Wirkungen von Licht

Als gesichert gilt, dass eine Reihe unserer Körperfunktionen tageszeitlich abhängig sind. Dazu zählen die Melatonin- und Cortisolkonzentration im Blut, die Aufmerksamkeit, die Stress- und Schmerzwahrnehmung und die Antwort unseres Immunsystems. Störungen dieses Rhythmus wirken sich auf Schlafqualität, unser Wohlbefinden, unseren Appetit, die Müdigkeit und die Wachheit aus.

Ebenfalls als gesichert gilt, dass das Tageslicht diese Körperfunktionen synchronisiert. Jedoch ist Licht nicht der einzige Zeitgeber. Auch unsere Mahlzeiten bestimmen unseren zeitlichen Rhythmus.

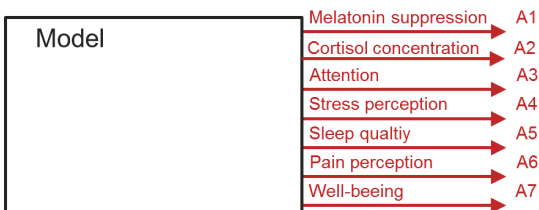


Abbildung 1: Nicht-visuelle Wirkungen

Wenn Licht der Zeitgeber ist, so brauchen wir fotoempfindliche Empfänger. Als gesichert gilt, dass neben den s-, m- und l-Zapfen, fotoempfindliche Zellen existieren (ipRGCs - Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells), welche die abweichende spektrale Empfindlichkeit der Melatoninunterdrückung von den s-, m- und l-Zapfen erklären. Für die Beschreibung der spektralen Empfindlichkeit der ipRGC Zellen gilt die Smel-Funktion als gesichert (siehe Abbildung 2).

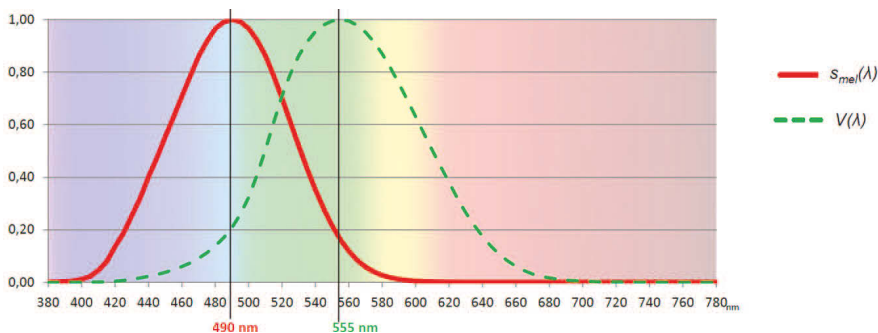


Abbildung. 2: $S_{mel}(\lambda)$: Aktionspektrum für melanopische Wirkungen von Licht in der Nacht, gewichtet mit dem Transmissionsgrad der Linse eines 32-Jährigen

Nicht wahr ist, dass die ipRGC Zellen allein für die nicht-visuellen Wirkungen verantwortlich sind. Lucas [1] hat gezeigt, dass die ipRGCs Zellen sowohl mit den Zapfen als auch mit den Stäbchen auf komplexe Weise interagieren. Es ist daher nicht hinreichend, nur die spektrale Empfindlichkeit der ipRGC Zellen allein zu betrachten.

II. Maßzahlen für nicht-visuelle Wirkungen

Als Maßzahl für die nicht-visuellen Wirkungen eines Lichtsystems wird heute der acv-Wert genutzt. Streng genommen ist allein die Vorhersage der Wirksamkeit der Melatoninunterdrückung am Abend mit dieser Zahl möglich (Abbildung 3). Die Übertragbarkeit auf andere nicht-visuelle Funktionen ist weitestgehend unbewiesen (Abbildung 4).

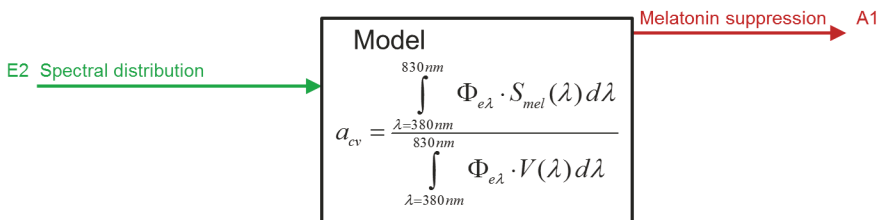


Abbildung. 3: Beschreibung der Melatoninunterdrückung als Funktion der spektralen Verteilung

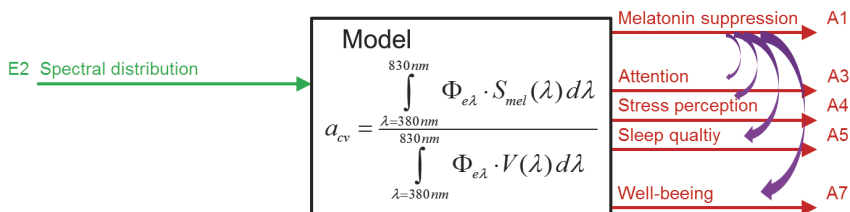


Abbildung. 4: Übertragbarkeit der Wirkung der Melatoninunterdrückung auf andere nicht-visuelle Wirkungen

Das Wissen über die ipRGCs Zellen wurde aus vielen Experimenten gewonnen, welche in der Nacht mit monochromatischer Strahlung durchgeführt wurden. Schierz [2] wies bereits 2012 daraufhin, dass eine einfache Übertragung der Ergebnisse auf Lichtquellen mit polychromatischer Strahlung nicht erlaubt ist. Für den praktischen Nutzen dieses Wissens ist es wichtig, die Interaktion der Strahlung, der spektralen und räumlichen Verteilung, der Darbietungszeit und der Dynamik des Lichtes zu kennen (Abbildung 5).

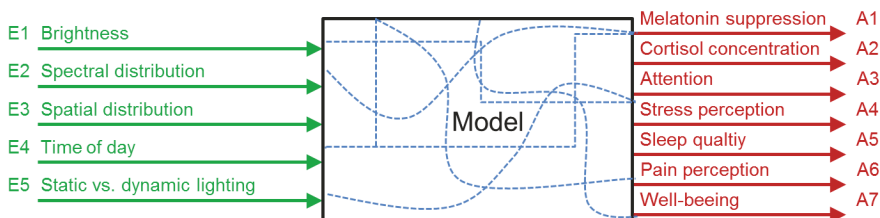


Abbildung. 5: Nicht-visuelle Wirkungen abhängig von unterschiedlichen fotometrischen Bedingungen

Genau hier aber zeigt sich eine große Schwäche vieler bisheriger Untersuchungen. Da diese Komplexität vielen Forschern zunächst nicht bewusst war, fehlen für eine hinreichende Interpretation der Ergebnisse sehr häufig detaillierte Angaben zum Versuchsdesign. Somit sind viele Ergebnisse kaum interpretierbar und erst recht nicht vergleichbar. Zudem zeigen viele physiologische Variablen erhebliche inter-individuelle Streuungen, sodass für eine sinnvolle Interpretation zwingend Covariate genutzt werden müssen (siehe Abbildung 6). Diese werden uns helfen, die Unterschiede zwischen den Individuen besser zu verstehen.

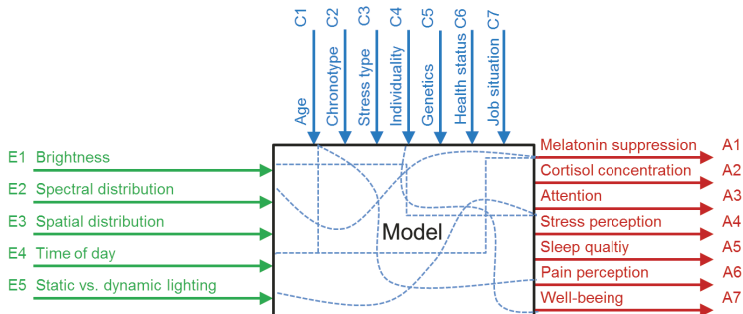


Abbildung. 6: Nicht-visuelle Wirkungen abhängig von unterschiedlichen fotometrischen Bedingungen mit Covariaten

Wie Abbildung 3 zeigt, ist der Wert acv ein guter Prediktor für die Vorhersage der Melatoninunterdrückung am Abend. Wenn man jedoch ein effizientes Lichtdesign für eine nicht-visuell wirksame Beleuchtung entwerfen möchte, gehört weit mehr Wissen dazu, als der acv -Faktor. Das gegenwertige Forschungsprojekt 'NiViL', welches vom BMBF gefördert wird, sammelt umfangreiche Daten für ein Modell, welches einen kleinen Teil dieser komplexen Abhängigkeiten aufklären wird.

Literatur

- [1] Lucas, R.J., Peirson, S.N. et al. (2014). Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends Neurosci* 37(1): 1–9.
- [2] Schierz, 2012
- [3] www.ssl-erate.eu – lighting for people – FP7-ICT-2013-619249
- [4] http://www.lightingeurope.org/uploads/files/Quantified_Benefits_of_Human_Centric_Lighting_April_2015.pdf
- [5] www.lichtwissen.de/en
- [6] CIE 158:2009 Ocular Lighting Effects on Human Physiology and Behaviour. CIE x027:2004 Proceedings of the CIE Symposium 2004 on Light and Health: Non-Visual Effects, 30 Sep.–2 Oct. 2004, Vienna, Austria.
- [7] CIE x031:2006 Proceedings of the 2nd CIE Expert Symposium „Lighting and Health“, 7–8 September 2006, Ottawa, Ontario, Canada.
- [8] CIE TN 003:2015 Report on the First International Workshop on Circadian and Neurophysiological Photometry, 2013

Optimiertes Licht zur Gesundheitsförderung bei älteren Menschen in Pflegeheimen

Tobias Peters

Universität Tübingen, Department für Augenheilkunde

Im Rahmen des Projektes NivIL werden im Teilvorhaben der Universität Tübingen ältere Menschen in Seniorenheimen untersucht. Geplant ist das Projekt in drei aufeinanderfolgenden Winterhalbjahren. Senioren leiden häufig unter einer gestörten circadianen Rhythmik, wodurch Schlafstörungen und weitere Beeinträchtigungen der Lebensqualität entstehen können. Seit 1991 ist bekannt, dass intrinsisch photosensitive retinale Ganglienzellen (ipRGCs) in der Netzhaut für die circadiane Rhythmik eine wichtige Rolle spielen. Vor allem kurzwelliges Licht im blauen Bereich ist ein Trigger, der die Freisetzung des „Schlafhormons“ Melatonin hemmt.

Dieser Effekt soll mit einer spektral angepassten dynamischen Beleuchtung genutzt werden. Die Möglichkeiten neuer LED Technik und ausgefeilter Steuerungstechnik werden eingesetzt, um eine gezielte Aktivierung bzw. Inaktivierung der ipRGCs zu erreichen. Die Studienbeleuchtung enthält daher morgens einen erhöhten Blauanteil, der im Tagesverlauf – wie auch im natürlichen Tageslicht – dynamisch abnimmt. Ziel der Studie ist es herauszufinden, ob durch eine dynamische und spektral modifizierte Beleuchtung Gesundheit, Wohlbefinden und Lebensqualität von Senioren in Pflegeheimen verbessert werden können.

In einer ersten Pilotphase von Dezember 2015 bis April 2016 lag der Fokus zunächst auf Machbarkeit der geplanten Methoden und Akzeptanz der Beleuchtung. Es ergaben sich deutliche Limitierungen durch kognitive Einschränkungen der Bewohner. Es konnten für die Hauptstudie, die in den Wintern 2016 und 2017 geplant ist, wertvolle Hinweise gewonnen werden. Zur Messung wurden unterschiedliche Methoden eingesetzt, wie Fremdbeobachtung, pupillographischer Schläfrigkeitstest, Audio-Reaktionstest sowie Bestimmung der Melatonin-Konzentration im Speichel im Tagesverlauf. Zudem wurden verschiedene Fragebögen eingesetzt, um das subjektive Empfinden der Probanden zu erfragen. Nach unseren Erfahrungen in der Pilotstudie wird in der Methodik für die Hauptstudie der Schwerpunkt auf objektiven Instrumenten liegen.

In der Hauptstudie sollen die Mitarbeiter der Seniorenheime mituntersucht werden. Ein wichtiger Bestandteil wird die Messung von körperlicher Aktivität und tatsächlich erhaltenem Licht via „light and object tracking“ sein. Innerhalb von NivIL werden in den einzelnen Teilvorhaben vergleichbare Instrumente in Form von Fragebögen, Biomarkern und Reaktionstests verwendet, mit dem Ziel für höchst unterschiedliche Gruppen eine Aussage über die nicht-visuelle Wirkung von Licht verlässlich treffen zu können. Gemeinsames Ziel sind Empfehlungen für weitere Entwicklungen an die deutsche Leuchtenindustrie.

Beleuchtungsstärke vs. Spektrum – Wie lässt sich die Aufmerksamkeit energieeffizient steigern?

Inga Rothert

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik

Motivation

Viele Untersuchungen zu nicht-visuellen Wirkungen von Licht haben gezeigt, dass ein erhöhtes Beleuchtungsstärkeniveau die Leistungsfähigkeit steigern kann (z. B. Smolders und de Kort 2014, Cajochen 2007, van Bommel et. al 2004). Dies widerspricht jedoch der viel geforderten Senkung des Energiebedarfs. Andere Studien zeigen, dass auch ein hoher „Blau-Anteil“ im Licht die Leistungsfähigkeit steigern kann (z. B. Keis et. al 2014, Shamsul et. al 2013, Mills et. al 2007). Der „Blau-Anteil“ wird meist durch eine hohe ähnlichste Farbtemperatur beschrieben. Diese ist dafür jedoch schlecht geeignet, da die Zusammensetzung des Spektrums bei gleicher ähnlichster Farbtemperatur sehr stark variieren kann. Die DIN SPEC 5031-100 empfiehlt hier zur Beschreibung die spektrale Gewichtung mit der Empfindlichkeit der ipRGC-Zellen, deren Maximum sich bei 490 nm befindet. Diese ist verantwortlich für die Melatoninsuppression abends und nachts. Ob diese Funktion auch für andere nicht-visuelle Wirkungen anwendbar ist, ist noch nicht abschließend geklärt.

Forschungsfrage und Hypothese

Es soll untersucht werden, ob ein erhöhter „Blau-Anteil“ des Spektrums in Abhängigkeit von der vertikalen Beleuchtungsstärke am Auge zu einer erhöhten Aufmerksamkeit am Tag führt. Der „Blau-Anteil“ des Spektrums wird charakterisiert durch den melanopischen Wirkungsfaktor anstatt durch die ähnlichste Farbtemperatur. Insbesondere soll folgende Hypothese überprüft werden: Eine Erhöhung des melanopischen Wirkungsfaktors bei niedriger vertikaler Beleuchtungsstärke kann auf energieeffiziente Weise die Aufmerksamkeit steigern – im Gegensatz zu einer alleinigen Erhöhung der Beleuchtungsstärke, was zwar die Aufmerksamkeit steigert, aber gleichzeitig den Energiebedarf ansteigen lässt.

Versuchsdesign

Der Versuch wird mit insgesamt 150 Probanden in einem Spezialversuchsraum durchgeführt. Die verwendeten LED-Leuchten sind durch eine blaue LED mit Peak-Wellenlänge 480 nm und eine weiße LED bei 2000 K mit einem blauarmen Spektrum auf einen besonders großen bzw. kleinen melanopischen Wirkungsfaktor abgestimmt. Es werden zwei verschiedene Spektren bei jeweils zwei verschiedenen vertikalen Beleuchtungsstärken am Auge gezeigt. Die Aufmerksamkeit wird mit dem D2R-Test auf Papier, dem Go-NoGo-Test als Audio-Variante und einer Vigilanz-Aufgabe auf einem Tablet gemessen.

sen. Zusätzlich wird ein Fragebogen ausgefüllt, um die subjektive Aufmerksamkeit zu erfassen. Da die Versuche Teil des Verbundprojektes „NiviL – Nicht-visuelle Lichtwirkungen“ mit Partnern aus unterschiedlichen Wissensgebieten sind, wird besonders auf eine detaillierte Beschreibung und Kontrollierung der Versuchsbedingungen Wert gelegt, damit die Ergebnisse am Ende wirklich vergleichbar sind.

Die Versuche laufen von August bis September 2016 und erste Ergebnisse werden im Vortrag vorgestellt.

Charakterisierung und Kalibrierung von Detektoren für personenbezogene Lichtexpositionsmessungen in Feldstudien am Beispiel des Actiwatch Spectrum

Ljiljana Udovičić/Marco Janßen/Dennis Nowack//Luke Price

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Deutschland// Public Health England, Großbritannien

1. Einleitung

In vielen Feldstudien wird die personenbezogene Lichtexposition anhand von Lichtexpositionsdetektoren gemessen. Diese Detektoren können von Probanden über einen längeren Zeitraum hinweg (Tage bis Wochen) getragen werden. Auf diese Weise werden umfangreiche Datensätze aufgezeichnet, die die Intensität und die spektrale Zusammensetzung des Lichts sowie ihre zeitlichen Veränderungen dokumentieren.

Derzeit werden in Feldstudien die Lichtexpositionsdetektoren unterschiedlicher Designs und messtechnischer Eigenschaften eingesetzt. Es ist anzunehmen, dass im eigenen Labor entwickelte Detektoren gut charakterisiert und kalibriert sind. Allerdings reichen die Informationen des Herstellers bei kommerziell verfügbaren Lichtexpositionsdetektoren meist nicht aus, um diese Detektoren in der Forschung, ohne vorherige Analyse ihrer messtechnischen Eigenschaften, einzusetzen. Unter Umständen muss eine Kalibrierung der Detektoren durchgeführt werden, um zuverlässige Ergebnisse aus Feldstudien liefern zu können.

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der Charakterisierung und Kalibrierung von 23 Actiwatch Spectrum-Detektoren dargestellt, die im Rahmen eines Kooperationsprojekts der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und der Public Health England (PHE) zur „Ermittlung der tatsächlichen Lichtexposition aus natürlichen und künstlichen Quellen im Hinblick auf zirkadiane Wirkungen bei schichtarbeitenden Beschäftigten“ durchgeführt wurden. Die Detektoren wurden hinsichtlich ihres Linearitätsbereichs und Dunkelsignals sowie ihrer Richtungs- und spektralen Empfindlichkeit charakterisiert. Die Ergebnisse bestätigten die Notwendigkeit der Kalibrierung der Detektoren, die mittels dreier künstlicher Lichtquellen sowie bei Tageslicht erfolgte. Die detaillierte Vorgehensweise wird im BAuA-Bericht „Personenbezogene Lichtexpositionsmessungen in Feldstudien – Eine Handlungsanleitung zur Charakterisierung und Kalibrierung von Detektoren am Beispiel des Actiwatch Spectrum“ beschrieben, der in Kürze zum Download zur Verfügung steht.

2. Actiwatch Spectrum-Detektor

Der Actiwatch Spectrum-Detektor der Firma Philips Respironics [3] ist ein im Handel erhältliches Messgerät, das von einer Vielzahl von Forschergruppen eingesetzt wird.

Der Detektor verfügt über drei Sensoren (Abbildung 1), die die Lichtexposition im roten (R), grünen (G) und blauen (B) Bereich des sichtbaren Spektrums, zwischen 400 nm und 700 nm, erfassen. Die Messwerte der Sensoren werden als „Rotes Licht“, „Grünes Licht“ und „Blaues Licht“ (E_R , E_G und E_B) in der Einheit $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ angegeben. Anhand der gemessenen Bestrahlungsstärken E_R , E_G und E_B sowie einer vom Hersteller nicht veröffentlichten Funktion wird die Beleuchtungsstärke als Messwert „Weißes Licht“ (E_W) in der Einheit lx abgeleitet.



Abbildung 1:
Foto eines Actiwatch
Spectrum-Detektors mit drei
optischen Sensoren für den
roten (R), grünen (G) und
blauen (B) Spektralbereich.

3. Ergebnisse

3.1 Linearität des Signals, Dunkelsignal und Richtungsempfindlichkeit der Sensoren

Nach Herstellerangaben ermöglicht ein Actiwatch Spectrum-Detektor die Messung der Beleuchtungsstärke im Bereich zwischen 1 lx und 100.000 lx. Vorherige Studien von Price et al. [4] und Markvart et al. [2] bestätigten, dass diese Detektoren über mehrere Größenordnungen hinweg linear sind. In unserem Labor wurde beispielhaft der Linearitätsbereich eines Actiwatch Spectrum-Detektors (SN 08992) bis zu einer Beleuchtungsstärke E_V von 56.000 lx verifiziert (Abbildung 2), da die höchste Beleuchtungsstärke bei der Kalibrierung etwa 50.000 lx betrug. Die Beleuchtungsstärke von 106.700 lx führte zur Sättigung der Signale dieses Actiwatch Spectrum-Detektors.

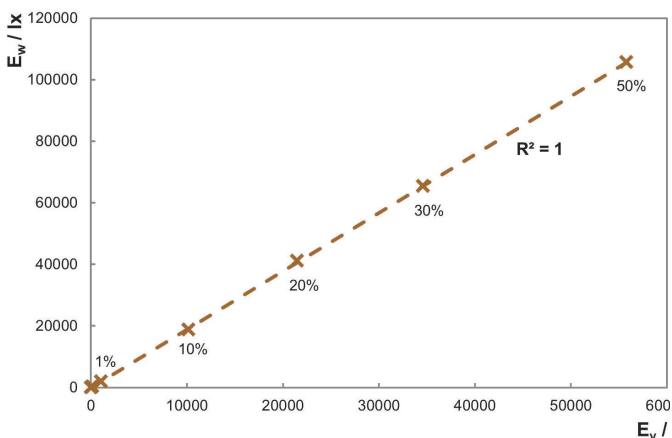


Abbildung 2:
Lineare Abhängigkeit des Signals E_W des Actiwatch Spectrum-Detektors SN 08992 von der Beleuchtungsstärke E_V . In der Abbildung wurde auch die Transmission der angewendeten Neutraldichtefilter angegeben.

Die untersuchten Actiwatch Spectrum-Detektoren zeigten vernachlässigbare Dunkelsignale. Die Maximalwerte der Dunkelsignale des R-, G- und B-Sensors und der Beleuchtungsstärke betragen $0,05 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$, $0,06 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$, $0,03 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ und $0,58 \text{ lx}$. Sie stimmen gut mit den Ergebnissen der Studie von Markqvist et al. [2] überein, in der Dunkelsignale des R-, G-, B-Sensors und Beleuchtungsstärken von $0,184 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$, $0,088 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$, $0,038 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ und $1,1 \text{ lx}$ gemessen wurden.

Die Sensoren der Actiwatch Spectrum-Detektoren liegen in einer flachen Vertiefung hinter einem etwa $9 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ großen Fenster (Abbildung 3a), was auf eine Einschränkung der idealen cosinusförmigen Richtungsempfindlichkeit hinweist. Die Kanten des Fensters verhindern, dass das seitlich einfallende Licht die Sensoren erreicht. Die Messungen der Richtungsempfindlichkeit der Sensoren wurden am Beispiel eines Actiwatch Spectrum-Detektors (SN 08968) durchgeführt. Die horizontale Richtungsempfindlichkeit dieses Detektors (Abbildung 3b) wies einen Fehler im Cosinus-Verhalten des R-, G- und B-Sensors (f_2) von 39 %, 22 % bzw. 46 % auf. Diese Ergebnisse stimmen mit den Ergebnissen vorheriger Studien [1, 2, 4] überein.

3.2 Spektrale Empfindlichkeit und Kalibrierung der Sensoren

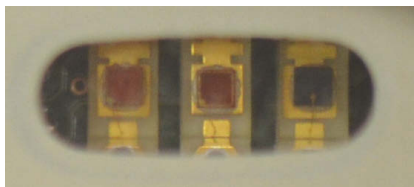


Abbildung 3a: Positionierung der R-, G- und B-Sensoren im Gehäuse der Actiwatch Spectrum-Detektoren.

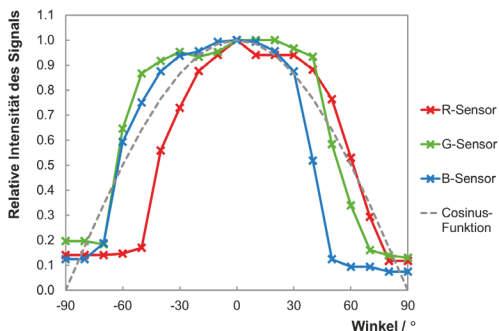


Abbildung 3b: Gemessene horizontale Richtungsempfindlichkeit der R-, G- und B-Sensoren des Actiwatch Spectrum-Detektors SN 08968 im Vergleich zur Cosinus-Funktion.

Abbildung 2 macht deutlich, dass die anhand der Actiwatch Spectrum-Detektoren gemessene Beleuchtungsstärke E_w von der tatsächlichen Beleuchtungsstärke E_v abweicht. Vor dem Einsatz dieser Detektoren in Feldversuchen ist es deshalb notwendig, sie zu kalibrieren. Falls sich eine Feldstudie vorrangig mit der sich auf das visuelle System auswirkenden Lichtexposition befasst, kann die Kalibrierung der Beleuchtungsstärke ausreichend sein. Da dies im obengenannten Projekt nicht der Fall ist, wurden hier auch die einzelnen Sensoren kalibriert.

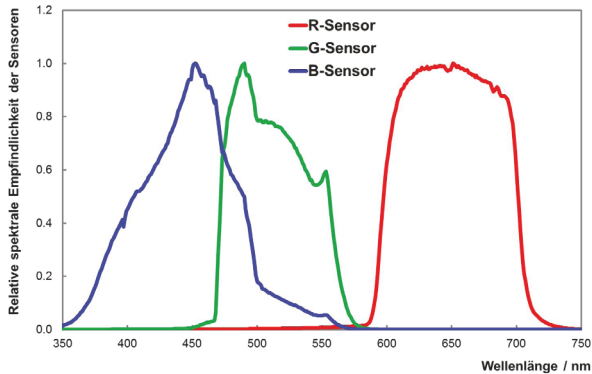


Abbildung 4: Gemessene relative spektrale Empfindlichkeit der R-, G- und B-Sensoren der Actiwatch Spectrum-Detektoren.

Hierzu wurde zunächst die spektrale Empfindlichkeit der Sensoren bestimmt. Die relative spektrale Empfindlichkeit des R-, G- und B-Sensors, ermittelt als arithmetisches Mittel der Messdaten aller 23 Actiwatch Spectrum-Detektoren, ist in Abbildung 4 dargestellt. Die maximalen spektralen Empfindlichkeiten des B-, G- und R-Sensors liegen bei 452 nm, 490 nm und 651 nm und unterscheiden

sich um wenige Nanometer von den spektralen Empfindlichkeiten, die von Price et al. [4] veröffentlicht wurden. Im Wellenlängenbereich zwischen etwa 560 nm und 595 nm sind weder der G- noch der R-Sensor empfindlich gegenüber Licht, d. h. die Actiwatch Spectrum-Detektoren erfassen die Lichtanteile dieses Spektralbereichs nicht. In Figueiro et al. [1] wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Actiwatch Spectrum-Detektoren die Emissionslinien der Leuchtstofflampen oder Hochdruck-Entladungslampen in diesem Spektralbereich nicht erfassen können.

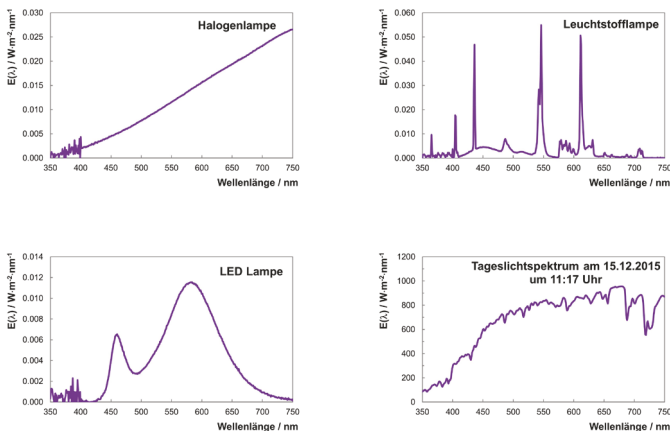


Abbildung 5: Gemessene spektrale Bestrahlungsstärken $E(\lambda)$ der für die Kalibrierung eingesetzten Quellen: Halogenlampe (Masterline PLUS, 50 W, 12 V, Philips) Leuchtstofflampe (Spiral Tageslichtlampe, 85 W, 5400 K, Proxistar) LED-Lampe (MR-16, 3 W, 12 V, 3000 K, Omnilux) Tageslicht am 15.12.2015, 11:17 Uhr, BAuA, Dortmund

Die Kalibrierung der Sensoren aller 23 Actiwatch Spectrum-Detektoren wurde anhand dreier herkömmlicher Beleuchtungsquellen – je einer Halogen-, einer Leuchtstoff- und einer warm-weißen LED-Lampe – sowie bei Tageslicht durchgeführt (Abbildung 5).

Tabelle 1 zeigt die durchschnittlichen Kalibrierungsfaktoren k_R , k_G , k_B und k_W für Actiwatch Spectrum-Detektoren dieser Lichtquellen. Die Kalibrierungsfaktoren werden hier als Quotienten des Mess- und des Sollwerts definiert. Das Signal des G-Sensors und die Actiwatch Beleuchtungsstärke weisen eine hohe Korrelation auf, und so sind auch die Messwerte der Beleuchtungsstärke systematisch höher als die Sollwerte (35 % bis 116 %).

Tabelle 1: Mittlere Kalibrierungsfaktoren für Actiwatch Spectrum-Detektoren aller eingesetzten Lichtquellen.

Lichtquelle	k_R	k_G	k_B	k_W
Tageslicht	0,98	2,2	1,11	2,16
Halogenlampe	0,99	2,15	1,23	1,77
Leuchtstofflampe	1,00	2,20	1,06	1,84
LED, warm-weiß	0,98	2,24	1,23	1,35

4. Zusammenfassung

Die Actiwatch Spectrum-Detektoren der Firma Philips Respironics erfassen nicht nur die auf $V(\lambda)$ bezogene Beleuchtungsstärke. Sie verfügen über drei Sensoren, die die Bestrahlungsstärke im roten, grünen und blauen Spektralbereich messen und sind damit grundsätzlich für die Messungen der Lichtexposition in Hinblick auf zirkadiane Wirkungen geeignet. Allerdings müssen die Detektoren für den Einsatz in einer Feldstudie entsprechend kalibriert werden.

Literatur

- [1] Figueiro, M. G.; Hamner, R.; Bierman, A. and Rea M. S.: Comparisons of three practical field devices used to measure personal light exposures and activity levels, *Light. Res. Technol.* 45(4), 421–434 (2013)
- [2] Markvart, J.; Hansen, Å. M. and Christoffersen, J.: Comparison and correction of the light sensor output from 48 wearable light exposure devices by using a side-by-side field calibration method, *LEUKOS* 11:3, 155–171 (2015)
- [3] Philips Respironics: Actiwatch Spectrum. Activity Monitor. <http://www.usa.philips.com/healthcare/product/HC1046964/actiwatch-spectrum-activity-monitor>
- [4] Price L. L. A.; Khazova, M. and O’Hagan, J. B.: Performance assessment of commercial circadian personal exposure devices, *Light. Res. Technol.* 44(1), 17–26 (2012)

Präventionsmaßnahmen für Arbeitnehmer im Freien – Schutz vor solarer UV-Strahlung

Günter Ott/Winfried Janßen//Peter Knuschke

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin//Technische Universität Dresden

Anlass

Wie die Ultraviolett-Strahlung (UV-Strahlung) von künstlichen Strahlungsquellen ist auch die natürliche UV-Strahlung im Sonnenspektrum als Karzinogen der Klasse I eingestuft (höchste Klasseneinteilung vergleichbar wie für Asbest und Tabak). Derzeit verzeichnet Deutschland jährlich ca. 240.000 Neuerkrankungen an Hautkrebs – mit steigender Tendenz. Betroffen sind in Deutschland ca. 2,5 Millionen Beschäftigte, die berufsbedingt der solaren UV-Strahlung ausgesetzt sind. Das Risiko, an einem Plattenepithelkarzinom (weißer Hautkrebs) zu erkranken, ist für ständig im Freien Beschäftigte, verglichen mit Innenbeschäftigten bzw. der Allgemeinbevölkerung, um das 1,8fache höher [1]. Für bestimmte Beschäftigtengruppen mit ständiger Tätigkeit im Freien liegen die jährlichen UV-Expositionen um das Zwei- bis Dreifache höher als für den Bevölkerungsdurchschnitt. Die UV-Werktagsexpositionen können im Sommer das Fünf- bis Zehnfache betragen [2].

Motivation

Auch wenn noch keine spezielle gesetzliche Regelung zum Schutz vor solarer UV-Strahlung bei der Arbeit getroffen ist, sollte ein pflichtbewusster Arbeitgeber seiner Verantwortung für die Sicherheit und Gesundheit seiner Beschäftigten gemäß Arbeitsschutzgesetz schon jetzt nachkommen.

Seit Januar 2015 sind das Plattenepithelkarzinom bzw. multiple aktinische Keratosen durch solare UV-Expositionen bei im Freien Beschäftigten unter BK 5103 in der Berufskrankheiten-Liste der Berufskrankheiten-Verordnung aufgeführt [3]. Diese neue Berufskrankheit hat die Notwendigkeit von effektiven Präventionsmaßnahmen in den Blickpunkt gerückt.

Im Forschungsprojekt der BAuA F 2036 wurden „Schutzkomponenten zur Reduzierung solarer UV-Expositionen bei Arbeitnehmern im Freien“ untersucht, da über die Effizienz derartiger Maßnahmen noch weitgehend Unsicherheit in der Praxis vorlag [4]. Wesentliche Ergebnisse aus diesem BAuA Forschungsprojekt zur Effektivität und Akzeptanz von UV Schutzkomponenten werden in diesem Beitrag vorgestellt.

UV-Jahreskalender

Meteorologische Untersuchungen in Deutschland zeigen, dass sich die Wirksamkeit der solaren UV-Strahlung landesweit nicht grundlegend unterscheidet. Es wurden lediglich Abweichungen von weniger als 10 % nachgewiesen. Damit sind auch die Anforderungen an Schutzkomponenten in Abhängigkeit von den prinzipiellen klimatischen Bedingungen landesweit die Gleichen.

In weiteren Untersuchungen wurde bestimmt, wie häufig in den Regionen Deutschlands Tage auftreten, an denen die Sonnenstrahlung zu hohen UV-Indexwerten führt und somit Schutzmaßnahmen für im Freien Beschäftigte ergriffen werden müssen (nach WHO ab UVI 3).

Diese Datenanalysen wurden mit Messwerten der UV-Messstationen des solaren UV-Monitoring-Netzes Deutschlands (sUVMoNet) durchgeführt. Die Messdaten wurden durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) aus dem Datenbankpool in Halbstunden-Erythemdosen der solaren UV-Expositionen für die Jahre 2000 bis 2008 zur Verfügung gestellt.

Der UV-Jahreskalender enthält Angaben zur Gefährdung auf Basis des UV-Index für den Arbeitstag an solar exponierten Arbeitsplätzen.

In Deutschland: UVI \geq 3 an 135 bis 165 Tagen

UVI \geq 5 an 60 bis 90 Tagen

UVI \geq 8 an 1 bis 10 Tagen im Jahr.

Tabelle 1: UV-Stufenkalender mit Angaben der Gefährdung auf Basis des UV-Index für den Arbeitstag an solar exponierten Arbeitsplätzen in Deutschland

Datum	Tageszeit (MESZ)	UV-Index	Witterung	Gefährdung
Januar - Mitte März	ganztäglich	< 3	auch bei Sonne	gering
Mitte März bis Mitte April	9.30 bis 16.30 Uhr	\geq 3	bei Sonne	mittel
Mitte April bis Mitte September	10.30 bis 15.30 Uhr	> 5	bei Sonne	hoch
Mitte September bis Mitte Oktober	9.30 bis 16.30 Uhr	\geq 3	bei Sonne	mittel
Mitte Oktober bis Dezember	ganztäglich	< 3	auch bei Sonne	gering

UV Schutzkonzept

In den WHO-Empfehlungen zum Globalen UV-Index [5] und in dem gemeinsamen Papier von ICNIRP, ILO und WHO zum Schutz von Arbeitnehmerern vor UV-Strahlung [6] wird die UVI-Stufe 3 genannt, ab der textiler und dermaler Lichtschutz angewendet werden soll. Welche Güte der UV-Schutz haben sollte, wird nicht angeführt. Deshalb wurde ein Schutzkonzept entwickelt, das mindesterforderliche UV-Schutzfaktoren für die Haut durch technische Maßnahmen, textilen Sonnenschutz (UPF) sowie für Sonnenschutzcreme (LSF) beinhaltet (Tab. 2).

Das ICNIRP-Schutzkonzept für Arbeitsplätze mit Expositionen durch künstliche UV-Strahlenquellen geht davon aus, dass UV-Expositionen von weniger als einem Drittel der Schwellwertdosis der Akutreaktionen an Augen und Haut über die 8-Stunden-Arbeitsschicht zu keinen chronischen Folgen führt – auch nicht bei regelmäßig arbeitstäglicher Wiederholung. Der auf diesem Sicherheitskonzept beruhende Grenzwert-Grundsatz für maximal zulässige Bestrahlungen durch künstliche UV-Strahlenquellen am Arbeitsplatz über 8 Stunden Arbeitszeit [7] wurde im Wesentlichen auch in die EU-Richtlinie zum Schutz von Arbeitnehmerern vor künstlicher optischer Strahlung für die UV-Strahlung übernommen [8].

Im Rahmen des Vorhabens wurde – in Anlehnung an dieses ICNIRP-Schutzkonzept – für solar exponierte Arbeitsplätze ein Konzept mindesterforderlicher UV-Schutzfaktoren für die Haut für eine Arbeitsschicht entwickelt. Einfließende Faktoren waren die maximal möglichen solaren UV-Expositionen an Außenarbeitsplätzen über eine Arbeitsschicht in Deutschland (aus den sUVMoNet-Datenanalysen). Weiterhin wurden die Körperverteilung der solaren UV-Exposition und die unterschiedlichen UV-Empfindlichkeiten der Haut für die verschiedenen Körperregionen berücksichtigt.

Somit bestehen nun Anforderungen zu geeigneten UV-Schutzkomponenten.

Tabelle 2: Mindesterforderliche UV-Schutzfaktoren am Arbeitsplatz im Freien zur Reduzierung der Risiken für die Haut bezüglich akuter oder chronischer Schädigungen durch solare UV-Strahlung in Deutschland

	Gesicht	Schulter	Brust / Rücken	Ober- / Unterarm	Ober- / Unterschenkel
	-SPF-	-UPF-	-UPF-	-UPF-	-UPF-
Normalschicht 07-15 MESZ – 8 h	> 20	> 50	> 20	> 15	> 6
Spätschicht 14-22 MESZ – 8 h	> 10	> 25	> 10	> 10	> 6
12-Stunden-Schicht 06-18 MESZ	> 20	> 60	> 20	> 15	> 6






Effektivität individueller Schutzkomponenten zur Reduktion der solaren UV-Exposition auf Augen und Haut am Arbeitsplatz

Da in vielen Fällen organisatorische und technische Schutzmaßnahmen nicht in erforderlichem Umfang die solare UV-Exposition reduzieren oder nicht anwendbar sind, sind individuelle UV-Schutzkomponenten bei Überschreiten eines UV-Index von 3 unumgänglich:

- textiler UV-Schutz der Haut – insbesondere für den Oberkörper
- Kopfbedeckungen (Mütze/Hut bzw. Schutzhelm)
- Sonnenschutzcreme für nichtbedeckte Hautareale mit mindestens LSF 30
- Sonnenschutzbrille.

In umfangreichen Laboruntersuchungen und Feldversuchen wurde für die o. g. individuellen UV-Schutzkomponenten die Effektivität messtechnisch bestimmt. Weiterhin wurden der Tragekomfort und damit die Akzeptanz am Arbeitsplatz in Kurzzeittests von ein bis zehn Tagen sowie in 18 Wochen über eine Sommersaison ermittelt. In Tabelle 3 sind für T-Shirt/Poloshirt als Oberbekleidung die UV-Schutzfaktoren UPF nach UV-Standard 801 fabrikneu und nach 18 Wochen Einsatz am Arbeitsplatz sowie die (Noten)-Bewertung des Tragekomforts für fünf der zehn Modelle dargestellt.

Tabelle 3: T-Shirts/Poloshirts verschiedener Textilmaterialien: UV-Schutzfaktor UPF fabrikneu und nach 18 Wochen Nutzung am Arbeitsplatz im Freien sowie individuell bewerteter Tragekomfort

Oberbekleidung als UV-Schutzkomponente		
T-Shirt-Material – Tragekomfort (Note) und UV-Schutzfaktor (UPF)		
(UPF: gemäß Hersteller / gemessen neu / gemessen nach 18 Wochen Nutzung)		
<p>Modell 1</p>  <p>Note: 3,8</p> <p>100 % PES (UPF 40 / 40 / 80)</p>	<p>Modell 2</p>  <p>Note: 4,0</p> <p>100 % PES (UPF 15 / 15 / 15)</p>	<p>Modell 5</p>  <p>Note: 2,1</p> <p>100 % BW (ohne UPF / 20 / >30)</p>
<p>Modell 3</p>  <p>Note: 2,7</p> <p>100 % PES (UPF 40+ / >40 / >80)</p>	<p>Modell 4</p>  <p>Note: 3,0</p> <p>100 % PES (weiß: UPF 60+ / 80 / >80) (dk blau: UPF 40+ / 40 / 40)</p>	<p>Entwicklungs- muster mit sehr hohem UPF</p>

Fazit

Hinsichtlich der Wirksamkeit der solaren UV-Strahlung gelten nahezu deutschlandweit vergleichbare Bedingungen. Damit sind auch die möglichen Schutzmaßnahmen organisatorischer, technischer und individueller Art deutschlandweit vergleichbar. Für Schutzkomponenten zur Reduzierung solarer UV-Expositionen bei Arbeitnehmern im Freien sollten nachstehende Punkte beachtet werden:

- UV-Indexprognosen in die Arbeitsplanung einbeziehen. Ab UVI 3 Schutzmaßnahmen anwenden
- Soweit es möglich und praktikabel ist, sollten abschattende Maßnahmen am Arbeitsplatz realisiert werden. Die Wirksamkeit ist zu überprüfen
- Der präventive Schutz vor solaren UV-Expositionen am Arbeitsplatz muss durch individuelle Schutzkomponenten komplettiert werden
- In Deutschland und Mitteleuropa ist der textile UV-Schutz typischer Oberbekleidung ausreichend. Spezielle berufliche UV-Schutzkleidung ist aber bei Arbeitsaufenthalten in äquatornäheren Regionen angezeigt
- Hüte und Mützen als Kopfbedeckungen zeigen deutliche Effektivitätsunterschiede, insbesondere zum Schutz der Haut im Wangen-, Ohr- und Nackenbereich
- Standard-Schutzhelme bieten nur im Stirnbereich einen gewissen Schutz für Haut und Augen. Helme mit umlaufendem Schutzrand würden bei ausreichender Breite aber einen guten Schutz für Hals, Nacken und Ohren bieten.

Zu individuellen UV-Schutzkomponenten kann konstatiert werden:

- Individuelle UV-Schutzkomponenten

Oberkörperbekleidung + Hosen + Kopfbedeckung + Sonnenschutzbrille sind effizient.

Individuelle UV-Schutzkomponenten müssen nicht teuer sein, aber konsequent angewendet werden!

Literatur

- [1] Schmitt, J., Seidler, A., Diepgen, TL., Bauer, A.,: Br J Dermatol 2011 164(2):291–307).
- [2] Knuschke, P., Unverricht, I., Ott, G., Janßen, M.: Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien. Dortmund/Berlin/Dresden: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2007, Forschung F 1777; ISBN 978-3-88261-060-4.
- [3] BKV: Berufskrankheiten-Verordnung vom 31. Oktober 1997 (BGBl. I S. 2623), zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 22. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2397) geändert.
- [4] Knuschke, P., Unverricht, I., Ott, G., Janßen, M., Mersiowsky, K., Püschel, A., H. Rönsch: Schutzkomponenten bei solarer UV-Exposition. 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2015. ISBN: 978-3-88261-154-0, Projektnummer: F 2036.

- [5] Global Solar UV Index – A Practical Guide. A joint recommendation of WHO, WMO, UN Environment Programme and ICNIRP (ISBN 92 4 159007 6, NLM classification: QT 162.U4, Marketing and Dissemination, World Health Organization, 20 Avenue Appia, 1211 Genf 27, Schweiz (2002).
- [6] Protecting workers from ultraviolet radiation. Editors: Vecchia P, Hietanen M, Stuck BE, van Deventer E, Niu S. ICNIRP14, ISBN 978-3-934994-07-2: pp.19.
- [7] International Commission for Nonionizing Radiation Protection: Guidelines on limits to exposure of Ultraviolet radiation of wavelength between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). Health Physics 87:171–186.
- [8] Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) (ABl. Nr. L 114 vom 27.4.2006, S. 38–59.

Melatonin-Suppression: Vergleich von Patienten mit einer Bipolar-I-Störung und gesunden Kontrollprobanden

Philip Ritter

Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden

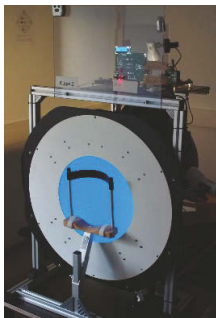
Problemstellung und Forschungsfragen

Im Rahmen des BMBF NivIL Projektes werden die Auswirkungen von rotem und blauem LED Licht auf den Melatoninspiegel und das EEG von Patienten mit einer Bipolar-I Erkrankung und gesunden Kontrollpersonen untersucht. 116 Personen nahmen an der Voruntersuchung teil, 35 Personen mit einem mittleren Alter von 44 Jahren und einer diagnostizierten Bipolar-I-Störung wurden in die Studie eingeschlossen. Die Vergleichsgruppe umfasste 57 gesunde Personen mit einem mittleren Alter von 39 Jahren.

Forschungshypothesen

Die blaue Lichtbedingung (475 nm) führt zwischen 23–23.30 Uhr zu einem signifikant stärkeren Anstieg der Vigilanz (Alpha- zu Theta-Wellen Verhältnis im EEG) im Vergleich zu rotem Licht (624 nm) mit gleicher Photonenzahl. Es wird eine erhöhte Melatoninunterdrückung bei den erkrankten Personen durch blaues Licht im Vergleich zu gesunden Kontrollen erwartet.

Versuchsaufbau



Für die Probanden begann der Versuchsabend um 18 Uhr mit einer Standardmahlzeit, anschließend wurden die EEG Elektroden angelegt (C3, O1, F3, A2 sowie Cz und GND). Die Ableitung erfolgte mit 256 Hz Abtastrate mittels eines Somnotouch-Geräts von Somnomedics. Ab 20 Uhr wurde das Licht auf ca. 2 lux gedimmt. Um 21 Uhr erhielten die Probanden ein Mydriatikum, anschließend wurde mittels einer Augenklappe völlige Dunkelheit erzeugt. Blutproben für den Melatoninwert wurden um 21, 22, 23, 23 und 00 Uhr genommen. Musik hören und Hörbücher waren für die Probanden möglich, der Wachheitszustand wurde regelmäßig überprüft. Die Lichtexposition wurde von 23–23:30 Uhr durchgeführt.

Die Photonenzahl betrug $1,6 \cdot 10^{13}$ Photonen pro Sekunde und cm^2 . Es wurden LEDs mit den Peakwellenlängen von 475 nm (blau) und 624 nm (rot) genutzt, es ergeben sich Helligkeiten am Auge des Probanden von 8 lux für blau und 9,2 lux für rot.

Ergebnisse im Vergleich mit bisherigen Ergebnissen

Aufgrund der sehr großen Datenmenge war eine Auswertung der Melatoninkonzentrationen und EEG-Daten bis zum Zeitpunkt der Einreichung der Beiträge nicht möglich.

Einfluss von Lichtspektren auf die Ausschüttung des Stressparameters Cortisol

Katja Petrowski

Deutsche Sporthochschule Köln

Hintergrund

Durch die Entwicklung neuartiger Leuchtmittel wie der light emitting diode (LED) ist es möglich, Licht mit nahezu beliebigen Spektren zu erzeugen. Deren Wirkung auf die Gesundheit und durch chronischen Stress hervorgerufene pathologische Prozesse ist noch unbekannt. Hierbei ist besonders Cortisol, als zentraler Bestandteil der Stressverarbeitung und -regulation, von besonderem Interesse. Im Rahmen dieser Studie soll die Wirkung von verschiedenen Lichtspektren auf das Stresshormon Cortisol unter standardisierten Bedingungen untersucht werden.

Methode

94 gesunde männliche Probanden im Alter von 19–32 Jahren werden einmalig einer zweistündigen Lichtexposition durch LEDs ausgesetzt. Es werden vier Lichtspektren (blau, rot, grün & weiß/gelb) mit jeweils gleicher Photonendichte untersucht. Die Einteilung der Probanden zu den Bedingungen erfolgt randomisiert. Der Zeitpunkt der Exposition liegt entsprechend des zirkadianen Rhythmus im nachmittäglichen Plateau des Parameters Cortisol.

Ergebnisse

Erste deskriptive Studienergebnisse ($n=40$) deuten auf einen Einfluss der Lichtexposition auf die Cortisolkonzentration im Serum hin. Es konnte ein höchst signifikanter Zeiteffekt der vier Lichtbedingung festgestellt werden ($F= 9,62$, $p= .000^{***}$) jedoch kein Interaktions- ($F=.735$, $p= .718$) oder Farbeffekt ($F= 1,59$, $p= .207$). Auch ein Vergleich des Deltas zwischen den Messzeitpunkten L-1 und L+15 ($F= ,471$, $p= .704$) sowie die AUC_G ($F= 1,53$, $p= .222$) weisen keine signifikanten Unterschiede auf.

Diskussion

Die vorläufigen Ergebnisse deuten darauf hin, dass LED-Licht auch tagsüber einen Einfluss auf die Ausschüttung des Stresshormons Cortisol hat und die untersuchten Lichtspektren bei gleicher Photonendichte unterschiedliche Wirkungen erzielen. Die Ergänzung der bestehenden Stichprobe auf die angestrebten 94 Probanden wird Aufschluss darüber geben, ob die deskriptiven Trends auch mit Hilfe von statistischen Verfahren belegt werden können. Dies ist besonders relevant, da Ergebnisse anderer Studien mit geringem Probandenkollektiv keine Auswirkung des LED-Lichtes auf den Parameter Cortisol am Tag feststellen konnten.



Einfluss von Spektrum, Bestrahlungsstärke und Alter auf die Melatonin-Suppression

H. Piazena, L. Franke, A. Nasert, B. Weller, R. Uebelhack, Th. Penzel, I. Fietze
Charité, Interdisziplinäres Schlafmedizinisches Zentrum, Berlin

Der Beitrag präsentiert Ergebnisse einer experimentellen Untersuchung der abendlichen Melatoninsuppression in Abhängigkeit der Expositionsbedingungen und individueller Variabilität, die im Rahmen des Verbundprojektes NIVIL an gesunden Probanden mit freier Pupillenadaptation im Alter von 18–70 Jahren unter Verwendung von Weißlicht-LED mit unterschiedlichen Spektren und Bestrahlungsstärken im Vergleich zur Exposition mit blauem, grünem und blau/rot-kombiniertem LED-Licht vorgenommen wurden.

Zur Gewährleistung einer exakten Bewertung der angewandten Spektren und Bestrahlungsstärken wurden ein Doppelmonochromator-Spektralradiometer (Typ: OL-754) mit Rückführbarkeit der Kalibrierprozedur auf NIST sowie ein Luxmeter (Typ: MINILUX) eingesetzt und miteinander verglichen. Die Expositionen erfolgten unter Ausleuchtung der gesamten Retina bei zeitlich konstanter Bestrahlung. Die Testungen wurden von 19:30–23:30 Uhr mit sequentiellen Blutabnahmen in 60-, 30- bzw. 20 min-Intervallen zur Bestimmung der Melatoninkonzentration im Blutplasma durchgeführt. Die Lichtapplikation erfolgte in der Phase des Melatoninanstieges (22–23 Uhr) nach einer vorausgegangenen Dunkelphase (20–22 Uhr). In die Untersuchungen wurden ausschließlich Personen mit Fähigkeit zur Melatoninsuppression durch Licht (Responder) einbezogen.

Der hierzu erfolgte Eignungstest zeigte starke und schwache Melatoninbildner mit Anstiegen über und unter 50 pg/ml und signifikanten Unterschieden zwischen Männern und Frauen in der Gruppe der schwachen Melatoninbildner. Bezüglich der lichtinduzierten Melatoninsuppression differenzierten sich die Responder weiter, sowohl hinsichtlich der circadian effektiven Bestrahlungsstärke beginnender Suppression als auch des Erreichens des Sättigungsbereiches. Diese individuelle Variabilität verdeckte die erwarteten Alterseffekte. Die gefundenen Zusammenhänge zwischen Melatoninsuppression und Alter waren daher nur schwach korreliert und nichtsignifikant. Nach den vorliegenden (ersten) Daten resultieren abendliche Lichtexpositionen bei voller Retinaausleuchtung mit circadian gewichteten Bestrahlungsstärken $E_c \geq 0.3 \text{ W m}^{-2}$ nach 60 Minuten im Mittel in einem Abfall der Melatoninkonzentration auf etwa 60 % des Ausgangswertes, während der Sättigungsbereich auch bei Verdopplung der Bestrahlungsstärke nur von wenigen Probanden erreicht wurde.

Im Vergleich zur Bestrahlung mit weißem Licht gleicher circadian effektiver Bestrahlungsstärke resultierte die Anwendung blauen und grünen Lichtes bei allen Probanden

unter den Bedingungen freier Pupillenadaptation in einer deutlichen Drosselung des Suppressionsprozesses. Dieser Effekt wurde im Fall der Kombination von blauem und rotem Licht noch verstärkt. Die Hypothese uneingeschränkt anwendbarer Additivität spektral gegebener Lichtwirkungen auf den Prozess der Melatonininsuppression ist daher zu verwerfen.

Scoping Review zum Einfluss der Beleuchtung auf Faktoren der psychischen Gesundheit in der Arbeitswelt

Jan Krüger

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Das Scoping Review identifiziert mögliche Zusammenhänge zwischen dem Arbeitsumgebungsfaktor Beleuchtung und Faktoren der psychischen Gesundheit. Künstliche und natürliche Beleuchtung rufen im Wesentlichen zwei Wirkungen hervor, welche mittelbar oder unmittelbar für die psychische Gesundheit wirksam werden können. Mittelbar können Lichtumgebungen über die visuelle Wahrnehmung (visueller Wirkungspfad) Einfluss nehmen. Zusätzlich können sich nicht-visuelle Lichtwirkungen unmittelbar auf Psyche und Verhalten auswirken.

1. Hintergrund

Neue Lampen- und Leuchtentechnologien sowie der Nachweis eines neuen Fotorezeptors (Brainard et al. 2001; Thapan et al. 2001) mit einer direkten Verbindung zur inneren Uhr des Menschen bewirken einen Wandel in der Beleuchtung von Arbeitsstätten. LEDs und OLEDs eröffnen neue Möglichkeiten der Gestaltung. Dazu gehören z. B. die Veränderbarkeit von spektraler Zusammensetzung, Dimmzustand oder Direkt-/Diffusanteil. In der Folge kommen in Arbeitsstätten zunehmend dynamische und biologisch wirksame Beleuchtungssysteme zum Einsatz (Krüger 2014). Begünstigt wird die Verbreitung dieser neuen Technologien durch die gestiegenen Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV).

Dabei sollte berücksichtigt werden, dass die LED charakteristische Merkmale besitzt, die sie deutlich von den klassischen Lampen- und Leuchtentechnologien unterscheidet (CIE 205:2013). Beispielsweise kann die Erkenntnislage zum Sehkomfort und den damit verbundenen Beschwerden nicht ohne weiteres von den klassischen Lampen- und Leuchtentechnologien auf die LED übertragen werden. Demgegenüber zeigen neue Erkenntnisse über nicht-visuellen Wirkungen des Lichts die Bedeutung der Beleuchtung für Physiologie und Verhalten. Licht ist der wichtigste Zeitgeber für die innere Uhr und dem damit verbundenen circadianen System.

Gemeinsam mit diesem Wandel in der Beleuchtung von Arbeitsstätten müssen Veränderungen in der Arbeitswelt Berücksichtigung finden. Die Entwicklung zur „Innenraumgesellschaft“ führt dazu, dass Menschen heute bis zu 92 % ihrer Lebenszeit im Innenraum verbringen (Hammer 2013). In der Folge zeigt sich eine tendenzielle Zunahme künstlicher Beleuchtungsexposition und Lichtexposition durch leuchtende Geräte (Tablet, eReader, Smartphone). Demgegenüber reduziert sich die Exposition mit natürlichem Tageslicht (Smolders et al. 2013). Der Trend zur 24-Stunden-Gesellschaft tritt mit einer

Zunahme von Schicht- und Nachtarbeit in Erscheinung. In der Folge steigt die Lichtexposition in der Nacht, welche mit Risiken für die Gesundheit verbunden sein kann (Stevens et al. 2013). Die Auswirkungen dieser Veränderungen sind in ihrer Bedeutung für Psyche und Verhalten bislang ungeklärt. Darüber hinaus sind Verbindungen zwischen Licht und Psyche in der wissenschaftlichen Community selten diskutiert (de Kort & Veitch 2014).

2. Methode

Die Recherche nach relevanter Literatur erfolgte über die Literaturdatenbank ScienceDirect. Die Suche in der Datenbank ergab eine Gesamttrefferzahl von 2.265 Studien. Bei der Entwicklung der Suchstrings wurden zwei separate Suchstrings für die unterschiedlichen Wirkungspfade erstellt. Forschungsergebnisse zu den nicht-visuellen Lichtwirkungen stammen aus den Bereichen Chronobiologie, Neurobiologie, Schlafforschung, Forschungsergebnisse zur visuellen Wahrnehmung/Beleuchtung eher aus den Bereichen Ingenieurwissenschaft, Psychologie und Arbeitswissenschaft. Die Separation der Wirkungspfade in getrennten Suchstrings ermöglichte eine bessere Fokussierung auf die jeweiligen Forschungsdisziplinen und resultierte in einer reduzierten Trefferzahl für beide Wirkungspfade.

Für den visuellen Wirkungspfad ergaben sich ca. 700 Treffer, welche hinsichtlich des Suchzeitraums nicht weiter eingeschränkt wurden. Bei Studien zum nicht-visuellen Wirkungspfad ergaben sich ca. 800 Treffer. Die Literatursuche für die nicht-visuellen Wirkungen wurde auf einen Zeitraum ab 2001 eingeschränkt, da sich mit der Entdeckung des blauempfindlichen Fotorezeptors die Studienlage sowie das Verständnis über physiologische Zusammenhänge und zu berücksichtigende Störgrößen erheblich verbesserte. Eine stichprobenartige Analyse von Studien vor 2001 zeigte mehrheitlich unberücksichtigte Störgrößen und damit verbundene Fehlinterpretationen. Im Rahmen der Datenextraktionsphase wurden insgesamt 44 Studien endgültig eingeschlossen.

3. Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt mögliche Zusammenhänge zwischen Merkmalen der Beleuchtung und Faktoren der psychischen Gesundheit. Neben den klassischen Aspekten der visuellen Wahrnehmung (visueller Wirkungspfad) beinhaltet die Grafik einen nicht-visuellen Wirkungspfad sowie Zusammenhänge zu den nicht über das Auge vermittelten Wirkungen.

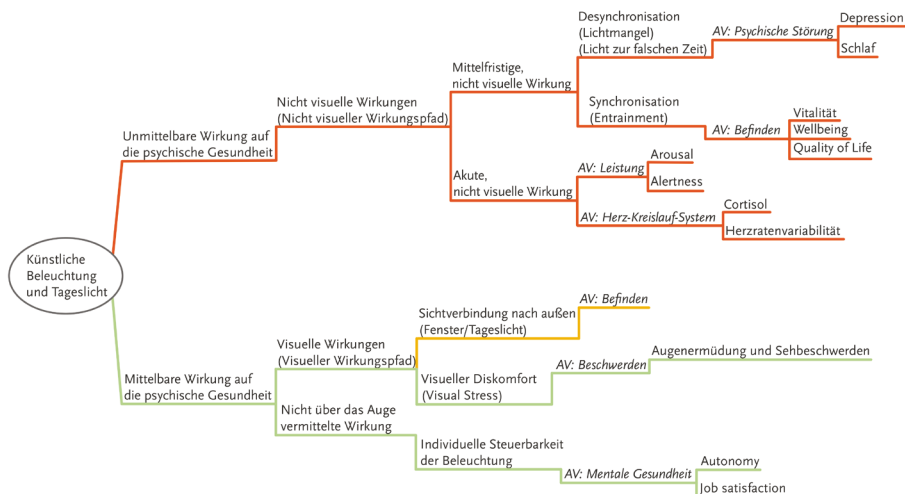


Abbildung 1: Mögliche Verbindungen zwischen der Beleuchtung und den abhängigen Faktoren der psychischen Gesundheit

3.1 Ergebnisse zum nicht-visuellen Wirkungspfad

Medizinische und biologische Studien der letzten Jahre haben gezeigt, dass die Beleuchtung in Arbeitsstätten die innere Uhr und damit verbundene circadianen Rhythmen beeinflussen kann. Aus der Definition der nicht-visuellen Lichtwirkungen (auch melano-pische Lichtwirkungen) in DIN SPEC 5031-100 (DIN 2011) geht ein direkter Einfluss auf Physiologie und Verhalten hervor.

Hinsichtlich des nicht-visuellen Wirkungspfades müssen akute Wirkungen auf Herz-Kreislauf-System und Leistung von mittelfristigen (circadianen) Wirkungen (Synchronisation, Desynchronisation) getrennt werden.

Mittelfristig können Beleuchtungsbedingungen Einfluss auf Schlaf-Wach-Rhythmus, Befinden und psychische Störungen haben. Eine starke Verbindung zum psychischen Einfluss von Licht stellen medizinische Studien der Lichttherapie her. Generell herrscht Einigkeit über die Wirksamkeit der Lichttherapie zur Behandlung von saisonalen und nicht saisonalen depressiven Symptomen (Terman 2006).

Das Review greift medizinische Studien mit klinischen Populationen auf, weil sich bei der Wirkung von Licht auf Schlaf und Befinden in abgeschwächter Form ähnliche Trends der Lichtwirkung zeigen. Dennoch sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Übertragbarkeit der Wirkung von Lichttherapie auf gesunde Beschäftigte fragwürdig ist.

Für die Wirkung der Beleuchtung auf den Schlaf-Wach-Rhythmus kann festgehalten werden, dass das Schlaftiming durch die individuelle Lichtexposition mitbestimmt wird (Kantermann 2013). Weiterhin zeigt sich ein positiver Trend zwischen der Lichtexposition in den Tagesstunden und der Schlafqualität bzw. Einschlafdauer (Hubalek et al.

2010; Iwata et al. 2003; Aries 2005). Demgegenüber ist die Lichtexposition mit höheren Blauanteilen am Abend und in der Nacht mit schlechterem Schlaf und einer Störung der inneren Uhr assoziiert (Kozaki et al. 2005). Es wird deutlich, dass die Beleuchtung je nach Expositionszeitpunkt eine Anpassung (Synchronisation) oder Störung des circadianen Systems hervorrufen kann. Für die Synchronisation spielt die Beleuchtung in den Morgenstunden eine bedeutendere Rolle als das Licht in den Mittagsstunden. Die Studien des Reviews deuten darauf hin, dass Personen mit einer höheren täglichen Lichtdosis höhere Vitalitätslevel aufweisen (Smolders et al. 2013), wohingegen sich bei geringen Beleuchtungsniveaus ein Trend zu chronischer Müdigkeit zeigt.

Hinsichtlich der akuten Wirkungen der Beleuchtung belegt eine Vielzahl von Studien die aktivierende Wirkung von hellem und blau angereichertem Licht. Die aktivierende Wirkung bezieht sich dabei auf kognitive Effekte der Aufmerksamkeit, der exekutiven Funktion und der Gedächtnisleistung (Cajochen 2007). Gestützt werden diese Erkenntnisse durch Neuroimaging-Studien, in denen gezeigt werden konnte, dass Gehirnreaktionen sich in Abhängigkeit der Wellenlänge und Lichtintensität verändern (Vandewalle et al. 2009). Die Studien lassen insgesamt den Schluss zu, dass die mit intensivem Licht erhöhte Aktivierung nicht nur die Sehleistung, sondern generell die Arbeitsleistung erhöht. Ähnliche akute Effekte der Lichtexposition zeigen sich in der Wirkung auf das Herz-Kreislauf-System. Neben dem Einfluss von Licht auf das Cortisollevel (Jung et al. 2010) sind Wirkungen auf die Herzrate, den Blutdruck und die Herzratenvariabilität dokumentiert.

3.2 Ergebnisse zum visuellen Wirkungspfad

Eine Brücke zwischen dem visuellen und nicht-visuellen Wirkungspfad stellt die Sichtverbindung nach außen her. Erkenntnisse zu den nicht-visuellen Wirkungen (z. B. Synchronisation und Stabilisierung der inneren Uhr durch Tageslicht) zeigen enge Verbindungen zur psychischen Gesundheit und können auch für das Merkmal Sichtverbindung Bedeutung haben. Die Studien zur Sichtverbindung nach außen geben erste Hinweise darauf, dass das Tageslicht und die Sichtverbindung nach außen mit positiven Effekten für das Befinden verbunden sein können. Die Studienlage ist jedoch noch nicht abschließend gesichert (Aries et al. 2015). Im Vergleich zu Dachoberlichtern oder Tageslichtleitsystemen ohne Sichtverbindung zeigt sich die positive Wirkung von Tageslicht im Innenraum deutlicher in Kombination mit einer Sichtverbindung nach außen. Darüber hinaus erzeugen Fenster eine Verbundenheit zur Außenwelt, geben Informationen über Tageszeit, Wetter, saisonale Veränderungen und reduzieren Gefühle von Enge (Veitch 2011). Fenster können die Augengesundheit unterstützen, indem die Möglichkeit zur Weitfokussierung gegeben und vorübergehender Kurzsichtigkeit entgegengewirkt wird (Gobba et al. 1988).

Neben diesen positiven Aspekten kann die Sichtverbindung auch ein Auslöser für Beschwerden sein. Diese können auftreten, wenn die Sichtverbindung Blendung oder kli-

matische Probleme hervorruft. An dieser Stelle zeigt sich die Verbindung zu den Mechanismen des Sehkomforts. Künstliche und natürliche Beleuchtung können psychische Beanspruchungen hervorrufen, wenn die Aufnahme, Verarbeitung und Umsetzung visueller Information vermindert oder behindert wird. Auslöser für diese Beschwerden sind in erster Linie die Erschwerung der Sehaufgabe, Reizüberflutung/Reizarmut, Ablenkung oder Irritation (Boyce 2003). In diesem Fall spricht man von visueller Ermüdung bzw. visuellem Diskomfort. Dieser Zustand kann durch zerebrale Beschwerden, Augen- und Sehbeschwerden gekennzeichnet sein (asthenopische Beschwerden).

3.3 Ergebnisse zu den nicht über das Auge vermittelten Wirkungen

Nicht zuletzt soll auf die individuelle Steuerbarkeit als Ressource des Handlungs- und Entscheidungsspielraums aufmerksam gemacht werden. Sie kann als eine eher untergeordnete Ressource des Handlungs- und Entscheidungsspielraums angesehen werden, wobei die individuell einstellbare Beleuchtung gegenüber fremdgesteuerten Beleuchtungsbedingungen im Allgemeinen bevorzugt wird (Vischer 2007). Hierbei sollte jedoch berücksichtigt werden, dass subjektive Beleuchtungspräferenzen nicht unbedingt im Einklang mit den Anforderungen an Sehleistung und Sehkomfort stehen müssen und daher auch eine Ursache für visuellen Diskomfort darstellen können.

4. Diskussion

Angesichts methodischer Schwächen wie der fehlenden Harmonisierung von Forschungsansätzen oder dem Fehlen von Langzeituntersuchungen lassen sich die Studien des Scoping Reviews nur schwer zu einem konsistenten Wirkungsgefüge zusammenfassen. In Studien zum nicht-visuellen Wirkungspfad sind wichtige Einfluss- bzw. Störgrößen – etwa Art und Dauer der Lichtexposition, individuelle Lichthistorie, Level der Schlafdeprivation oder individuelle circadiane Phase – oft unterschiedlich operationalisiert, verschieden ausgeprägt oder im Studiendesign nicht berücksichtigt. Die reliable Erhebung von Kriteriumsvariablen wie z. B. visueller Diskomfort, Leistung oder Aufmerksamkeit ist aufgrund oft nur subjektiv erhobener Maße beeinträchtigt. Vor diesem Hintergrund und angesichts weiterer methodischer Einschränkungen (zum Beispiel nicht-repräsentative Stichproben, komplexe Wechselwirkungen zwischen visuellem und nicht-visuellem Wirkungspfad) ist derzeit die Ableitung belastbarer Aussagen für Zusammenhänge zwischen Merkmalen der Beleuchtung und Faktoren der psychischen und physischen Gesundheit zum Teil noch nicht möglich.

Die Ergebnisse des Scoping Reviews deuten dennoch auf eine nicht zu vernachlässigende Rolle der Beleuchtung für psychische Faktoren. Es zeigt sich, dass sich insbesondere die nicht-visuellen Wirkungen unmittelbar auf Psyche und Verhalten auswirken können. Der Forschungsbedarf und die Relevanz der hier dargestellten Wirkungszusammenhänge können aus den eingangs genannten Veränderungen in der Arbeitswelt und aus dem Wandel der Beleuchtung abgeleitet werden. Die Verbreitung dynamischer Beleuch-

tungssysteme sowie der flächendeckende Einsatz von LED vor dem Hintergrund gesteigerter Energieanforderungen bei gleichbleibenden Anforderungen des Arbeitsschutzes sind mit ihren Auswirkungen auf psychische Aspekte des Sehkomforts und der nicht-visuellen Lichtwirkung weitestgehend unberücksichtigt. Auch die Entwicklung zur „Innenraum- und 24-Stunden-Gesellschaft“ sollten in ihren Auswirkungen auf psychische Faktoren des nicht-visuellen Wirkungspfades nicht unberücksichtigt bleiben.

Das vollständige Scoping Review kann kostenfrei auf der Website der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin heruntergeladen werden:

<http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Projekt-Psych-Gesundheit/Projekt.html>

5. Literatur

- [1] Aries M B C (2005) Human Lighting Demands: Healthy Lighting in an Office Environment. Department of Architecture, Building and Planning. Eindhoven Technische Universiteit Eindhoven.
- [2] Aries M B C, Aarts M P J & van Hoof J (2015) Daylight and health: A review of the evidence and consequences for the built environment. *Lighting Research and Technology*, 47(1): 6–27.
- [3] Boyce P R (2003) Human Factors in Lighting, New York: Taylor and Francis Group.
- [4] Brainard G C, Hanifin J P, Greeson J M, Byrne B, Glickman G, Gerner E, Rollag M D (2001) Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. *The Journal of Neuroscience*, 21(16): 6405–6412.
- [5] Cajochen C (2007) Alerting effects of light. *Sleep Medicine Reviews*, 11: 453–464.
- [6] CIE 205:2013 (2013) Review of Lighting Quality Measures for Interior Lighting with LED Lighting Systems. Wien: International Commission on Illumination.
- [7] de Kort YAW & Veitch JA (2014) From blind spot into the spotlight: Introduction to the special issue ‘Light, lighting, and human behaviour’. *Journal of Environmental Psychology*, 39(0): 1–4.
- [8] DIN (2011) DIN SPEC 5031-100:2011, Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik - Teil 100: Über das Auge vermittelte, nichtvisuelle Wirkung des Lichts auf den Menschen - Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren. Berlin: Beuth.
- [9] Gobba F M, Brogna A, Sarti R, Luberto F, Cavalleri A (1988) Visual fatigue in video display terminal operators: objective measure and relation to environmental conditions. *Int Arch Occup Environ Health*, 60(2): 81–87.
- [10] Hammer R (2013) Tageslichtarchitektur - Planungsempfehlungen auf photobiologischer Grundlage. 1. Praxisforum zur Wirkungen des Lichtes auf den Menschen – BioWi. Weimar: Bauhaus Weiterbildungsakademie Weimar e.V.
- [11] Hubalek S, Brink M, Schierz C (2010) Office workers’ daily exposure to light and its influence on sleep quality and mood. *Lighting Research and Technology*, 42(1): 33–50.
- [12] Iwata T, Hasebe T, Kubota M (2003) Study on exposed illuminance in daily life and circadian rhythm. CIE 25th Session. San Diego: CIE.

- [13] Jung C M, Khalsa S B S, Scheer F A J L, Cajochen C, Lockley S W, Czeisler C A, Wright K P, Jr (2010) Acute effects of bright light exposure on cortisol levels. *Journal of Biological Rhythms*, 25(3): 208–216.
- [14] Kantermann T (2013) Circadian Biology: Sleep-Styles Shaped by Light-Styles. *Current Biology*, 23(16): R689–R690.
- [15] Kozaki T, Kitamura S, Higashihara Y, Ishibashi K, Noguchi H, Yasukouchi A (2005) Effect of color temperature of light sources on slow-wave sleep. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, 24(2): 183–186.
- [16] Krüger J (2014) Context Aware Lighting Systems for Workplaces: Eine Literatur-Review. 60. Frühjahrskongress der GfA - Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft: 67–69.
- [17] Smolders K C H J, de Kort Y A W, van den Berg S M (2013) Daytime light exposure and feelings of vitality: Results of a field study during regular weekdays. *Journal of Environmental Psychology*, 36(0): 270–279.
- [18] Stevens R G, Brainard G C, Blask D E, Lockley S W, Motta M E (2013) Adverse Health Effects of Nighttime Lighting - Comments on American Medical Association Policy Statement. *American Journal of Preventive Medicine*, 45(3): 343–346.
- [19] Terman M (2006) Review: light therapy is an effective treatment for seasonal affective disorder. *Evid Based Ment Health*, 9(1): 21.
- [20] Thapan K, Arendt J, Skene D J (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.
- [21] Vandewalle G, Maquet P, Dijk D J (2009) Light as a modulator of cognitive brain function. *Trends Cogn Sci*, 13(10): 429–438.
- [22] Veitch J A (2011) Workplace design contributions to mental health and well-being. *Healthc Pap*, 11 No: 38–46.
- [23] Vischer J C (2007) The effects of the physical environment on job performance: towards a theoretical model of workspace stress. *Stress and Health*, 23(3): 175–184.

Effekte von blauem Licht auf Somatosensorik und neuropathischen Schmerz

Christian Maihöfner/Max Florian Bartels//Marco Schröter/Robert Scholl
Klinik für Neurologie, Klinikum Fürth//Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Sankt Augustin

Fragestellung

Tierexperimentell konnte nachgewiesen werden, dass spezifische Ionenkanäle (vor allem TRPA1) des nozizeptiven Systems nachhaltig durch die Exposition mit blauem Licht moduliert werden können. Durch Nachweis der Wirksamkeit von nicht-visuellen Effekten einer Lichtexposition auf Somatosensorik und Nozizeption beim Menschen könnte der Einsatz einer Lichttherapie bei Patienten mit Erkrankungen des somatosensorischen Systems, insbesondere neuropathischen Schmerzen, von großer Bedeutung sein.

Material und Methoden

Untersucht wurden bei Patienten mit einem Komplex-Regionalen Schmerzsyndrom (CRPS) nicht-visuelle Effekte einer Lichtexposition auf Somatosensorik und Nozizeption. Die Patienten wurden für eine Stunde mittels einer Manschette entweder mit Wärme (Kontrolle) oder blauem Licht (Verum) an der erkrankten Hand exponiert. Vorher und nachher wurde eine Quantitativ Sensorische Testung (QST) durchgeführt. Zusätzlich wurden das subjektive Schmerzempfinden sowie thermische Effekte mittels Thermokamera erfasst.

Bisherige Ergebnisse und Schlussfolgerung

Bei allen 7 Patienten (3 Patienten mit warmen CRPS, 3 mit kaltem CRPS sowie 1 Patient ohne signifikante Temperaturdifferenz) zeigte sich nach einer Stunde Beleuchtungszeit ein signifikanter Temperaturanstieg im Beleuchtungsareal von mindestens 1.6°C und maximal 4.3°C (Mittelwert 2.86°C). Die subjektive Schmerzintensität war bei den Patienten mit einem kalten CRPS deutlich vermindert. Bei Patienten mit warmen oder indifferenten CRPS zeigte sich keine Schmerzveränderung. Im QST zeigten sich signifikante Veränderungen thermischer und mechanischer Schwellen.

Bei kaltem CRPS scheint die angewandte Lichtexposition zu einer Verbesserung von CRPS- Symptomen zu führen.

Unterstützt durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (NiviL/Maihöfner)

Literatur

[1] Kokel D, Cheung CY, Mills R, Coutinho-Budd J, Huang L, Setola V, Sprague J, Jin S, Jin YN, Huang XP, Bruni G, Woolf CJ, Roth BL, Hamblin MR, Zylka MJ, Milan DJ, Peterson RT. Photochemical activation of TRPA1 channels in neurons and animals. *Nat Chem Biol.* 2013 Apr;9(4):257–63.



Die Bedeutung der UV-indizierten kutanen Vitamin D-Synthese für unsere Gesundheit: ein Update

Jörg Reichrath

Universitätsklinikum des Saarlandes

Die richtige Bewertung der positiven und negativen Effekte von UV-Strahlung und die sich daraus ableitenden Empfehlungen zu einem gesundheitsbewussten Umgang mit der Sonne werden aktuell sowohl in medizinischen Fachkreisen als auch in der allgemeinen Bevölkerung intensiv und kontrovers diskutiert. Dabei befinden wir uns in einem Dilemma. Einerseits stellt die solare UV-Strahlung den wichtigsten umweltbedingten Risikofaktor für die Entstehung von hellem Hautkrebs (Basalzellkarzinome, aktinische Keratosen, Plattenepithelkarzinome der Haut) dar und ist auch für die Pathogenese des malignen Melanoms von Bedeutung.

Folgerichtig stellen Maßnahmen zum Sonnenschutz insbesondere bei Risikogruppen einen wichtigen Bestandteil zur Prävention von Hautkrebs dar. Andererseits wissen wir heute, dass auch eine unzureichende UV-Exposition der Haut durch den resultierenden Vitamin D-Mangel mit schwerwiegenden gesundheitlichen Risiken (u. a. erhöhtes Risiko für Herz/Kreislauf-, Infektions-, Autoimmun- und Krebserkrankungen) assoziiert ist. Denn der überwiegende Anteil des vom menschlichen Organismus benötigten Vitamin D wird in der Haut unter der Einwirkung von Sonnenlicht gebildet. Wenn diese natürliche Quelle der Vitamin D-Versorgung nicht ausreichend genutzt wird, resultiert meist ein Vitamin D-Mangel. In diesem Beitrag wird das Spannungsfeld zwischen positiven und negativen Effekten der UV-Strahlung unter Berücksichtigung neuer Forschungsergebnisse erörtert und es werden Empfehlungen zu einem gesundheitsbewussten Umgang mit der Sonne gegeben.

Vitamin D – Evidence in Prevention and Therapy of Diseases and on Mortality

Rolf-Dieter Krause//Michael F. Holick

Charité Berlin//Boston University Medical Center, USA

Introduction

Vitamin D is a secosteroid hormone with pleiotropic effects. 1,25-Dihydroxyvitamin D [1,25(OH)2D3] is ligand of the nuclear vitamin D receptor (VDR), and nearly all tissues have a VDR. Humans have depended on sun for the production of vitamin D. Once formed it is metabolized in the liver to its major circulating form 25-hydroxyvitamin D3 [25(OH)D3]. This metabolite is then converted in the kidneys to its biologically active form 1,25(OH)2D3.

Within the last decade it was accepted that vitamin D is not only important for the bone health, but also for a variety of the function of other organs and metabolic function. This is called as pleiotropic effects. Therefore a vitamin deficiency is an important health risk for chronic illnesses.

Vitamin D, latitude and season

Latitude, time of day, season, skin pigmentation and sunscreen use all have a marked effect on the vitamin D status of a person. Very little if any vitamin D is produced before 9 AM and after 4 PM. An increase in the zenith angle of the sun with change in season and higher latitudes results in essentially no vitamin D being produced during the winter months.

Vitamin D and kidney function

The kidney is the organ where the synthesis of the hormonal effective vitamin D hormone 1,25-dihydroxyvitamin D [1,25(OH)2D3] takes place. – Therefore in chronic kidney disease a lack of this hormonal substrate often leads to deficiency of the serum level of 1,25(OH)2D3 and the development of some of the following clinical manifestations.- By our experiences CKD und also ESKD patients with a high-normal serum level of 25-hydroxyvitamin D [25(OH)D] can synthesize 1,25(OH)2D3 extra-renally, especially after skin exposure to sun-simulated UV exposure.

Vitamin D, calcium, phosphate metabolism and bone

1,25(OH)2D3 interacts with its VDR in the intestine to increase intestinal calcium and phosphate absorption. The inability of the kidneys to produce enough 1,25(OH)2D3 to maintain calcium and phosphate homeostasis results in secondary hyperparathyroidism. The increased PTH increases osteoclastic activity which in turn removes calcium

from the bone causing low bone mass and osteoporosis. PTH's phosphaturic effect causes a mineralization defect of the skeleton resulting in rickets in children and osteomalacia in adults.

Vitamin D, muscle power and fall prevention

There is a direct effect of vitamin D on muscle metabolism and function. Lack of vitamin D is associated with myopathy with an atrophy of the type II fibers. Moreover a fatty infiltration of the muscles is observed. This is accompanied with muscle weakness, frailty, and falls. – A higher vitamin D status is therefore associated with a better function of the lower extremities.

Vitamin D and cardio-vascular system

Vitamin D deficiency is a risk factor of myocardial infarction, stroke, and cardiovascular mortality. – Vitamin D can activate the angiogenetic stem cells and therefore has positive effects on the vascular and the endothelial function. Moreover effects for the function of the thrombocytes will be discussed.

Vitamin D and hypertension

The incidence of hypertension increases with distance from the equator, and hypertension is more frequent during wintertime especially in northern latitude. – This could be confirmed by an own study in people with mild essential hypertension who were irradiated with suberythemal doses of a sun-simulating UV spectrum; both systolic and diastolic blood pressure were reduced significantly to the normal ranges.

Vitamin D, glucose metabolism and diabetes mellitus

1,25(OH)2D3 induces the synthesis and secretion of insulin within the beta-cells of the pancreas. An observational study in Finland revealed that the incidence of type 1 diabetes mellitus of the newborn children was 88 % lower in those who had received 2000 IU of vitamin D3 daily during their first year of life; a reduction in the daily dose to 400 IU as resulted in an increase incidence of type 1 diabetes.

Vitamin D and lipid metabolism

Vitamin D is fat soluble and can be stored in adipose tissues; therefore high body mass index (BMI) is inversely correlated with the vitamin D status. Numerous studies have shown an association for low serum levels of 25(OH)D3 with the body fat content and obesity, with prediabetes, diabetes type 2 and with metabolic syndrome.

Vitamin D and cancer

There is an inverse relationship with latitude and vitamin D status with incidence of many deadly cancers including breast and colon cancer. 1,25(OH)2D3 promotes normal cell differentiation, and therefore inhibits the proliferation of tumor cells. Moreover 1,25(OH)2D3 has proapoptotic, anti-angiogenetic, and anti-inflammatory effects.

Vitamin D and immune system

Vitamin D has positive effects on the innate immune function as well on the adaptive immune function. VDR was found in all immune cells including activated T- and B-cell, lymphocytes and macrophages. 1,25(OH)2D3 decreases the T-cell proliferation, and in B-cells immunoglobulin synthesis.

Vitamin D and infectious diseases

Historically sun exposure was effective treatment for lupus vulgaris a tuberculosis infection of the skin that resulted in the awarding of the Nobel prize in medicine in 1903. Macrophages produce 1,25(OH)2D3 which then induces the production of LL-37 the anti-microbial peptide cathelicidin; this pathway is also effective in reducing risk of infection of the upper respiratory tract.

Vitamin D and mental health

Studies have related vitamin D deficiency will increased risk for depression, Alzheimer disease and schizophrenia. The brain has VDR and 1-alpha-hydroxylase, and 1,25(OH)2D3 can increase the serotonin levels.

Vitamin D and mortality

Within a meta-analysis of large cohort studies from Europe and United States within the lowest quintile of the serum level of 25(OH)D all-cause mortality and also cardiovascular mortality are higher by approx. 57 % each, and the risk is also higher during wintertime and spring, but there are no differences between the gender and also for an age over 50 years. With a serum level of 25(OH)D3 within the high-normal range all-cause mortality as well as cardiovascular and cancer mortality are within the statistical ranges for the age- and gender-matched healthy population.

Vitamin D Supplementation:

Daily doses: 1,500-2,000 (-10,000 max.) IU [US Endocrine Society] for reaching a preferred serum level (40-60 ng/ml) of 25(OH)D; obese adults need 2-3 times more to reach the same level. (2) - Sun-simulating individually dosed suberythemal serial whole body UV irradiation 3 times weekly over 3 months: 120 ng/ml. (3)

Vitamin D intoxication > 150 ng/ml. (1)

Literature

- [1] Holick MF: Vitamin D deficiency. *New Engl J Med* 2006;357;266–281
- [2] Holick MF, Binkley NC, Bischoff-Ferrari HA et al.: Evaluation, treatment, and prevention of vitamin D deficiency: an Endocrine Society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab* 2011;96:1911–1930
- [3] Krause R, Roth HJ, Kaase H et al.: Vitamin D status in chronic kidney disease – UVB irradiation is superior to oral supplementation. *AntiCancerResearch* 2016;36:1397–1402
- [4] Schlereth F, Badenhoop K: Vitamin D – Mehr als ein Knochenhormon. *Internist* 2016;57:646–655
- [5] Rosen CJ, Adams JS, Bikle DD et al.: The nonskeletal effects of vitamin D: An Endocrine Society scientific statement. 2012;33;456–492
- [6] Schöttker B, Jorde R, Peasey A et al.: Vitamin D and mortality: meta-analysis of individual participant data from a large consortium of cohort studies from Europe and the United States. *BMJ* 2014;348:g3656 doi
- [7] Wacker M, Holick MF: Sunlight and vitamin D – A global perspective for health. *Dermato-Endocrinology* 2013;5:51–104
- [8] Krause R, Stange R, Kaase H, Holick MF: UV irradiation and pleiotropic effects of vitamin D in chronic kidney disease - Benefits on cardiovascular comorbidities and quality of life. *AntiCancerResearch* 2016;36:1403–1408
- [9] Krause R, Bühring M, Hopfenmüller W et al.: Ultraviolet B and blood pressure. *Lancet* 1998;352:709–710

Der Einfluss von natürlicher und künstlicher UV-Strahlung auf den Vitamin D-Status im Jahresgang

P. Knuschke/A. Bauer/A. Püschel/H. Rönsch

Klinik und Poliklinik für Dermatologie, TU Dresden

Das für den Menschen essentielle Vitamin D kann einerseits mit der Nahrung aufgenommen werden. Andererseits wird der Vitamin D-Stoffwechsel durch die Umbildung des 7-Dehydrocholesterol (dem Provitamin D_3) in der Haut unter UVB-Strahlung zu Prävitamin D_3 initialisiert. Unsere typische Ernährung in Mitteleuropa deckt die erforderliche Vitamin D-Versorgung nur in geringem Maße ab ($\approx 10\%$). Somit kommt der Bildung über die Haut, induziert durch den UVB-Anteil in der Solarstrahlung, die wesentliche Rolle zu. Die photobiologische Wirksamkeit dieses Prozesses nimmt im UVB-Bereich zum UVA-Bereich exponentiell ab. Damit führen die jahreszeitlichen (und tageszeitlichen) Verschiebungen des kurzwelligen Endes im solaren UV-Spektrum zu erheblichen Unterschieden im resultierend gebildeten Prävitamin D_3 . Das manifestiert sich in einem Jahresgang mit deutlich höherem Vitamin D-Status im Sommerhalbjahr gegenüber dem Winterhalbjahr in unseren geografischen Breiten.

In einer Studie (Teil des BfS-Forschungsvorhabens FV 3612S70026) wurde der Jahresverlauf des Vitamin D-Status ($25OHD_3$: $25OH$ -Vitamin D_3 im Serum) in verschiedenen Verhaltensgruppen in der Bevölkerung untersucht. Mit steigender kumulativer UV-Lebensdosis erhöht sich das Risiko der Ausbildung von Hauttumoren, wie dem Plattenepithelkarzinom, weshalb übermäßige solare UV-Expositionen reduziert werden sollten. Vor diesem Hintergrund sollten verschiedene Verhaltensmuster gegenüber UV-Strahlung und deren Einfluss auf den Vitamin D-Status untersucht werden. Einbezogen wurden 6 Gruppen mit je 20 Freiwilligen.

Im Vergleich zu einer Gruppe Personen, die im Alltag der natürlichen UV-Strahlung der Sonne ausgesetzt waren, sich aber weitgehend in Gebäuden aufhielten, die in der Freizeit keinen betonten Aktivitäten im Freien nachgingen und die den Jahresurlaub in unseren Breiten nördlich der Alpen (kein Strandurlaub) verbrachten, sowie sich nie künstlicher UV-Strahlung (Solarien) aussetzten, wurden folgende weitere Verhaltensmuster untersucht:

- eine vergleichbare Gruppe Personen, die jedoch den Sommerurlaub über mindestens zwei Wochen als Strandurlaub am Mittelmeer (oder südlicher) verbrachten.
- eine Gruppe ständig im Freien unter solarer UV-Exposition Beschäftigter.
- zwei Personengruppen deren Alltag in Gebäuden ablief (geringe Freizeitaktivitäten im Freien, Urlaubsregion freigestellt), bei im Winterhalbjahr zusätzlicher UV-Schutzverordnung-konformer Nutzung künstlicher UV-Strahlung in einem festgelegtem Solariengerät ($0,3W/m^2$) in einem Sonnenstudio. Davon eine Gruppe in einem Gerät dessen Strahler-

spektrum $E_{er}(UVB): E_{er}(UVA) \approx 1:1$ auswies, gegenüber dem Gerät der anderen Gruppe mit $E_{er}(UVB): E_{er}(UVA) \approx 1:2$. Beide festgelegten Solariengeräte wurden spektroradiometrisch und bezüglich der Bestrahlungsstärkeverteilung nach DIN 5050-1: 2010-01 und E DIN EN 60335-2-27:2011-04 vermessen.

– eine Gruppe entsprach der Vergleichsgruppe, die Personen nahmen jedoch im Winterhalbjahr ein Vitamin D-Präparat (Cholecalciferol) mit 800 IE pro Tag ein.

Durch Bestimmung des Vitamin D-Status über das 25OHD_3 jeweils im Januar, März, Mai und September wurde untersucht, welche Werte sich in den Gruppen am Ende des Sommers manifestierten. Im Weiteren wurde der Verlauf des Vitamin D-Status im Winterhalbjahr in Abhängigkeit vom jeweiligen Verhaltensschema betrachtet.

Die Verläufe des Vitamin D-Status im Jahresgang sowie Ergebnisse der statistischen Analysen innerhalb und zwischen den Studiengruppen werden dargestellt und diskutiert.

Einfluss des Sonnenstandes auf biologische Wirkungen über die Haut

Gunther Seckmeyer

Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie

The solar zenith angle is known to be the major factor determining the radiation at the ground. Further factors that influence the spectral radiance or irradiance are clouds, aerosols, trace gases such as ozone and variations in ground albedo e.g. by snow. While the spectral irradiance can quantitatively well be described by radiative transfer models for cloudless skies, the inclusion of clouds is still a challenge due to the complex nature of clouds as well as the lack of input parameters. Spectral radiance is not as well known as spectral irradiance.

The knowledge of the angular distribution of solar radiance and its spectral characteristics is required for many applications including the impact of UV radiation on humans. Sky radiance has been found to be the dominant factor for the solar UV exposure of humans, both with respect to positive and negative effects of UV radiation. We developed a novel method to calculate vitamin D3-weighted exposure by integrating the incident solar spectral radiance over all relevant parts of the human body. Earlier investigations are based on the irradiance on surfaces, whereas our calculated exposure of a voxel model of a human takes into account the complex geometry of the radiation field. Our calculations show that the UV index is not a good indicator for the exposure which depends on the orientation of the body (e.g. vertical (standing) or horizontal (lying down) posture). At the winter solstice vitamin D3 cannot be obtained with realistic clothing both in the southern and the northern hemisphere, even if the exposure were extended to all daylight hours. This is a consequence of the long pathlength of UV radiation through the ozone layer of the atmosphere.

Since clouds play a crucial role in determining the actual exposure of humans and the yield of solar cells, new instruments that measure sky radiance in dependence of zenith and azimuth angle in more than 100 directions simultaneously have been developed in recent years. Before the development of such instruments only scanning instruments have been used. Even with array instruments that can measure the spectrum within a second, it took several minutes to scan the sky for various directions. With the newly developed multidirectional spectroradiometer (MUDIS) as well as its advanced version AMUDIS it is possible to determine the spectral radiance from about 140 directions in the wavelength range between 300–1700 nm within one second. With such instruments it will be possible to investigate the radiation field in rapidly changing conditions and to assess the effects for the human skin with new accuracy. The new instrumental and modeling capabilities will enable new investigations for studying the exposure of the human skin to sunlight and its various influencing parameters.

Wie stark scheint die Sonne jetzt? Schattenregel und aktueller UV-Index

Hans Meffert, Helmut Piazena, Peter J. Meffert
Dermatologisches Zentrum Berlin

Der UV-Index ist ein vereinfachtes Maß für die zu erwartende maximale sonnenbrand-wirksame solare Bestrahlungsstärke. Zur leichteren Beurteilung gesundheitlicher Risiken werden die errechneten prognostischen Werte in Gefahrenbereiche eingeteilt, denen empfehlenswerte Schutzmaßnahmen zugeordnet sind. Der UV-Index variiert mit der Bewölkung, mit dem Sonnenstand (geographische Breite, Tages- und Jahreszeit) mit der lokalen atmosphärischen Ozonmenge sowie mit der Höhe. Als Vorhersagewert gibt der UV-Index die errechnete, möglicherweise zu einer nicht angegebenen Uhrzeit auftretende maximale Stärke erythemwirksamer UV-Strahlung für ein großes Gebiet an. So ist für Brandenburg – inklusive Berlin – das Meteorologische Observatorium Lindenberg die wesentliche Mess-Stelle.

Der UV-Index allein ist nicht geeignet zur Abschätzung der aktuellen UV-Bestrahlungsstärke an Ort und Stelle und damit auch nicht für im Freien arbeitende, für (Freiluft-, insbesondere Strand-) Urlauber und sogenannte Stubenhocker (Kranke, Alte, Säuglinge, Internetsüchtige [in Deutschland geschätzt 500.000], Schwangere etc). Um die aktuelle Bestrahlungsstärke an Ort und Stelle abzuschätzen, empfiehlt sich die rasch und einfach praktikable kombinierte Anwendung von UV-Index und Schattenregel.

Die Schattenregel beruht darauf, dass der Sonnenhöhenwinkel, der vom Horizont und einen den Kopf einer aufrecht stehenden Person gerade nicht mehr tangierenden imaginären Sonnenstrahl gebildet wird, der aktuellen Bestrahlungsstärke proportional ist: Je kürzer der Schatten, um so stärker die Sonnenstrahlung. Das gilt für alle Tages- und Jahreszeiten und jeden Ort auf der Erde. Eine ältere Fassung der Schattenregel besagt, dass die Intensität des UV-Anteils der Sonnenstrahlung mit größerer Wahrscheinlichkeit zum Sonnenbrand führt, wenn der Schatten einer Person kürzer ist als deren Körpergröße [Downham 1998]. Das Verhältnis Schattenlänge/Körpergröße lässt sich mittels einfacher Hilfsmittel (Kugelschreiber, Handy) ausreichend genau abschätzen.

Schattenlänge/Körpergröße	UV-Index	Schutzmaßnahmen
4,0	0,3 niedrig	nicht erforderlich
2,3	1 niedrig	nicht erforderlich
1,3	2 niedrig	nicht erforderlich
1,1	3 mäßig	Schatten aufsuchen. Textiler Lichtschutz: Hut, lange Ärmel, lange Hose Auf unbedeckte Haut ggf. Lichtschutzmittel auftragen
1,0	4 mäßig	
0,7	6 hoch	
0,5	7 hoch	
0,25	8 sehr hoch	kein Aufenthalt im Freien

Limitiert wird diese Faustregel in erster Linie dadurch, dass der Schatten im Sichtbaren und ohne Berücksichtigung der tatsächlichen Bestrahlungsstärke im UV bewertet wird.

Literatur

[1] Downham TF 2nd. South Med J.1998; 91: 619-523. Meffert H et al. Akt Dermatol 2009; 35: 25–28.

Sonnencremes mit Infrarot-A-Schutz?

Helmut Piazena

Charité, Interdisziplinäres Schlafmedizinisches Zentrum. Berlin

Das durch die Erdatmosphäre gefilterte Infrarot-A der Sonne wärmt uns und hilft bei Schmerzen und in der Wundheilung.

Nachdem dieser Teil der Sonnenstrahlung in den letzten Jahren verdächtigt wurde, die Haut zu schädigen und einige Sonnencremes sogar schon „Infrarot-A-Schutz-Formeln“ anbieten, belegen kritische Analysen und neuere Studien, dass das Infrarot-A nicht das Problem darstellt, sondern im Gegenteil Potential für Hautschutz, Regeneration und Therapie aufweist.

Behauptungen von Zusammenhängen zwischen solarer Infrarotstrahlung und Hautalterung sind somit unbegründet und IR-A-Schutzkomponenten in Sonnencremes unnötig – eine Einschätzung, die auch das Deutsche Krebsforschungszentrum in seiner Information der Öffentlichkeit teilt:

<https://www.krebsinformationsdienst.de/vorbeugung/risiken/uv-strahlung.php>

Wirkung von Strahlung – Das Problem der potentiellen Schädigung durch Lichtstrahlen im Sehspektrum im Berufsleben der Ärzte

Kazim Hilmi Or
Ophtamologe, Istanbul

Bis zur Entdeckung des blauen Lichtes als ein großer Faktor für die Entstehung der altersbedingten Makuladegeneration, hat man angenommen, dass die sichtbaren Lichtstrahlen (außer Laserstrahlen) dem Auge nicht schädlich sind. Für das sichtbare Licht, dem wir (oder unsere Augen) in unserem Leben ausgesetzt werden, gibt es noch keine wissenschaftlichen Messergebnisse. Nach heutigem Wissen hat, wegen seines höheren Energieinhaltes, blaues Licht erhöhtes Schadenpotential für die Netzhaut. Die Werte für die anderen Wellenlängen (bzw. Farben) sind noch nicht bekannt.

Einige Berufe werden wegen ihrer Arbeitsbedingungen viel mehr und intensiver den sichtbaren Wellängen ausgesetzt. Einer von diesen Berufen sind Ärzte, insbesondere die, die viel mit dem Mikroskop oder viel auch ohne Mikroskop operieren. Die Netzhauterkrankungen solcher Ärzte sollte intensiv verfolgt werden.

Für einen Vortrag über dieses Thema habe ich Vertreter verschiedener Augenuntersuchungsgeräte- bzw. Operationsmikroskopehersteller angeschrieben. Angefordert wurden Lichtwerte, die auf bzw. in das Patienten- und Untersucherauge fallen, welche öffentlich sein sollten. Außerdem wurden die Lichtwerte der Operationsmikroskope verlangt, die auf und in das Patienten- und Chirurgenaug fallen.

Es wurde keine Antwort gegeben. Die eventuellen Gründe dafür – inklusive der weißen LED-Beleuchtung mit gelbem Phosphor – und rechtsmedizinische Aspekte werden erwähnt bzw. diskutiert.

Winkelabhängige Netzhautbelastung durch die Strahlung von Bühnenscheinwerfern

Christoph Schierz

Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik

Ziel dieser Arbeit ist festzustellen, ob für Bühnen- oder Studioscheinwerfer, deren Licht in einem Einfallswinkel bezüglich der Blickrichtung ins Auge gelangt eine andere Bewertung zur Vermeidung von Blaulichtschäden der Netzhaut erfordern, als für direkten Blick in den Scheinwerfer. Es handelt sich um einen Zwischenbericht aus einer Analyse im Auftrag der Verwaltungsberufsgenossenschaft (VBG).

1 Einleitung

Scheinwerfer für die Bühnen- oder Studiobeleuchtung können hohe Bestrahlungsstärken bzw. Strahldichten erzeugen und dadurch das Auge der Akteure belasten. Die in diesem Beitrag diskutierte Blaulicht-Netzhautschädigung oder kurz Blaulichtschädigung, englisch Blue-Light-Hazard, abgekürzt „BLH“, ist eine photochemische Schädigung, bei der photoinstabile Moleküle in der Netzhaut durch Licht mit kurzwelligem Spektralanteilen verändert werden. In der Folge können Photorezeptoren absterben und die veränderten chemischen Prozesse können zur Entstehung der altersabhängigen Makuladegeneration beitragen. Sie ist die Schädigung der Netzhaut, die durch sichtbares Licht verursacht wird.

Ein kontinuierliches Monitoring der wissenschaftlichen Literatur und allenfalls benötigte Anpassungen der Grenzwerte bezüglich Blaulichtschädigung werden von der Wissenschaftsorganisation ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) in Zusammenarbeit mit der CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) und der WHO durchgeführt (siehe [6]). So wurde die 2009 erschienene Lampensicherheitsnorm DIN EN 62471 [1], welche in dieser Expertise als Bewertungsgrundlage dient, im Jahr 2002 vom Technischen Komitee TC 6-47 der CIE erarbeitet, 2006 von der IEC und 2008 von CEN übernommen. Sie ist auch Grundlage für die 2006 erlassene EU Richtlinie 2006/25/EG [3]. Für die historischen und wissenschaftlichen Grundlagen siehe auch [10].

Als Bewertungsgröße für Blaulichtschädigung ist nicht die Farbe „Blau“ relevant, sondern die im Spektralbereich der Wirkungsfunktion für Blaulichtschädigung $B(\lambda)$ auf die Netzhaut gelangende Energie, abgekürzt „BLH-bewertete“ Energie (siehe Abbildung 2, rechts). Für Lichtquellen, welche unter einem Sehwinkel $> 0,63^\circ$ gesehen werden, wird diese durch die BLH-bewertete Strahldichte bestimmt. Eine Übertragung der in der Photometrie verwendeten Leuchtdichte in BLH-bewertete Strahldichten ist möglich, wenn das Spektrum oder die „BLH-Ausbeute der sichtbaren Strahlung“ bekannt ist. Die risiko-relevante Energie ist außerdem proportional zur Bestrahlungsdauer. Die BLH-bewertete

Strahldichtedosis darf den Wert von $1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ nicht überschreiten. Die hohen Strahldichten von einigen Bühnen- bzw. Studioscheinwerfer können für eine Stelle auf der Netzhaut unter Umständen maximale Expositionsdauern von nur wenigen Sekunden erforderlich machen. Dieser Grenzwert gilt für direkten Blick in die Lichtquelle, bzw. für eine Abbildung des Scheinwerfers auf die Fovea, die Stelle des schärfsten Sehens in der Netzhaut (Retina).

2 Auswirkungen der Dioptrik des Auges

Um die Auswirkung auf andere Stellen der Netzhaut zu beurteilen (bzw. für Scheinwerfer, die zwar sichtbar sind, aber sich unter einem Winkel außerhalb der Blicklinie befinden), ist eine Strahlverfolgung in einem mathematischen Weitwinkel-Modellauge hilfreich (siehe Abbildung 1). Die meisten publizierten Modellaugen beziehen sich auf die Schärfe der Abbildung in der Fovea und bieten beispielsweise eine Hilfestellung bei der Herstellung von Sehhilfen. Für die Bestimmung der Netzhautbelastung müssen auch Lichtstrahlen zur Peripherie der Netzhaut korrekt modelliert werden, was asphärische optische Oberflächen bedingt. Eine Literaturanalyse zeigt, dass ein Modellauge von Kooijman [8] dafür geeignet ist, da es im Vergleich zu weiteren Modellen einen Worst-Case darstellt.

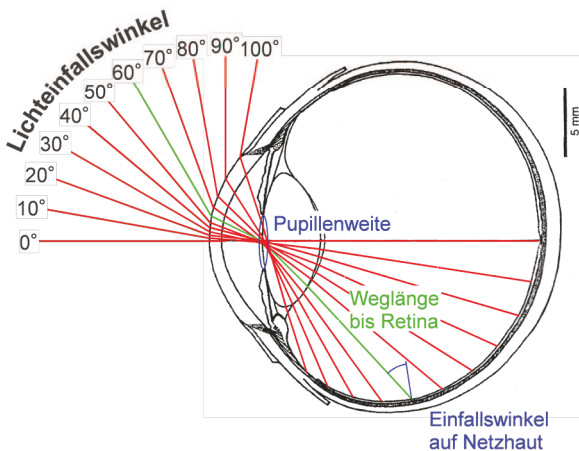


Abbildung 1: Abbildung von Sehobjekten (z. B. Bühnenscheinwerfern) mit unterschiedlichen Lichteinfallswinkeln auf der Netzhaut. Durch die optische Abbildung wird der Winkelbereich von $0^\circ \dots 100^\circ$ im Auge verringert auf $0^\circ \dots 72^\circ$ (nach [2]). Die Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke auf der Netzhaut vom Lichteinfallswinkel ergibt sich aus der perspektivischen Verzerrung der Pupille, der Weglänge durch die Linse, der Weglänge bis zur Retina (und damit der Bildverkleinerung) und dem Einfallswinkel auf der Netzhaut.

Im Folgenden werden die einzelnen, in Abbildung 1 genannten optischen Aspekte erläutert, welche zusammen die Bestrahlungsstärke auf der Netzhaut bestimmen. Dabei interessiert nur die relative Bestrahlungsstärke im Vergleich zur Lichteinfallrichtung 0° . Daher wird im Folgenden auch nicht zwischen „Licht“ und „Strahlung“ bzw. „BLH-bewerteter Strahlung“ unterschieden. Ausgegangen wird für jede Einfallrichtung von einem auf die Lichtquelle fokussierten Auge, was ebenfalls einem Worst-Case entspricht.

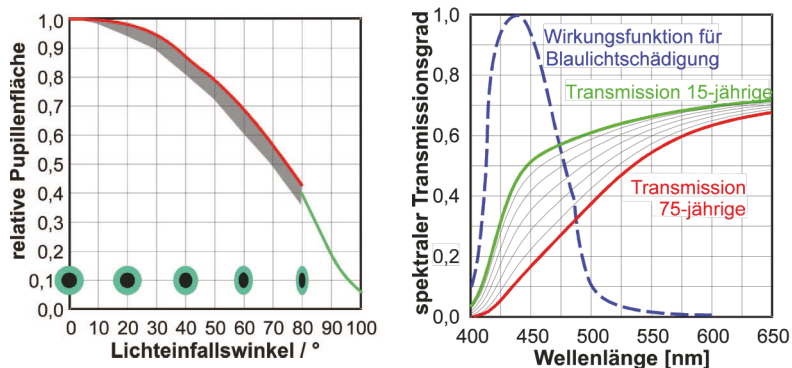


Abbildung 2a: Die perspektivische Verzerrung der Pupille bewirkt einen geringeren Durchlass der Strahlung mit zunehmendem Einfallswinkel (Kurve $\leq 80^\circ$ nach [8], Kurve $> 80^\circ$ nach [7], graue Fläche nach [9]).

Abbildung 2b: Altersabhängiger spektraler Transmissionsgrad der Augenmedien, insbesondere der Augenlinse (berechnet nach [11]), sowie die Wirkungsfunktion für Blaulichtschädigung (nach [3][6][1]).

Abbildung 2a zeigt, dass die auf die Lichteinfallrichtung projizierte Pupillenfläche mit zunehmendem Lichteinfallswinkel abnimmt. Weil sich die Pupille hinter den ersten zwei optischen Flächen befindet (der Hornhaut) folgt die Verzerrung nicht wie bei Blenden üblich dem Cosinus des Einfallswinkels: Die Position, die räumliche Lage und die Größe der Eintrittspupille hängen vom Lichteintrittswinkel ab [4]. Die Eintrittspupille ist das von außen zu sehende größere Bild der „tatsächlichen“ physiologischen Pupille.

Die Linse des Auges wirkt zu einem gewissen Grad als Schutz vor kurzwelliger Strahlung, wie in Abbildung 2b zu erkennen ist. Der dargestellte Transmissionsgrad bezieht sich zwar auf die Summenwirkung aller Augenmedien, die Linse steuert aber durch ihre Vergilbung den größten Anteil bei. Im Spektralbereich wo die Wirkungsfunktion für Blaulichtschädigung maximal ist, wird die Altersabhängigkeit besonders deutlich: Ältere Personen sind vor Blaulichtschädigung stärker geschützt als junge. Wie weit sich der Lichteinfallswinkel bei der Transmission bemerkbar macht, hängt von der Weglänge des Lichtes in der Linse ab. Es zeigt sich, dass diese mit zunehmendem Winkel zunimmt (siehe Abbildung 3a). Dadurch wird die Wirkung der Vergilbung verstärkt und der Schutz im Prinzip vergrößert. Da diese Wirkung vom Spektrum der Lichtquelle und vom Alter der Person abhängt, wird sie hier nicht weiter berücksichtigt, sondern es wird vorläufig der Worst-Case bei 0° Einfallswinkel angenom-

men. Eine Abschätzung dieses Effekts erfolgt in zukünftigen Analysen, unter gemeinsamer Berücksichtigung der Modellunsicherheiten.

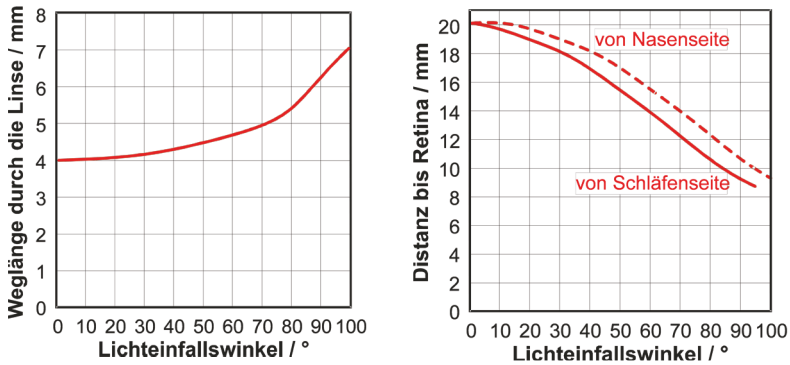


Abbildung 3a: Zunahme der Weglänge des Lichts durch die Augenlinse mit zunehmendem Lichteinfallswinkel nach [8].

Abbildung 3b: Distanz von der Linse (genauer vom Knotenpunkt) bis zur Netzhaut (berechnet nach Daten von [8]). Der Unterschied zwischen Schläfen- und Nasenseite kommt durch den Winkel von ca. 5° zwischen Sehachse und optischer Achse zustande. Für Licht von oben und unten liegen die Werte zwischen den Kurven.

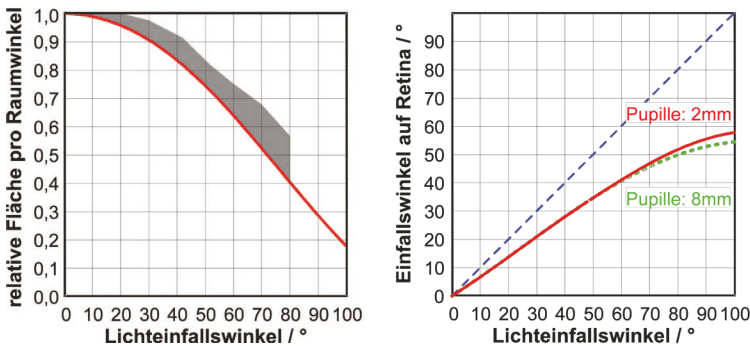


Abbildung 4a: Bei gegebener Größe und Entfernung eines Scheinwerfers nimmt die Größe seines Bildes auf der Netzhaut mit dem Lichteinfallswinkel ab. Die zunehmende Flächenverkleinerung würde für sich alleine gesehen, eine Zunahme der Bestrahlungsstärke bedeuten. Die Weglängenverkürzung (Abb. 3, rechts) und der Einfallswinkel auf die Netzhaut (Abb. 4 rechts) sind hier bereits berücksichtigt. Kurve nach [8], grauer Bereich aus einer Zusammenstellung mehrerer Autoren nach [9].

Abbildung 4b: Einfallswinkel, mit dem das Licht auf der Netzhaut auftrifft, in Abhängigkeit vom Lichteinfallswinkel (nach [8]). Dargestellt wird der Winkel zur Senkrechten auf der Netzhaut (siehe Abbildung 1). Bei schrägem Auftreffen des Lichts gilt das Cosinusetz, d. h. je größer der Einfallswinkel ist, desto stärker reduziert sich die Bestrahlungsstärke.

Abbildung 3b zeigt, dass die Weglänge von der Linse bis zur Netzhaut mit zunehmendem Lichteinfallswinkel abnimmt. Anders als bei einer Bildprojektion auf eine ebene Bildwand, bei der mit einem Randlichtabfall zu rechnen ist, könnte hier eine Vergrößerung der Bestrahlungsstärke zum Rand hin stattfinden. Den Grund dafür zeigt Abbildung 4a: Der kürzere Abstand bis zur Netzhaut verkleinert die Größe des Bildes bei gegebenem Raumwinkel der Lichtquelle, mit zunehmendem Lichteinfallswinkel umso stärker. Dies allein ergäbe eine stärkere Konzentration der Strahlung und damit eine vergrößerte Bestrahlungsstärke.

Neben der abschwächenden Wirkung der perspektivischen Pupillenverzerrung wirkt auch das schräge Auftreffen des Lichts auf der Netzhaut auf eine Verminderung der Bestrahlungsstärke (Abbildung 4b).

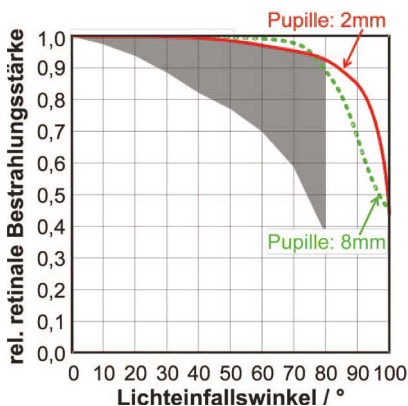


Abbildung 5: Relative Bestrahlungsstärke auf der Netzhaut in Abhängigkeit des Lichteinfallswinkels für zwei unterschiedliche Pupillenweiten nach Kooijman [8]. Sie stellen den Worst-Case dar. Grau markiert ist der Bereich der Resultate unterschiedlicher Autoren nach einer Zusammenstellung von Pflibsen [9]. Im Worst-Case kann bis zu einem Lichteinfallswinkel von etwa 70° von einer Konstanz der retinalen Bestrahlungsstärke ausgegangen werden.

Alle Effekte zusammen ergeben das Ergebnis von Abbildung 5. Es ist zu erkennen, dass die relative Bestrahlungsstärke auf der Netzhaut mehr oder weniger unabhängig vom Lichteinfallswinkel ist, wenn man die Ergebnisse von [8] zugrunde legt. Die Abschwächung durch die Pupille und das schräge Auftreffen auf der Netzhaut wird durch die Verstärkung infolge Wegverkürzung bzw. Bildverkleinerung kompensiert.

3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Aufgrund von Augenmodellen aus der Literatur, die das Auge als Weitwinkelsystem behandeln, konnte die relative Bestrahlungsstärke auf der Netzhaut für unterschiedliche Lichteinfallrichtungen beschrieben werden. Die in diesem Beitrag dargestellte Worst-

Case Betrachtung führt zu dem Ergebnis, dass diese bis zu einem Lichteinfallswinkel von etwa 70° konstant bleibt. Das Gesichtsfeld dehnt sich nach oben bis ca. 60° aus [5]. Scheinwerfer, welche sich oberhalb der Akteure im Gesichtsfeld befinden, müssen daher bezüglich Blaulichtschädigung genauso bewertet werden, wie bei direktem Blick in den Scheinwerfer. Die gesetzlich festgelegten Grenzwerte sind daher auch unter diesen Lichteinfallswinkeln gültig. Zur Seite hin ist das Gesichtsfeld größer und kann sich bis 90° ausdehnen. Hier wäre zwischen etwa 70° und 90° theoretisch eine unkritischere Beurteilung möglich (d. h. höhere Grenzwerte). Da sich aber Akteure auf der Bühne bewegen und den Kopf drehen, ist ein einheitlicher Grenzwert auch hier aus praktischen Gründen geboten. Erst eine Analyse der zeitlichen und räumlichen Verteilung der Blickrichtungen im Raum könnte für seitlich angeordnete Scheinwerfer in definierten Situationen gegebenenfalls einen höheren Grenzwert ergeben.

Intuitiv wird oft die Vermutung als selbstverständlich angenommen, dass ein Blick direkt in den Scheinwerfer gefährlicher ist, als wenn man ihn zwar sieht, aber daran vorbei schaut. Die in diesem Beitrag dargelegten Resultate können dies im Hinblick auf die Bestrahlungsstärke auf der Netzhaut nicht bestätigen. Bei einem Blick direkt in den Scheinwerfer wird dieser in die Fovea abgebildet. Das ist die Stelle des schärfsten Sehens in der Netzhaut, mit der höchsten Zapfendichte. Rund 80 % des visuellen Kortex sind für die Signale der Fovea zuständig. Daher könnte man argumentieren, ein Schaden der Fovea bei direktem Blick in einen Scheinwerfer sei viel gravierender als ein Schaden in der peripheren Retina. Dem ist aber entgegenzuhalten, dass dies kein Argument für eine Erhöhung des Schadensrisikos der peripheren Retina ist. Eine Unterscheidung zwischen Fovea und Netzhautperipherie ist erst angebracht, wenn ein bereits eingetretener Schaden bewertet werden muss – ähnlich wie z. B. beim Verlust des Ringfingers im Vergleich zum Daumen. Ein solcher Schaden sollte aber erst gar nicht entstehen können, egal wo.

Ein weiterer ebenfalls aus der Intuition abgeleiteter Aspekt betrifft die Wirkung mehrerer Scheinwerfer: Sollten zur BLH-Bewertung deren Strahldichten (oder Bestrahlungsstärken) addiert werden? Aus dem in diesem Beitrag Dargestellten ist jedoch klar, dass jeder Scheinwerfer eine andere Stelle der Netzhaut belastet. Bei wenigen Scheinwerfern ist es daher ausreichend, wenn jeder die Grenzwerte einhält und eine Addition ist nicht angezeigt. Mit Zunahme der Anzahl Scheinwerfer wird aber die Wahrscheinlichkeit, dass bei Blickbewegungen die selbe Netzhautstelle von mehr als einem Scheinwerfer belichtet wird größer. Damit vergrößert sich die Bestrahlungsdauer an der Stelle, und diese ist ja nebst der Bestrahlungsstärke ebenfalls für den Grenzwert relevant. Auch hier müsste mit einer Analyse der auf den jeweiligen Bühnen- oder Studioarten üblichen Blickbewegung die Risikoanalyse erweitert werden. Kritisch sind solche Sets, die wenige Blickbewegungen verlangen, wie zum Beispiel bei einem Vortrag, abgelesen von einem Teleprompter. Bei Scheinwerfern, welche aus vielen kleinen LED-Optiken bestehen, verlangt eine Worst-Case-Betrachtung, dass die Strahldichte einer Optik auf die

Fläche der ganzen Leuchte übertragen wird (Maximalwert, keine Mittelwertbildung).

Wie erwähnt, handelt es sich hier um einen Zwischenbericht. Weitere Analysen werden die erwähnte Auswirkung des Spektrums bei unterschiedlichen Weglängen in der Linse berücksichtigen. Zudem werden weitere Modellaugen aus neueren Geometriedaten des Auges untersucht, um eine besser Abschätzung der Modellunsicherheiten zu ermöglichen.

Literatur

- [1] DIN EN 62471 (2009): Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen. (IEC 62471:2006, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62471:2008, Beuth Verlag, Berlin.
- [2] Drasdo, N.; Fowler, C. W. (1974): Non-linear projection of the retinal image in a wide-angle schematic eye. In: *Br. J. Ophthalmol.* 58 (8), S. 709–714. DOI: 10.1136/bjo.58.8.709.
- [3] EU (2006): Richtlinie 2006/25/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung).
- [4] Fedtke, C.; Manns, F.; Ho, A. (2010): The entrance pupil of the human eye: a three-dimensional model as a function of viewing angle. In: *Opt. Express* 18 (21), S. 22364–22376. DOI: 10.1364/OE.18.022364.
- [5] Guth, S. K. (1958): Light and comfort. In: *Ind. Med. Surg.*, S. 570–574.
- [6] ICNIRP (2013): ICNIRP guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation. *Health Physics* 105 (1), S. 74–96. DOI:10.1097/HP.0b013e318289a611
- [7] Jay, B. S. (1962): The effective pupillary area at varying perimetric angles. In: *Vision Research* 1 (5-6), S. 418–424. DOI: 10.1016/0042-6989(62)90021-4.
- [8] Kooijman, A. C. (1983): Light distribution on the retina of a wide-angle theoretical eye. In: *J. Opt. Soc. Am.* 73 (11), S. 1544. DOI: 10.1364/JOSA.73.001544
- [9] Pflibsen, K. P.; Pomerantzeff, O.; Ross, R. N. (1988): Retinal illuminance using a wide-angle model of the eye. In: *J. Opt. Soc. Am. A* 5 (1), S. 146–150. DOI: 10.1364/JOSAA.5.000146.
- [10] Sliney, D. H.; Bergman, R.; O'Hagan, J. (2016): Photobiological risk classification of lamps and lamp systems – history and rationale. *LEUKOS*, 12 (4), S. 213–234. DOI: 10.1080/15502724.2016.1145551
- [11] van de Kraats, J.; van Norren, D. (2007): Optical density of the aging human ocular media in the visible and the UV. In: *J. Opt. Soc. Am. A* 24 (7), S. 1842–1857. DOI: 10.1364/JOSAA.24.001842.

Tageslicht als bevorzugte Lichtquelle – Welche charakteristischen Eigenschaften hat das Licht (noch) hinter der Fassade?

Martine Knoop

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik

Studien haben gezeigt, dass Tageslicht als Lichtquelle für Bürogebäude gegenüber künstlicher Beleuchtung bevorzugt wird (Boyce et al. 2003). Tageslicht kann Stress, Wohlbefinden und Stimmung positiv beeinflussen. Zudem ist es effektiv in der Erfüllung visueller und nicht-visueller Anforderungen aufgrund der Verfügbarkeit hoher Beleuchtungsniveaus während des Tages, der bedeutenden kurzwelligen Komponente im Spektrum und der ausgezeichneten Farbwiedergabeeigenschaften.

Derzeit berücksichtigen die Tageslichtplanung und -regelwerke einen minimalen Tageslichtkoeffizienten (Konstante) auf einer horizontalen Ebene im Raum, und die ähnlichste Farbtemperatur des Lichtes wird üblicherweise auf 6500 K festgelegt. Für nicht-visuelle Wirkungen sind jedoch die tatsächliche spektrale Zusammensetzung des Lichtes und die vertikale Beleuchtungsstärke am Auge des Raumnutzers von besonderem Interesse. Beide Parameter werden von der Sonnenposition und den herrschenden Himmelsbedingungen beeinflusst, welche für die spezifische Dynamik in spektraler Verteilung, Lichtniveau und Lichtrichtung sorgen.

Der Vortrag zeigt, dass eine differenzierte Betrachtung des Tageslichtangebotes für eine nicht-visuell wirksame Beleuchtungsplanung notwendig ist und wie dazu spektrale Himmelsmodelle und die Quantifizierung der Lichtrichtung eingesetzt werden können. Die spektralen Himmelsmodelle werden derzeit im Rahmen eines vom BMWi geförderten Projektes an der TU Berlin erstellt und basieren auf räumlich aufgelösten spektralen Messungen eines Skyscanners (Diakite et al. 2016, Knoop 2014, Knoop et al. 2015). Die Quantifizierung der Lichtrichtung wird in einem weiteren Forschungsprojekt an der TU Berlin untersucht, und bietet einen Einblick in den Einfluss von Jahreszeit und Himmelsmodell auf die Richtung des Lichteinfalls und die Diffusität des Tageslichtes (Liedtke et al. 2013, Liedtke et al. 2016).

Mit dieser Herangehensweise soll das Tageslichtangebot in Räumen analysiert werden, um das Potenzial einer Tageslichtbeleuchtung für nicht-visuelle Wirkungen zu veranschaulichen, sowie aufzuzeichnen, welche der charakteristischen Eigenschaften von Tageslicht noch hinter der Fassade vorhanden sind.

Literatur

- [1] Boyce, P., Hunter, C., Howlett, O. (2003). The benefits of daylight through windows. Troy, New York: Rensselaer Polytechnic Institute.
- [2] Diakite, A., Knoop, M., Bremer, S., Völker, S. (2016). Praktische Anwendbarkeit der spektralen Himmelsmodelle im städtischen Planungsprozess. In: Licht 2016 Tagungsband. Karlsruhe.
- [3] Knoop, M. (2014). Räumlich aufgelöste spektrale Messungen zur Bestimmung nicht-visueller Wirkungen von Tageslicht. In: Tagungsband Licht und Gesundheit 2014. Berlin.
- [4] Knoop, M., Diakite, A., Rudawski F. (2015). Methodology to create spectral sky models to enable the inclusion of colorimetric characteristics of daylight in research and design. In: Proceedings of CIE 2015. Manchester.
- [5] Liedtke, C., Völker, S., Knoop, M. (2013). The Light Direction and Directional Light — Towards a new Quantification of an Essential Lighting Quality Criterion. In: CIE Proceedings. Vienna, S. 542–551.
- [6] Liedtke, C., Fraunhofer, M., Knoop, M. (2016). Die Quantifizierung der Lichtrichtung im Büro unter Tageslichtbedingungen. In: Tagungsband Licht 2016. Karlsruhe.

Variabilität von Tagesstrahlung-Spektren außen und im Innenraum – Feldmessergebnisse und Analyse

Alexander Herzog/Adrian Eissfeldt

Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik

Neben der visuellen Wirkung von Tageslicht ist vor allem die nichtvisuelle Wirkung des Lichts von großer Bedeutung für die Regulation körpereigener Mechanismen. Letztere können teils durch existierende Wirkungsfunktionen beschrieben werden, die durch spektrale Bänder gezielt angesprochen werden können. Zur Auslegung moderner Tageslichtleuchten sind folglich nicht nur die Farbtemperatur und die erforderlichen Beleuchtungsstärken relevant, sondern auch die spektrale Zusammensetzung des Tageslichts und deren Variabilität. Diese wurde im Rahmen der Untersuchungen über den Tagesverlauf in den Sommermonaten absolut gemessen. Zusätzlich wurden die entsprechenden Wettersituationen festgehalten, um eine entsprechende Zuordnung der Beleuchtungssituationen vorzunehmen.

Weiterhin wurden synchron zu den Messungen im Außenbereich Messungen in Innenräumen durchgeführt. Hierbei wurden das zugehörige Spektrum und die auftretenden Beleuchtungsstärken in verschiedenen Räumen gemessen, um die am Arbeitsplatz vorherrschenden Lichtsituationen in Abhängigkeit der Tageszeit, der Inneneinrichtung und der Wetterlage zu ermitteln. Aus den gemessenen Daten wurden die entsprechenden melanopischen Wirkungsfaktoren berechnet, die für die Auslegung von Tageslichtleuchten herangezogen werden können.

Örtlich aufgelöste Messung biologisch wirksamer Beleuchtung

Tobias Porsch

TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, Ilmenau

Bildgebende Leuchtdichte- und Farbmesskameras (ILMD, Imaging luminance measuring device bzw. ICMD, Imaging color measuring device) werden in vielen verschiedenen Anwendungen genutzt.

Mit der Nutzung eines ICMDs ist die Auswertung von Leuchtdichten und Farben „wie gesehen“ sowie von biologisch wirksamer Strahlung im Bereich der spektralen Empfindlichkeit der Silizium-CCD in einem Messbild möglich.

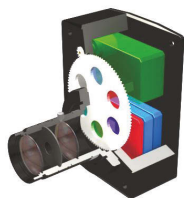


Abbildung 1 und 2: Schematische Darstellung der Farbfilterradanordnung im Strahlengang einer digitalen Kamera (links). Aktuelle Bauform der LMK 5 color (ICMD) (rechts).

In einer Farbmesskamera vom Typ LMK 5 color sind 6 Filterpositionen auf dem Farbfilterrad verfügbar. Davon werden vier Filterradpositionen (X1, X2, Z, $V(\lambda)$) für die Messung von Helligkeit und Farben benötigt. Für die beiden freien Filterradpositionen sind verschiedene Optionen möglich:

Filterbezeichnung	Bezeichnung der entsprechenden Zielfunktion
VS	$V'(\lambda)$, skotopische Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges (Nachtsehen)
IR	Infrarot Filter (Durchlass nur im nahen Infrarot Bereich)
Glas	Strahlungsmessung ohne Filter (spektrale Empfindlichkeit von ca. 380 nm-1100 nm)
CL	$c(\lambda)$, spektraler Wirkungsbereich für die Melatoninsuppression (circadiane Wirkungsfunktion)
BLH	$b(\lambda)$, spektraler Wirkungsbereich der Gefährdung durch blaues Licht (Blue Light Hazard Wirkungsfunktion)

Dieser Artikel befasst sich mit der Anwendung angepasster Strahlungsempfänger im Bereich der melanopischen bzw. circadianen Wirkung. Dazu werden die technisch realisierte spektrale Empfindlichkeit der Messkamera sowie mögliche Anwendungsgebiete der vorhandenen Messtechnik im Bereich der lichttechnischen, medizinischen und chronobiologischen Forschung vorgestellt. Des Weiteren wird der realisierte Filter für die Blue Light Hazard Wirkungsfunktion und dessen Anwendung in der Beleuchtungsindustrie vorgestellt.

Schriftenreihe des Fachgebietes Lichttechnik

Hrsg.: Prof. Dr. Stephan Völker, Heike Schumacher

ISSN 2196-338X (print)

ISSN 2198-5103 (online)

1: Völker, Stephan; Schumacher, Heike (Hrsg.):

Jahresbericht 2012. - 2013. - 61 S.

ISBN **978-3-7983-2517-3** (print) EUR **5,80**

ISBN **978-3-7983-2518-0** (online)

2: Völker, Stephan; Schumacher, Heike (Hrsg.):

Jahresbericht 2013. - 2014. - 67 S.

ISBN **978-3-7983-2667-5** (print) EUR **8,00**

ISBN **978-3-7983-2668-2** (online)

3: Völker, Stephan; Schumacher, Heike (Hrsg.):

8. Symposium Licht und Gesundheit. Eine

Sondertagung der TU Berlin gemeinsam mit
DAfP und LiTG; 19. und 20. März 2014, Messe-
gelände Berlin - 2014. - 201 S.

ISBN **978-3-7983-2671-2** (print) EUR **12,50**

ISBN **978-3-7983-2672-9** (online)

4: Völker, Stephan; Schumacher, Heike (Hrsg.):

Jahresbericht 2014. - 2015. - 64 S.

ISBN **978-3-7983-2747-4** (print) EUR **8,00**

ISBN **978-3-7983-2748-1** (online)

5: Völker, Stephan; Schumacher, Heike (Hrsg.):

**UNILED – Erfassung und Beseitigung von
Innovationshemmnissen beim Solid State**

Lighting. Ausgewählte Ergebnisse des
Forschungsvorhabens - 2015. - 272 S.

ISBN **978-3-7983-2707-8** (print) EUR **15,00**

ISBN **978-3-7983-2708-5** (online)

6: noch nicht erschienen

7: noch nicht erschienen



9. Symposium Licht und Gesundheit. Abstracts

Zusammenstellung der Konferenzbeiträge des 9. Symposiums Licht und Gesundheit des Fachgebietes Lichttechnik der TU Berlin. Das Symposium fand am 6. und 7.10.2016 im Forum Treptow in Berlin statt und wurde als Gemeinschaftstagung mit der BioWi durchgeführt.

Proceedings of the 9th Symposium light and health arranged by the department of lighting technology at the TU Berlin. The symposium took place on 6 and 7/10/2016 at the Forum Treptow Berlin together with the conference BioWi.

ISBN 978-3-7983-2866-2 (print)

ISBN 978-3-7983-2867-9 (online)



ISBN 978-3-7983-2866-2



<http://verlag.tu-berlin.de>