

Kai Broszio; Martine Knoop; Stephan Völker

# Tag und Nacht: Gibt es Unterschiede der Richtungsabhängigkeit nicht-visueller Effekte?

Conference paper | Accepted manuscript (Postprint)

This version is available at <https://doi.org/10.14279/depositonce-7363>



Kai Broszio; Martine Knoop; Stephan Völker (2018): Tag und Nacht: Gibt es Unterschiede der Richtungsabhängigkeit nicht-visueller Effekte? In: LICHT 2018 – Kreative Beleuchtungslösungen 23. Europäischer Lichtkongress; Kongresszentrum Davos, Schweiz (9.–12. September 2018)

## Terms of Use

This work is licensed under a CC BY 4.0 License (Creative Commons Attribution 4.0 International). For more information see <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

# Tag und Nacht: Gibt es Unterschiede der Richtungsabhängigkeit nicht-visueller Effekte?

*Dipl.-Ing. Kai Broszio, Dr. Martine Knoop, Prof. habil. Dr.-Ing. Stephan Völker  
Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik  
kai.broszio@tu-berlin.de*

## Zusammenfassung

Die bisherigen Forschungsergebnisse im Bereich nicht-visueller Wirkungen des Lichts auf den Menschen lassen kein klares Kausalitätsmuster erkennen. Einer der Gründe dafür könnte in der oft unzureichenden Beschreibung der Lichtsituation liegen. Meist wird zur Beschreibung der Intensität des Stimulus die vertikale Beleuchtungsstärke am Auge genutzt. Intrinsisch-photosensitive retinale Ganglienzellen spielen bei nicht-visuellen Effekten eine zentrale Rolle. Forschungsergebnisse ergaben Hinweise, dass deren Sensitivität von der Lage auf der Netzhaut abhängen kann, weshalb die Lichteinfallrichtung zur Beschreibung des Stimulus betrachtet werden sollte. Dieser Beitrag beschreibt das Vorgehen zur Durchführung eines Probandenversuchs der diese Annahmen zur Richtungsabhängigkeit auf Tagsituationen übertragen und überprüfen soll.

## 1 Einleitung

Nicht-visuelle Effekte (engl.: non-image-forming effects, NIF effects) von Licht werden durch die lichtempfindlichen Rezeptoren in der menschlichen Netzhaut hervorgerufen. Im Besonderen werden die intrinsisch-photosensitiven retinalen Ganglienzellen (ipRGC) für die Vermittlung von NIF-Effekten als entscheidend angesehen. Intensiv untersucht wurden bisher die Auswirkungen der Beleuchtungsstärke am Auge, des Spektrums, der Expositionsdauer und -zeitpunkt, sowie der Lichthistorie auf verschiedene NIF-Effekte, wie z.B. Melatoninunterdrückung, Schlafqualität, Wachsamkeit oder Körperkerntemperatur.

Außerdem gibt es Hinweise darauf, dass die Sensitivität der ipRGCs Unterschiede je nach Lage auf der Netzhaut aufweist oder sie, ebenso wie Zapfen und Stäbchen, nicht gleichmäßig auf der Netzhaut verteilt sind. Zur Abhängigkeit der NIF-Effekte vom Lichteinfallswinkel wurden bisher nur wenige Studien durchgeführt, welche die Auswirkungen der Beleuchtung auf Melatoninunterdrückung und Phasenverschiebung untersuchten.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Wirkungen bei Beleuchtung von Bereichen der Retina im unteren (Lasko et al. 1999; Smith et al. 2002; Glickman et al. 2003) und im nasalen (Visser et al. 1999; Rüger et al. 2005) Teil der Netzhaut stärker sind. Darüber hinaus ist die Melatoninunterdrückung bei binokularer im Gegensatz zu monokularer Beleuchtung (Brainard et al. 1997; Wang et al. 1999).

In vielen Studien wird die vertikale Beleuchtungsstärke am Auge als eine der unabhängigen Variablen gewählt. Abbildung 1 zeigt vier unterschiedliche Lichtszenen, die vergleichbare vertikale Beleuchtungsstärken und ebenso vergleichbare vertikale melanopisch-gewichtete Bestrahlungsstärken am Auge hervorrufen.

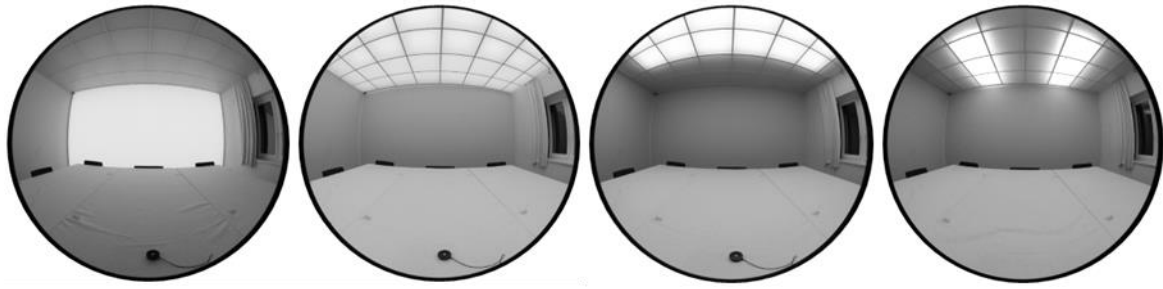


Abb. 1: Vier unterschiedliche Lichtszenen mit vergleichbaren vertikalen Beleuchtungsstärken und melanopisch-gewichtete Bestrahlungsstärke am Auge

Diese Lichtszenen werden in der bisherigen Forschung zu NIF-Wirkungen als identisch betrachtet. Wenn die Hinweise zur Richtungsabhängigkeit berücksichtigt werden sollen, ist es jedoch fraglich, ob die vertikale Beleuchtungsstärke eine geeignete Messgröße zur Bestimmung des Stimulus für NIF-Effekte ist.

Möglicherweise ist dies auch ein Grund für die teilweise widersprüchlich erscheinenden Ergebnisse zwischen bisherigen Studien. Zudem wird die gezielte Auswertung vorheriger Studien durch eine unzureichende Beschreibung der geometrischen Bedingungen der genutzten Lichtszenen erschwert bzw. verhindert. Geeignete Methoden zur Beschreibung von Lichtszenen werden in „Guide to Protocols for Describing Lighting“ (CIE 2014) und im Zusammenhang mit NIF Effekten in “Methods to Describe and Measure Lighting Conditions in Experiments on Non-Image-Forming Aspects” (Knoop et al. [im Druck]) aufgezeigt und beschrieben.

Unter Berücksichtigung der Hinweise auf retinale Sensitivitätsunterschiede und anatomische Einschränkungen des Gesichtsfelds lassen sich für ipRGC-vermittelte Lichtwirkungen wahrscheinlich relevante Regionen im betrachteten Halbraum finden. Abbildung 2 zeigt diese in einer schematischen Darstellung. Region 1 entspricht einem von beiden Augen gesehenen Bereich, dieser wird folglich auf die Netzhaut jeweils beider Augen abgebildet. Licht aus Region 2 fällt jeweils in nur ein Auge und dabei entweder auf die Nasenseite oder aus dem Höhenwinkelbereich über  $50^\circ$  bis ca.  $55^\circ$  in beide Augen, dem eine geringe Wirkung nachgesagt wird. Licht aus Region 3 wird keine Wirkung zugeschrieben.

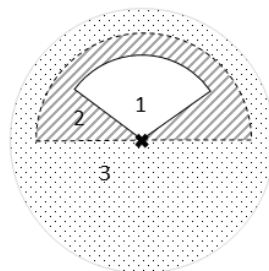


Abb. 2: Vorgeschlagene Regionen in der beobachteten Hemisphäre, welche wichtig für ipRGC-beeinflusste Lichteffekte sind. Region 1: sehr wichtig, Region 2: weniger wichtig, Region 3: vermutlich keinen oder unwesentlichen Effekt

Oft werden die ipRGCs alleine für diese Wirkungen verantwortlich gemacht. In der aktuellen Forschung wird demgegenüber ein weitaus komplexeres Zusammenspiel aller lichtempfindlichen Zelltypen im Auge, also auch der visuellen Rezeptoren vermutet (Lucas et al. 2014;

CIE 2015). Genaue Zusammenhänge und Einflussfaktoren sind noch ungeklärt und bedürfen weiterer Forschung. Die vorgeschlagenen Regionen innerhalb des Gesichtsfelds entsprechen ersten Vorschlägen auf dem Stand der verfügbaren Literatur für NIF-Effekte die hauptsächlich durch ipRGCs vermittelt werden und können von weiteren Parametern abhängen, wie z.B. der untersuchten NIF-Wirkung, des Adaptationsniveaus und der Tageszeit.

Bisherige Forschung hat aufgezeigt, dass nachts Unterschiede in der Melatoninsuppression in Abhängigkeit der Richtung aus der das Licht ins Auge fällt existieren. Ob dieser Zusammenhang auch für akute Wachsamkeit in der Nacht besteht, wird in einem vorhergehenden Laborversuch überprüft. Die Übertragbarkeit von der Nacht auf den Tag unter ansonsten gleichen Bedingungen wird in diesem Versuchsaufbau anschließend ebenfalls geprüft. Diese Versuche werden in einem zukünftigen Beitrag vorgestellt und hier nicht näher beschrieben. Der hier vorgestellte Probandenversuch untersucht den Zusammenhang der akuten Aufmerksamkeit und verschiedener Lichtszenen, die Licht aus unterschiedlichen Richtungen in das Auge des Beobachters fallen lassen, am Tag in einem büroähnlichen Testraum.

## 2 Probandenversuch

Das komplexe System der NIF-Effekte beim Menschen wird in Abbildung 3 vereinfacht als Kasten mit Eingangs- (Unabhängige Variablen), Ausgangs- (Abhängige Variablen) und Kontrollgrößen (Moderatorvariablen oder Kontrollvariablen) dargestellt. Eine Änderung einer Eingangsgröße hat unter der Bedingung, dass alle anderen Eingangs- und Kontrollgrößen konstant bleiben, eine bestimmte Änderung einer bzw. mehrerer Ausgangsgrößen zur Folge.

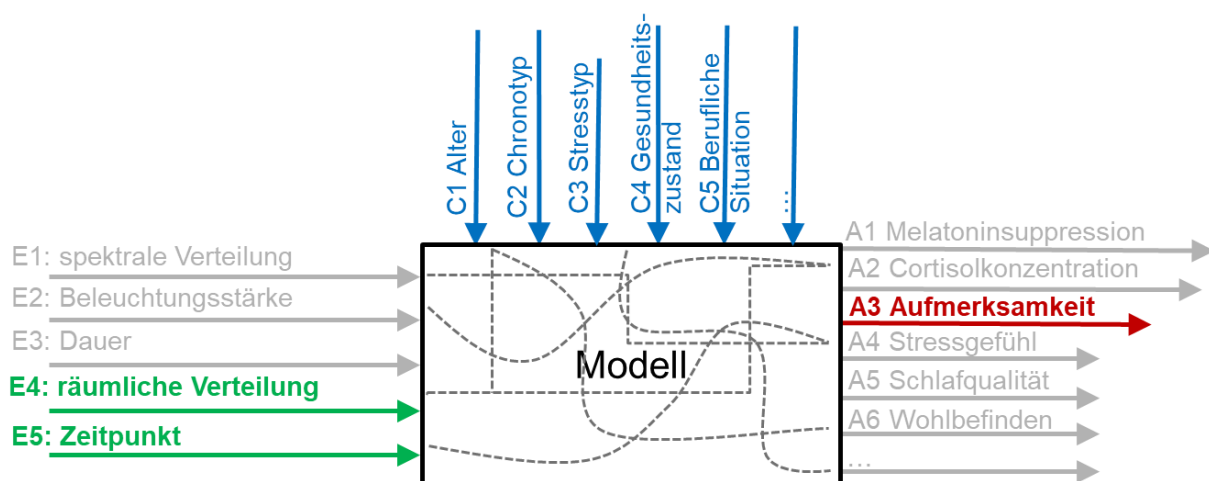


Abb. 3: Schematische Darstellung eines Modells zu Eingangs- (Unabhängige Variablen), Kontroll- (Moderatorvariablen oder Kontrollvariablen) und Ausgangsgrößen (Abhängige Variablen) im Zusammenhang mit NIF-Wirkungen von Licht (Angepasste Grafik des BMBF-Forschungsvorhabens „Nicht-visuelle Lichtwirkungen (NiviL)“)

In dieser Untersuchung wird die räumliche Verteilung des Lichts im beobachteten Halbraum und der Zeitpunkt am Tag als Eingangsgrößen untersucht. Dies wird mit Hilfe eines Probandenversuchs erreicht, und hierzu folgende zu untersuchende Hypothese aufgestellt:

- Die Lichtszene mit Licht vorwiegend aus Region 1+2 steigert tags die akute Aufmerksamkeit stärker als die Lichtszene mit Licht vorwiegend aus Region 3 bei gleicher Beleuchtungsstärke und melanopisch-gewichteter Bestrahlungsstärke am Auge.

### 3 Methodik

Zwei Lichtszenen, eine mit Licht vorwiegend aus Region 1+2 und eine mit Licht vorwiegend aus Region 3, werden bei konstantem Spektrum auf die vertikale Beleuchtungsstärke  $E_{v,v} \approx 1000 \text{ lx}$  eingestellt. Des Weiteren sollen alle photosensitiven Rezeptoren angesprochen werden, da vermutet wird, dass auch der visuelle Wirkungspfad eine Rolle im hervorrufen von NIF-Effekten spielt (Lucas et al. 2014; CIE 2015).

Tab. 1: Übersicht der unabhängigen Variablen und ihrer Wertebereiche

Unabhängige Variablen	Wertebereich
Lichtrichtung	Vermutet wirksam (Region 1+2), vermutet unwirksam (Region 3)
Zeitpunkt	Tags und nachts

Als Ausgangsgröße wird aus mehreren Gründen die akute Wachsamkeit gewählt, um die Auswirkungen auf die NIF-Effekte zu bestimmen: sie lässt sich objektiv (über z.B. Reaktionszeittests) und subjektiv (über z.B. Fragebögen) bestimmen, Tests können visuell oder auditiv durchgeführt werden, sie kann tags- und nachts bestimmt werden, sie wurde bereits in vielen Studien zu NIF-Effekten genutzt, gewährleistet so die Vergleichbarkeit und sie kann relativ schnell und günstig bestimmt werden.

Als objektive Tests werden ein auditiver Reaktionszeittest, wie z.B. auditiver PVT oder AureTIM, genutzt. Die subjektive Bewertung der Wachsamkeit wird per Fragebogen, z.B. Karolinska Sleepiness Scale (KSS) realisiert.

Tab. 2: Übersicht der abhängigen Variable und ihrer Operationalisierung

Abhängige Variable	Operationalisierung	
	Objektiv	Subjektiv
Akute Wachsamkeit	AureTIM, auditory PVT	Karolinska Sleepiness Scale (KSS)

Daneben beeinflusst eine Vielzahl von Moderatorvariablen die Ausprägung der NIF-Wirkungen und auch der akuten Wachsamkeit. Während einige dieser Kontrollvariablen der Probanden, wie Chrono- und Stresstyp, berufliche Situation usw., bereits bei der Registrierung erfasst werden können, können andere, wie z.B. Lichthistorie oder Aufwachzeitpunkt erst im Testblock 1 ermittelt und protokolliert werden.

Des Weiteren werden die Raumtemperatur sowie die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluft kontinuierlich protokolliert. Leuchtdichteaufnahmen und Messung der vertikalen Beleuchtungsstärke auf Augenhöhe vor und nach der Durchführung dienen zur Sicherung konstanter lichttechnischer Bedingungen.

Tab. 3: Übersicht der Kontrollvariablen

Proband (vor Durchführung)	Proband (während Durchführung)	Raum
Alter	Blickrichtung (über Eytracking)	Raumtemperatur (kontinuierlich)
Chronotyp	Änderung des Pupillen- durchmessers (über Eytracking)	CO <sub>2</sub> -Konzentration in der Raumluft (kontinuierlich)
Lichthistorie		Leuchtdichteaufnahme vor und nach Durchführung
Aufwachzeitpunkt		E <sub>v,v</sub> vor und nach Durchführung
Gesundheitszustand		
Schlafdauer		
Stresstyp		
leistungssteigernder Sub- stanzen (inkl. Medikamente, Koffeinkonsum u.ä.)		
berufliche Situation		

## Versuchspersonen

Teilnehmende Probanden müssen normalsichtig (auch korrigiert auf Normalsichtigkeit) sein. Eine Prüfung auf Fehlsichtigkeiten erfolgt vor der Teilnahme. Weitere Kontrollgrößen, wie Lichthistorie, Koffeinkonsum bzw. Einnahme leistungssteigernder Substanzen, Einnahme von Medikamenten, Schlafdauer und Aufwachzeitpunkt sowie Eigenschaften der Probanden, wie Alter, Chronotyp, Stresstyp, Gesundheitszustand und berufliche Situation werden ebenfalls vor der Teilnahme per Fragebogen abgefragt. Der Teilnahme voran gehen die genaue Dokumentation der Schlafzeiten mindestens der drei Tage vor jedem Durchführungstermin.

## Testraum

Die Lichtszenen müssen in einer geeigneten kontrollierten Umgebung eingerichtet und dargeboten werden. An der Technischen Universität Berlin steht ein büroähnlicher Testraum zur Verfügung, mit dem solche Lichtszenen realisiert werden und die Versuche unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden können.

Für diese Untersuchung wird ein mit LEDs hinterleuchteter Versuchsraum mit typischen Dimensionen eines Büros (Breite 5 m, Länge 4 m, Höhe 2,8 m) am Fachgebiet Lichttechnik der Technischen Universität Berlin genutzt. Die Wände dieses Versuchsraums bestehen aus einer transluzenten Folie (Spanndecke), die mit 1470 individuell ansteuerbaren LED-Kacheln einer Größe von 18 cm x 18 cm hinterleuchtet sind. Jede Kachel enthält entweder 36 kaltweiße (ähnlichste Farbtemperatur (CCT) 5900 K) oder warmweiße (CCT 2800 K) LEDs mittlerer Leistung. Die Mischungen bei den genutzten Lichtszenen ergeben ähnlichste

Farbtemperaturen zwischen 4400 K und 4500 K. Die unterschiedlichen Kacheln sind schachbrettartig angebracht, um eine gute Homogenität der Ausleuchtung und Farbtemperaturmischung im Falle der gemeinsamen wie auch separaten Nutzung zu gewährleisten. So ist es möglich, spezifische Leuchtdichteverteilungen mit gleichen sowie unterschiedlichen ähnlichsten Farbtemperaturen in einzelnen Bereichen der Wände und der Decke einzustellen.

Die Lichtszenen zur Überprüfung der Hypothesen werden in diesem Testraum eingerichtet und mittels einer speziell für diesen Zweck entwickelten Messmethode basierend auf einer Leuchtdichtekamera kontrolliert. Diese Messmethode wird im folgenden Abschnitt detaillierter beschrieben.

### Messmethode

An der TU Berlin wurde eine Methodik zur Bewertung von Lichtszenen hinsichtlich der Lichttrichtung entwickelt, die ein Verfahren zur Untersuchung der räumlich aufgelösten Leuchtdichte im gesamten Halbraum nutzt. Dieses basiert auf einer speziellen Leuchtdichtekamera und ermöglicht neben der Messung des Beleuchtungsstärkewertes, auch die  $V'(\lambda)$ -gewichteten und des melanopisch-gewichteten Bestrahlungsstärkewertes jedes einzelnen Pixels. Für den hier dargestellten Versuch ist der Beleuchtungsstärkewert ausreichend, da das Spektrum der Lichtquelle bekannt ist und sich daraus jegliche spektrale Gewichtung berechnen lässt. Daher wird das Prinzip im Folgendem anhand der photometrischen Größen beschrieben, eine analoge Anwendung mit radiometrischen Größen ist möglich (Knoop et al. [im Druck]).

Die Öffnungs- bzw. Raum- und Kippwinkel jedes Pixels, welche durch die Eigenschaften der Kamera bzw. ihrer Optik bestimmt werden, müssen dazu bekannt sein. Somit lässt sich der Beleuchtungsstärkewert auch jedes einzelnen Pixels über folgende Formel aus der Leuchtdichte berechnen.

$$E_{v,v,A} = \int L(\theta, \varphi) \cos(\vartheta) d\Omega = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} L(\theta, \varphi) \cos(\vartheta) \sin(\theta) d\theta d\varphi$$

$E_{v,v,A}$  ist der vertikale Beleuchtungsstärkebeitrag von einem betrachteten Areal A im Gesichtsfeld auf Augenhöhe des Beobachters [lux]

wobei Areal A definiert ist durch die Winkel  $\theta_1$  und  $\theta_2$  und Azimutwinkel  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$

$L(\theta, \varphi)$  ist die Leuchtdichte eines Areals eingeschlossen von dem Raumwinkel  $d\Omega$ , dessen Position im Gesichtsfeld bestimmt ist durch  $\theta, \varphi$  [ $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

$\Omega$  ist der Raumwinkel (Ausgehend vom Empfänger / Auge) [sr]

$\vartheta$  ist der Winkel zwischen der Richtung des Raumwinkels und der Blickrichtung (Normal zur vertikalen Oberfläche) [°]

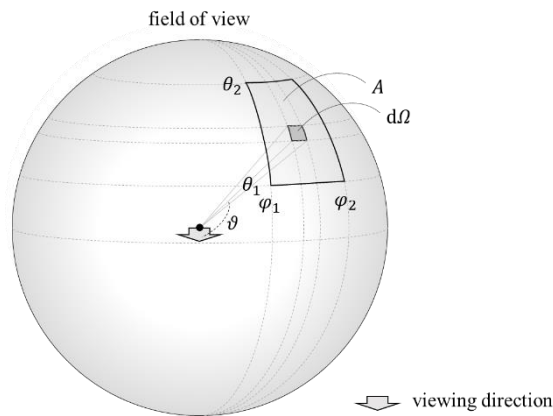


Abb. 1: Graphische Darstellung der relevanten Winkel im Gesichtsfeld des Beobachters (Knoop et al. [im Druck])

Sind die Beleuchtungsstärkewerte jedes einzelnen Pixels berechnet, können die Werte aller Pixel innerhalb definierter Regionen im Gesichtsfeld zusammengefasst werden. Die Einteilung von Regionen und die Zuordnung der entsprechenden Pixel ist, wenn ein Leuchtdichtebild bzw. in Beleuchtungsstärkewerte umgerechnete Daten vorliegen, jederzeit auch zur nachträglichen Analyse und Anpassung an neue Forschungsergebnisse möglich. Zur Darstellung und Auswertung kann der Anteil bestimmter Bereiche des Gesichtsfelds zur gesamten (globalen) vertikalen Beleuchtungsstärke am Auge bestimmt werden und Aussagen über den Anteil der Beleuchtungsstärke aus bestimmten Regionen des Halbraums gemacht werden. So konnte in einer unserer vorherigen Untersuchungen an beispielhaften Lichtszenen gezeigt werden, dass sich die Beleuchtungsstärkewerte einzelner Regionen zwischen verschiedenen Lichtszenen gleicher Beleuchtungsstärke und melanopisch-gewichtete Bestrahlungsstärke um bis zu dem sechsfachen unterscheiden (Broszio et al. 2018). Die Funktionsweise, mögliche Darstellung und Auswertung von Messdaten beispielhafter Lichtszenen wird in „Effective Radiant Flux for Non-image Forming Effects – is the Illuminance and the Melanopic Irradiance at the Eye Really the Right Measure?“ (Broszio et al. 2018) ausführlich beschrieben.

Die derzeitige Konfiguration der Spezialkamera ermöglicht auch jeweils separate Regionen sowie Gewichtungsverläufe für die unterschiedlichen Rezeptortypen über den Halbraum zu definieren und so ggf. Einflüsse der Zapfen und Stäbchen auf NIF-Effekte nachzubilden.

## 1.1 Versuchsablauf

Die Probanden werden bereits bei der Registrierung über die notwendigen Dokumentationen im Vorfeld der Durchführung informiert und das Einverständnis zur Teilnahme und Datenerhebung und -verarbeitung eingeholt.

Die Durchführung des Probandenversuchs im Testraum findet am Nachmittag zur Zeit des nachmittäglichen circadianen Tiefs der Aufmerksamkeit statt. Die Teilnehmenden werden gebeten eine halbe Stunde vor der Durchführung zu erscheinen, Geräte mit selbstleuchtenden Bildschirmen ab diesem Zeitpunkt nicht mehr zu benutzen, keine leistungssteigernden Substanzen (wie z.B. Koffein oder Energydrinks) am Tag der Durchführung zu sich zunehmen und ihr Mittagessen bereits zu sich genommen zu haben. Nach Begrüßung und Hinweisen zur Durchführung, wird ein erster Testblock durchgeführt, um das individuelle Ausgangsniveau zu bestimmen. Daran anschließend erfolgt die Exposition zu einer der beiden



Lichtszenen in zufälliger Reihenfolge. Dabei sitzen die Probanden und legen ihren Kopf in einer Kinnstütze ab. Während der Exposition hören die Teilnehmer ein Hörbuch und werden gebeten den Blick auf ein Ziel auf der gegenüberliegenden Wand festhalten. Die Blickrichtung und Größenänderung der Pupillen wird per Eyetracking dokumentiert. Nach 30 min Exposition wird der zweite Testblock durchgeführt. Insgesamt sind zwei Teilnahmen für jeden Probanden (eng.: within subject design) erforderlich, da interindividuelle Varianzen in der retinalen Sensitivität möglich sind.

Ein Testblock besteht aus der Durchführung eines auditiven PVT und dem Beantworten eines Fragebogens. Dieser Fragebogen enthält neben allgemeinen Fragen zum Wohlbefinden, die KSS und weitere Fragen zu den Lichtbedingungen.

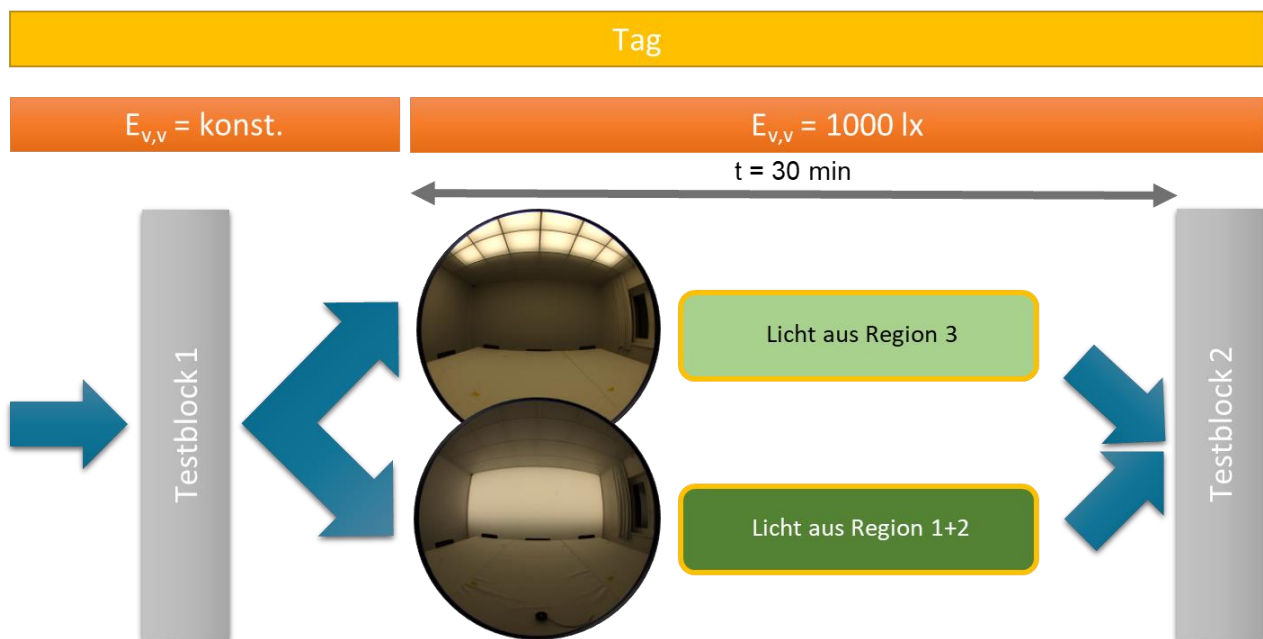


Abb. 4: Schematische Darstellung des Versuchsablaufs (Lichtszenen, absolute Beleuchtungsstärkeniveaus, des Tageszeitpunkts)

#### 4 Fazit

Diese Untersuchung nutzt die bereits bekannten Hinweise zu retinalen Sensitivitätsunterschiede für Melatonin-suppression in Laborexperimenten während der Nacht und überträgt diese auf die akute Wachsamkeit am Tag in einem büroähnlichen Testraum.

Dazu wurden Regionen im Gesichtsfeld vorgeschlagen, die nach vorläufigem Forschungsstand von Interesse für NIF-Effekte sind. Eine geeignete jederzeit anpassbare Messmethodik wurde entwickelt, die es ermöglicht den Halbraum dahingehend zu untersuchen, aus welchen Raumregionen welcher Beitrag zur Beleuchtungsstärke stammt. So können Lichtszenen eingerichtet werden, die am Empfänger nahezu die gesamte Beleuchtungsstärke aus einer oder mehrerer der vorgeschlagenen Regionen hervorruft.

In diesem Beitrag wird das Vorgehen zur Durchführung eines Probandenversuchs beschrieben und nach Durchführung im Winter 2018 und Abschluss der Auswertung des Probandenversuchs werden Daten vorliegen, die eine Auswertung bezüglich des Einflusses dieser

Lichtszenen auf die akute Wachsamkeit bei Tag ermöglichen und damit einen Hinweis geben, ob die retinalen Sensitivitätsunterschiede in Bezug auf nächtliche Melatoninsuppression auch für akute Wachsamkeit während des Tags gelten. Diese Ergebnisse werden die zukünftige Lichtplanung in Hinsicht einer ganzheitlichen Planung, die auch NIF-Effekte von Licht mit einbezieht, beeinflussen und möglicherweise die zentrale Rolle des mittleren Gesichtsfelds für NIF-Effekte hervorheben.

## Literaturverzeichnis

- Brainard, G. C.; Rollag, M. D.; Hanifin, J. P. (1997): Photic regulation of melatonin in humans. Ocular and neural signal transduction. In: *Journal of Biological Rhythms* 12 (6), S. 537–546. DOI: 10.1177/074873049701200608.
- Broszio, Kai; Knoop, Martine; Niedling, Mathias; Völker, Stephan (2018): Effective Radiant Flux for Non-image Forming Effects – is the Illuminance and the Melanopic Irradiance at the Eye Really the Right Measure? In: *Light & Engineering/Svetotekhnika* 26 (2), S. 68–74.
- CIE (2014): Guide to protocols for describing lighting. Vienna (Technical report / CIE, 213).
- CIE (2015): Technical Note. Report on the First International Workshop on Circadian and Neurophysiological Photometry, 2013. CIE (CIE TN, 003:2015). Online verfügbar unter [http://files.cie.co.at/785\\_CIE\\_TN\\_003-2015.pdf](http://files.cie.co.at/785_CIE_TN_003-2015.pdf), zuletzt geprüft am 25.08.2018.
- Glickman, Gena; Hanifin, John P.; Rollag, Mark D.; Wang, Jenny; Cooper, Howard; Brainard, George C. (2003): Inferior Retinal Light Exposure Is More Effective than Superior Retinal Exposure in Suppressing Melatonin in Humans. In: *Journal of Biological Rhythms* 18 (1), S. 71–79. DOI: 10.1177/0748730402239678.
- Knoop, Martine; Broszio, Kai; Diakite, Aicha; Liedtke, Carolin; Niedling, Mathias; Rothert, Inga et al. (im Druck): Methods to Describe and Measure Lighting Conditions in Experiments on Non-Image-Forming Aspects. In: *LEUKOS*.
- Lasko, T. A.; Kripke, D. F.; Elliot, J. A. (1999): Melatonin Suppression by Illumination of Upper and Lower Visual Fields. In: *Journal of Biological Rhythms* 14 (2), S. 122–125. DOI: 10.1177/074873099129000506.
- Lucas, Robert J.; Peirson, Stuart N.; Berson, David M.; Brown, Timothy M.; Cooper, Howard M.; Czeisler, Charles A. et al. (2014): Measuring and using light in the melanopsin age. In: *Trends in neurosciences* 37 (1), S. 1–9. DOI: 10.1016/j.tins.2013.10.004.
- Rüger, Melanie; Gordijn, Marijke C. M.; Beersma, Domien G. M.; Vries, Bonnie de; Daan, Serge (2005): Nasal versus Temporal Illumination of the Human Retina: Effects on Core Body Temperature, Melatonin, and Circadian Phase. In: *Journal of Biological Rhythms* 20 (1), S. 60–70. Online verfügbar unter <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0748730404270539>.
- Smith, Julian S.; Kripke, Daniel F.; Elliott, Jeffrey A.; Youngstedt, Shawn D. (2002): Illumination of upper and middle visual fields produces equivalent suppression of melatonin in older volunteers. In: *Chronobiology International* 19 (5), S. 883–891. DOI: 10.1081/CBI-120014107.
- Visser, E. Kathalijne; Beersma, Domien G. M.; Daan, Serge (1999): Melatonin Suppression by Light in Humans Is Maximal When the Nasal Part of the Retina Is Illuminated. In: *Journal of Biological Rhythms* 14 (2), S. 116–121. DOI: 10.1177/074873099129000498.

Wang, Jenny Y.; Hanifin, John P.; Rollag, Mark D.; Brainard, George C. (1999): Ocular Regulation of the Human Pineal Gland. The Significance of Total Retinal Exposure for Melatonin Suppression. In: Michael F. Holick und Ernst G. Jung (Hg.): Biologic Effects of Light 1998: Proceedings of a Symposium Basel, Switzerland November 1-3, 1998. Boston, MA: Springer US, S. 367–374. Online verfügbar unter [http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-5051-8\\_59](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-5051-8_59).