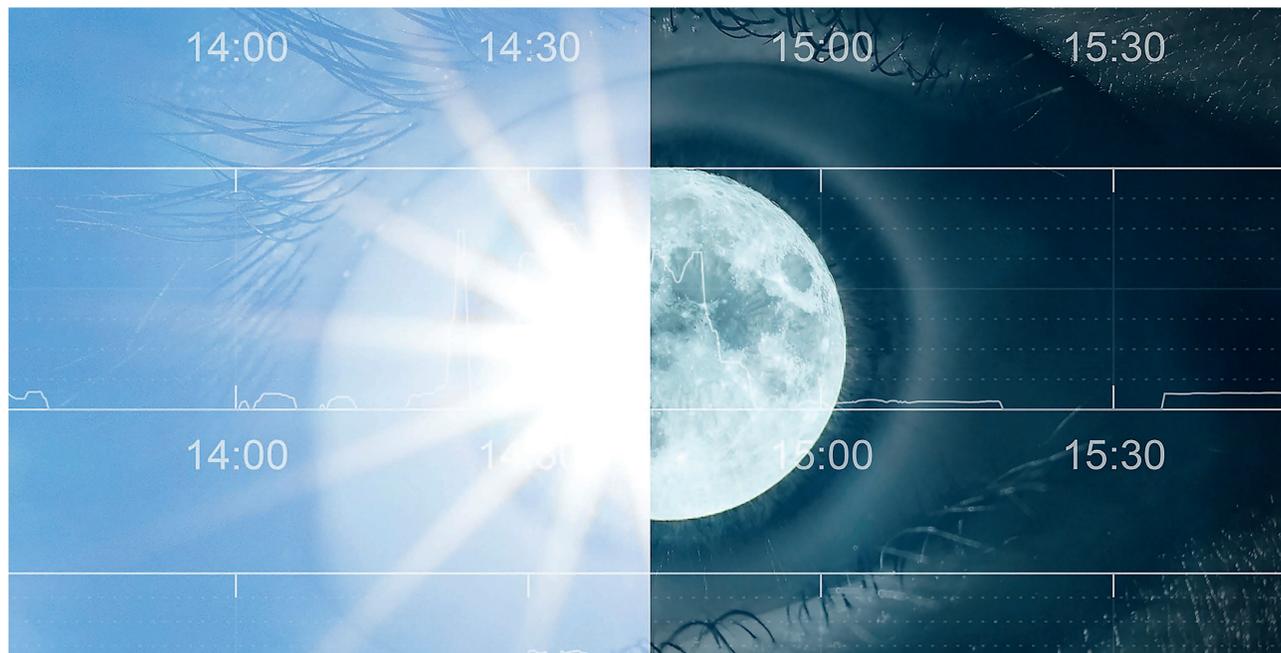


# Light-Dosimeter – Ein neues Gerät zur Erforschung von nicht-visuellen Lichtwirkungen

Janine Stampfli & Prof. Björn Schrader - Hochschule Luzern, Technik & Architektur, Institut für Gebäudetechnik & Energie  
Technikumstrasse 21, 6048 Horw, Schweiz; [janine.stampfli@hslu.ch](mailto:janine.stampfli@hslu.ch); [www.light-dosimeter.ch](http://www.light-dosimeter.ch)



## 1. AUSGANGSLAGE UND RELEVANZ

Auf die Netzhaut unseres Auges treffendes Licht löst sowohl visuelle als auch nicht-visuelle Reaktionen aus, die einen tiefgreifenden Einfluss auf unser Verhalten, unsere Gesundheit und unser Wohlbefinden haben. Die Erforschung der nicht-visuellen Lichtwirkungen ist eine relativ neue Disziplin, da die dafür hauptsächlich verantwortlichen Photorezeptoren in unseren Augen, die intrinsisch photosensitiven retinalen Ganglienzellen (auf Englisch mit »ipRGC« abgekürzt), erst vor ungefähr 20 Jahren bei Mäusen entdeckt und dann beim Menschen bestätigt wurden [1,2].

Während sich diese Photorezeptoren und die Fähigkeit des menschlichen Körpers, Licht zu verarbeiten, unter dem natürlichen Hell-Dunkel-Zyklus entwickelt haben, verbringen Menschen in industrialisierten Ländern den grössten Teil des Tages in geschlossenen Räumen [3,4,5]. In einem Gebäude wird das Tageslicht durch Fensterglas gefiltert und durch Kunstlicht ergänzt oder ersetzt. Daher ist das Licht in Innenräumen in der Regel von geringerer Intensität und unterscheidet sich in der Lichtverteilung und spektralen Zusammensetzung vom natürlichen Licht im Freien. Darüber hinaus verlängert Kunstlicht die helle Periode, was sich auf verschiedene Weise negativ auf die menschliche Gesundheit auswirkt [6,7]. Erst mit der Veröffentlichung der CIE S 026:2018 »CIE System für die Metrologie optischer Strahlung für ipRGC-beeinflusste Antworten auf Licht« [8] durch die Internationale Beleuchtungskommission wurde 2018 eine Einigung bezüglich zu verwendende Messgrößen erreicht.

## 2. PROJEKT

### 2.1 ZIEL

Ziel des Projektes war die Entwicklung eines "Enabling Devices" zur Erforschung der nicht-visuellen Lichtwirkungen. Schlüsselaspekte hierbei waren:

- 1) Das Gerät sollte so nahe wie möglich am Auge messen
- 2) Die Messgrößen sollten der CIE S 026:2018 [3] folgen
- 3) Die Forschenden sollten die Messdaten erhalten und besitzen

### 2.2 VORGEHEN

Für das Projekt wurde ein interdisziplinärer Ansatz gewählt. Das Team der Hochschule Luzern wurde durch externe Projektpartner mit Expertise in Chronobiologie, Medizin und Metrologie ergänzt. Zu Beginn fanden Interviews mit potenziell künftigen Nutzenden eines solchen Geräts zur Ermittlung der Anforderungen statt, z.B. Beleuchtungsstärken, Wellenlängenbereich, Aufzeichnungsintervalle und zusätzliche wünschenswerte Funktionalitäten. Darüber hinaus wurden die Eigenschaften und Leistungsmerkmale sowie Bewertungen ähnlicher Geräte untersucht. Gleichzeitig wurde eine umfassende Analyse von handelsüblichen Lichtsensoren vorgenommen. Danach begann die Entwicklung der Elektronik, des Gehäuses, der Halterung und auch der dazugehörigen Software. Ausserdem wurde für die Kalibrierung ein entsprechender Aufbau gefertigt und Software geschrieben.

## 3. DELIVERABLES

### 3.1 GERÄTE & HALTERUNGEN

Das im Rahmen des Projekts entwickelte Light-Dosimeter ist klein und leicht genug, dass es an einer Brille befestigt getragen werden kann (Abb. 1). In dieser Position misst es innerhalb des Wellenlängenbereichs von 380 nm bis 780 nm in der Ebene der Hornhaut des Tragenden, was von einem Grossteil der Forschenden als die beste verfügbare Alternative für die Netzhautbestrahlung betrachtet wird [9]. Es führt verlässliche Messungen ab 5 lux und bis über 100.000 lux durch. Ein eingebauter Beschleunigungssensor misst die Neigung des Geräts, woraus auf die Blickrichtung des Tragenden geschlossen werden kann. Eine LED gibt den Akku-Stand des aktivierten Gerätes an. Ein Druckknopf dient als Marker bestimmter Ereignisse, so dass beispielsweise Daten gewisser Zeitfenster in der Analyse vertieft betrachtet oder auch ausgeschlossen werden können.



Abb. 1: Ein an einer Brille befestigtes Light-Dosimeter (Foto: Licht@hslu)

### 3.2 SPEZIFIKATIONEN:

Grösse des Gehäuses:	58 mm × 20,6 mm × 16 mm
Gewicht:	~27 g
Aufzeichnungsintervall:	10 Sekunden
Wellenlängenbereich:	380 nm to 780 nm
Messbereich:	~5 lx to 100'000 lx
Akku-Laufzeit:	~7 Tage
Akku-Ladezeit:	~2 Stunden
Speicherplatz:	~300 Tage
Schnittstelle:	Mikro USB
Schutzart:	IP20

### 3.3 MESSGRÖSSEN

Mit einer Messung alle zehn Sekunden werden Daten für Zeitreihenanalysen der folgenden Messgrößen erzeugt:

- $\alpha$ -opische Bestrahlungsstärke ( $E_v$ ) [8]
- $\alpha$ -opisch äquivalente Tageslichtbeleuchtungsstärke ( $D_{65}$ ) ( $E_{v,d}^{D65}$ ) [8]
- Photopische Beleuchtungsstärke ( $E_v$ )
- Ähnlichste Farbtemperatur (CCT) und Duv [10] und
- Neigungswinkel des Geräts (zwischen -90° und +90°)

In den Zeitreihen ist auch ersichtlich, wann der Ereignismarker verwendet wurde.

### 3.4 SOFTWARE

Mit der eigens für die Light-Dosimeter entwickelten Software »Lido Studio« können Forschende eine Testreihe vorbereiten und nach Abschluss auf dem Bildschirm analysieren. Hierbei können sie das zu untersuchende Zeitfenster und die Messgrößen frei wählen. Die fünf verfügbaren Grafiken (Abb. 2) passen sich dem betrachteten Ausschnitt an.

Die gesammelten Daten stehen den Forschenden zur freien Verfügung. Sie sind auf einem lokalen Gerät und nicht in einer Cloud gespeichert, wodurch die Forschenden weiterhin die Datenhoheit besitzen.

Zusätzlich gibt es die Möglichkeiten, die Grafiken herunterzuladen, einen PDF-Bericht zu generieren und die Daten in eine csv-Datei zur vertieften Analyse zu exportieren.



Abb. 2: Screenshot von einer Grafik in der Datenanalyse in "Lido Studio" (Foto: Licht@hslu)

## 4. ERSTE MESSUNGEN

Im Rahmen des Projektes durchliefen die Light-Dosimeter im Jahr 2021 unterschiedliche Tests. Im Eidgenössischen Institut für Metrologie (METAS) wurden die Light-Dosimeter auf ihre spektralen und lichttechnischen Eigenschaften hin untersucht. Die Ergebnisse waren überzeugend. So betrug beispielsweise die Abweichung der photopischen Beleuchtungsstärke bei weißen Lichtquellen weniger als 5%. In ersten Versuchsreihen mit den Light-Dosimetern wurden an der Hochschule Luzern die Lichtexposition über mehrere Tage in realen

## Team HSLU

Prof. Björn Schrader<sup>1</sup>, Prof. Othmar Schälli<sup>2</sup>, Dr. Gisela Wichmann<sup>2</sup>, Prof. Erich Styger<sup>2</sup>, Christian Di Battista<sup>2</sup>, Janine Stampfli<sup>1</sup>, Reto Häfliger<sup>1</sup>, Christoph Zumbühl<sup>2</sup>, Martin Friedli<sup>2</sup>, Said Ahsaine<sup>3</sup>, Stefan Ineichen<sup>3</sup>, Diego Rohner<sup>3</sup>, Silvio Emmenegger<sup>2</sup>, Christian Jost<sup>2</sup>, Stefan Lustenberger<sup>4</sup>, David Huwiler<sup>2</sup>, Erny Niederberger<sup>2</sup>, Justin Rüssli-Kueh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Gebäudetechnik & Energie

<sup>2</sup> Institut für Elektrotechnik

<sup>3</sup> Institut für Innovation und Technologiemanagement

<sup>4</sup> Institut für Maschinen- und Energietechnik

## Projektpartner

Prof. Dr. Christian Cajochen, Universitäre Psychiatrische Kliniken Basel, Zentrum für Chronobiologie, 4012 Basel, Schweiz

Dr. Peter Blattner, Eidgenössisches Institut für Metrologie (METAS), 3003 Bern-Wabern, Schweiz

Prof. Dr. med. Herbert Plischke, Fachhochschule München, Fakultät für angewandte Naturwissenschaften, 80335 München, Deutschland

Das Projekt wurde von der Velux Stiftung gefördert (No. 1134)

# VELUX STIFTUNG

Umgebungen erfasst und untersucht. Durch diese Selbstversuche konnten sie nicht nur wichtige Erkenntnisse aus der Perspektive eines Forschenden gewinnen, sondern sie wurden gleichzeitig auch sensibilisiert, wie Probandinnen und Probanden das Tragen von einem Light-Dosimeter erleben. Beides fließt nun in die Empfehlungen für den zukünftigen Gebrauch der Geräte ein.

Ferner wurden am Zentrum für Chronobiologie der Universität Basel hilfreiche Resultate erzielt, indem Messungen eines Light-Dosimeters mit denjenigen eines Eye Trackers, der den Pupillendurchmesser des Trägers oder der Trägerin misst, kombiniert wurden. Die Ergebnisse all dieser Tests wurden Ende September 2021 an der CIE Midterm Conference vorgestellt. [3] Gleichzeitig wurden die Light-Dosimeter einem ersten »Härtetest« unterzogen, denn sie kamen in einer Studie der Bergen Stress and Sleep Group der Universität Bergen (Norwegen) zum Einsatz (Abb. 3). Die Forschenden setzten die Light-Dosimeter im städtischen Leben und in den norwegischen Bergen ein, um zu untersuchen, wie künstliches und natürliches Licht das Stressreaktionssystem des Körpers beeinflusst.



Abb. 3: Probanden der Studie in Norwegen (Foto: @espenbibow - Bergen Stress and Sleep Group)

## 5. AUSBLICK

Seit diesem Jahr sind die Light-Dosimeter für Studien im Bereich der nicht-visuellen Lichtwirkungen verfügbar. Es wurden mehrere Projekte eingegeben, in denen die Light-Dosimeter eingesetzt werden sollen. Aktuell ist die Anzahl Geräte auf 40 Stück limitiert. Um deren Nutzen zu maximieren, werden die Light-Dosimeter an andere Forschungsteams für ein bestimmtes Zeitfenster verliehen. So soll die Forschung im Bereich der nicht-visuellen Lichtwirkungen vorangetrieben und gleichzeitig eine "Community" aufgebaut werden. Bei Interesse nehmen Sie gern mit uns Kontakt auf.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Berson, D.M., Dunn, F.A. & Takao, M. (2002) Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science* (New York, N.Y.), 295(5557), 1070–1073. <https://doi.org/10.1126/science.1067262>.
- [2] Hattar, S., Liao, H.W., Takao, M., Berson, D.M. & Yau, K.W. (2002) Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science* (New York, N.Y.), 295(5557), 1065–1070. <https://doi.org/10.1126/science.1069609>.
- [3] Klepeis, N.E., Nelson, W.C., Ott, W.R., Robinson, J.P., Tsang, A.M. & Switzer, P. et al. (2001) The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 11(3), 231–252. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500165>.
- [4] Leech, J.A., Nelson, W.C., Burnett, R.T., Aaron, S. & Raizenne, M.E. (2002) It's about time: a comparison of Canadian and American time-activity patterns. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 12(6), 427–432. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500244>.
- [5] Swetzer, C., Edwards, R.D., Bayer-Oglesby, L., Gauderman, W.J., Olacqua, V. & Jantunen, M.J. et al. (2007) Indoor time-microenvironment-activity patterns in seven regions of Europe. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 17(2), 170–181. <https://doi.org/10.1038/sj.jes.7500490>.
- [6] Stevens, R.G., Brainard, G.C., Blask, D.E., Lockley, S.W. & Motta, M.E. (2014) Breast cancer and circadian disruption from electric lighting in the modern world. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 64(3), 207–218. <https://doi.org/10.3322/caac.21218>.
- [7] Blume, C., Garbaza, C. & Spitschan, M. (2019) Effects of light on human circadian rhythms, sleep and mood. *Somnologie*, 23(3), 147–156. <https://doi.org/10.1007/s11818-019-00215-x>.
- [8] Internationale Beleuchtungskommission (2018), CIE S 026:2018: CIE System für die Metrologie optischer Strahlung für ipRGC-beeinflusste Antworten auf Licht, Wien, Österreich. <https://doi.org/10.25039/S026.2018>.
- [9] Münch, M., Wirz-Justice, A., Brown, S.A., Kantermann, T., Martiny, K. & Stefani, O. et al. (2020) The Role of Daylight for Humans: Gaps in Current Knowledge. *Clocks & Sleep*, 2(1), 61–85. <https://doi.org/10.3390/clocks2010008>.
- [10] Ohno, Y. (2014) Practical Use and Calculation of CCT and Duv. *LEUKOS*, 10(1), 47–55. <https://doi.org/10.1080/15502724.2014.839020>.
- [11] Stampfli, J.R., Lazar, R., Spitschan, M., Schrader, B., Di Battista, C., Häfliger, R., Schälli, O., Wichmann, G., Zumbühl, C., Blattner, P. & Cajochen, C. The Light-Dosimeter – A New Device to Help Advance Research on The Non-visual Responses to Light. In: Proceedings of the Conference CIE 2021. International Commission on Illumination, CIE, December 2021. <https://doi.org/10.25039/x48.2021.op18>