

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse  
**Band:** 109 (2018)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Das richtige Licht, zur richtigen Zeit = La bonne lumière au bon moment  
**Autor:** Blattner, Peter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-857009>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

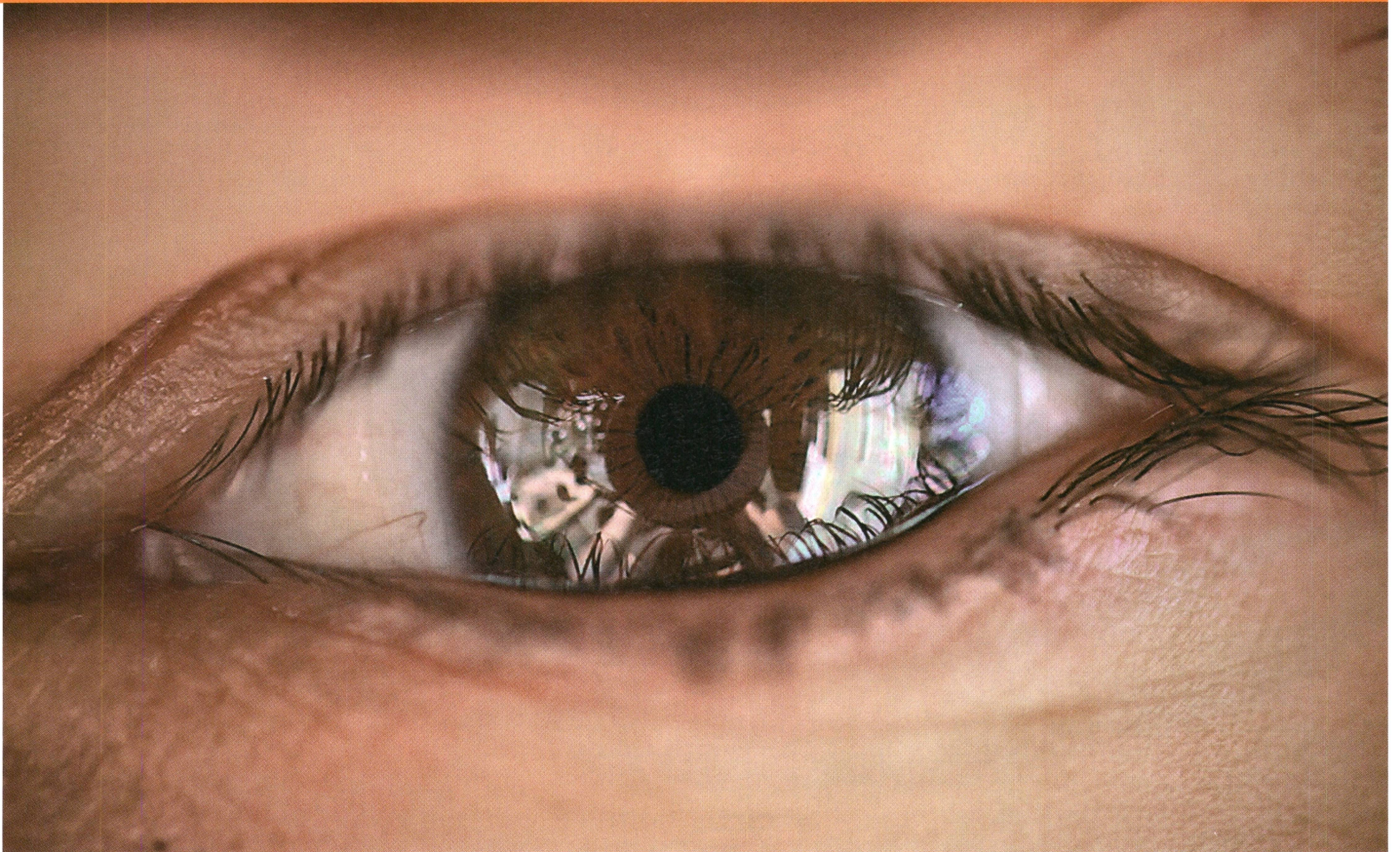
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 02.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



Neben Stäbchen und Zäpfchen befinden sich auf der Netzhaut die fotosensitiven Ganglienzellen ipRGC, die einen Einfluss auf unseren Tagesrhythmus haben.

## Das richtige Licht, zur richtigen Zeit

**Lichteffekte beurteilen** | Licht ist mehr als wir sehen, es ist für unser Wohlbefinden zentral. Um mit künstlicher Beleuchtung auch das Wohlbefinden des Menschen zu verbessern, müssen Intensität, spektrale Zusammensetzung und zeitlicher Verlauf berücksichtigt werden. Die Internationale Beleuchtungskommission CIE erarbeitet entsprechende Methoden zur Formulierung quantitativer Aussagen.

TEXT PETER BLATTNER

**W**ir benötigen Licht in erster Linie zum Sehen. Licht ist aber auch essenziell für die menschliche Gesundheit, die Leistungsfähigkeit und das Wohlbefinden. Die zugrunde liegenden biologischen Ursachen entdeckten Forscher 1991. Wissenschaftliche Studien zeigten, dass es auf der Netzhaut von Mäusen neben Stäbchen und Zäpfchen eine dritte Klasse von Fotorezeptoren gibt, welche einen Einfluss auf unseren Tagesrhythmus haben. Diese fotosensitiven Ganglienzellen, üblicherweise abgekürzt mit ipRGC (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells),

befinden sich auch auf der Netzhaut des menschlichen Auges. Nebst dem Einfluss auf den Tagesrhythmus konnte nachgewiesen werden, dass ipRGC in Zusammenarbeit mit den Zäpfchen und Stäbchen noch für weitere, nicht visuelle Effekte zuständig sind. Dazu gehören der Pupillenlichtreflex, also das Erweitern oder Verengen der Pupillen bei Helligkeitsunterschieden und die subjektive Wachsamkeit.

### Auswirkungen auf den Menschen

Aus der Erkenntnis, dass Licht positive und negative Auswirkungen auf Men-

schen haben kann, entwickelte sich ein neues Forschungs- und Anwendungsgebiet: «Human Centric Lighting». Der Begriff wird zwar gerne durch die Marketingabteilung der Beleuchtungsindustrie verwendet, ist aber etwas irreführend, denn eigentlich sollte bei jeder Lichtplanung der Mensch, respektive die benötigte Sehaufgabe, im Zentrum stehen. Die Internationale Beleuchtungskommission (CIE, Commission Internationale d'Eclairage) spricht daher meistens von «ganzheitlicher» Beleuchtung – integrative lighting. Die Grundidee ist, dass die künstliche Beleuchtung jeweils so

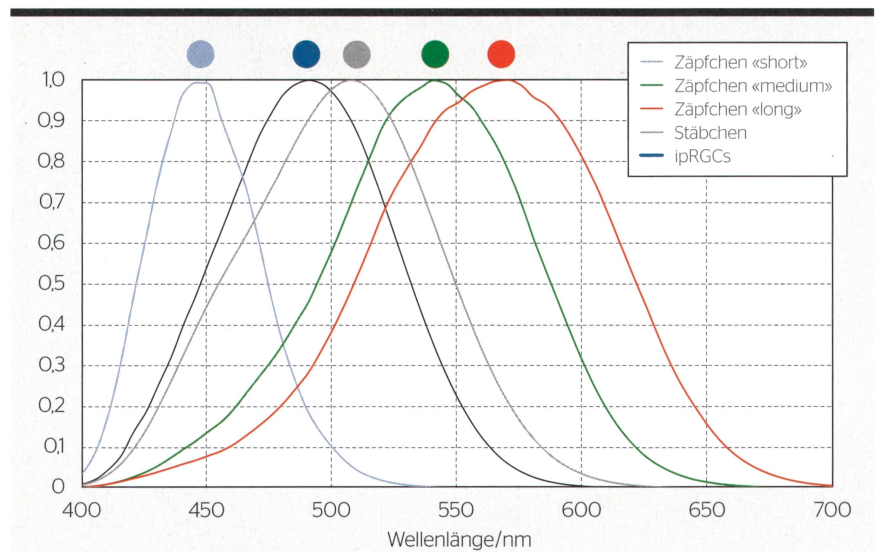
angepasst wird, dass sie sich nebst der eigentlichen Schaufgabe auch positiv auf das Wohlbefinden des Menschen auswirkt. Mittels der gezielten Stimulation der ipRGCs kann die Beleuchtung den Tagesrhythmus beeinflussen. Da diese Zellen hauptsächlich im blauen Spektralbereich empfindlich sind, wird typischerweise die Farbtemperatur der Beleuchtung entsprechend dem natürlichen Tagesverlauf angepasst: Am Mittag eher kaltweisses Licht mit einem höheren Blauanteil, morgens und abends eher warmweisses Licht.

Verschiedene Studien deuten darauf hin, dass das Licht, welches am Abend von Displays (Smartphones, Tablets und Laptops) ausgeht, einen negativen Einfluss auf die Schlafqualität hat. Dabei gibt es Hinweise, dass der Einfluss von kaltweissem Licht grössere Effekte hervorruft als von warmweissem Licht [2] und die lichtempfindlichen Zellen (ipRGCs) eine wichtige Rolle spielen. Umgekehrt ist anerkannt, dass sich absolute Dunkelheit in der Nacht positiv auf die Schlafqualität, das Aufwachen und die Tagesaktivität auswirken. Es geht somit nicht nur um die absolute Lichtmenge und deren spektrale Zusammensetzung, die auf die Netzhaut fällt, sondern auch um die zeitliche Änderung und die dadurch abwechselnde Stimulation der Fotorezeptoren.

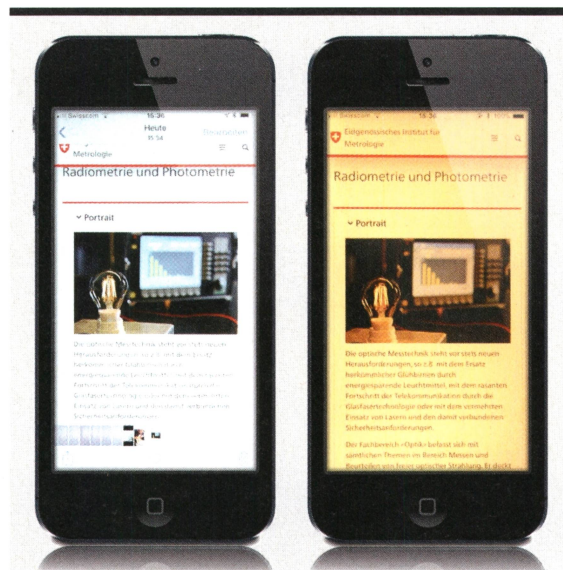
### Quantitative Aussagen in der gleichen Sprache

Schwieriger wird es bei quantitativen Aussagen. Wie viel Licht mit welcher spektralen Zusammensetzung und zu welchem Zeitpunkt soll auf die Netzhaut fallen, um möglichst positiv zu wirken? Zudem ist immer noch nicht ganz klar, welchen Einfluss die Einfallrichtung auf das Auge hat, denn die ipRGCs sind auf der Netzhaut räumlich nicht gleichmässig verteilt. Damit die Forschungsergebnisse vergleichbar und verständlich sind, muss sichergestellt werden, dass alle Beteiligten dieselben Messgrössen und Einheiten verwenden. Die CIE hat daher ein divisionsübergreifendes technisches Komitee etabliert, das Joint Technical Committee 9 (JTC9). Es definiert die entsprechende Metrik und wird sie als internationale Norm in Kürze veröffentlichen.

Grundlage der Norm bilden die Wirkungsfunktionen der fünf unterschiedlichen Fotorezeptoren im menschl-



**Bild 1** Wirkungsfunktionen der fünf unterschiedlichen Fotorezeptoren im menschlichen Auge. Das Maximum der Wirkungsfunktion der fotosensitiven Ganglienzellen (ipRGCs) liegt im cyan-blauen Bereich.



**Bild 2** Bei der Nightshift-Funktion (rechts) wird die Farbeinstellung dem Tagesverlauf angepasst, das Spektrum des Lichtes verringert die melanopische Beleuchtungsstärke.

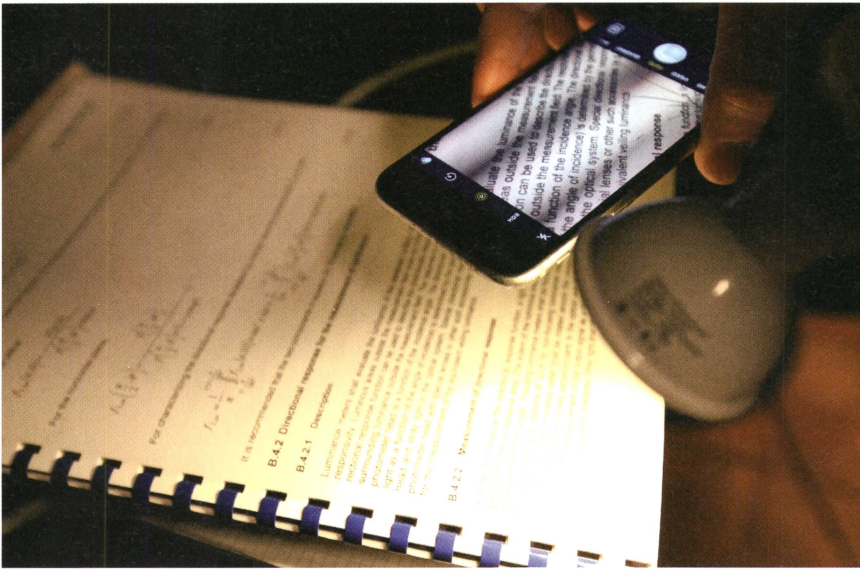
chen Auge: Den drei Arten Zäpfchen (short, medium, long), den Stäbchen und den ipRGCs. Diese Wirkungsfunktionen sind in **Bild 1** dargestellt. Das Maximum der Wirkungsfunktion des ipRGCs liegt bei 490 nm, also im cyan-blauen Bereich.

Neben den Wirkungsfunktionen definiert das JTC9 die dazugehörigen Messgrössen: Zum Beispiel kann mit Hilfe der melanopischen Bestrahlungsstärke die Strahlungsleistung pro Einheitsfläche ( $W/m^2$ ) quantifiziert werden, welche gewichtet nach der Wirkungsfunktion der ipRGCs auf die Hornhaut des menschlichen Auges fällt. Wichtig ist, dass sich diese Mess-

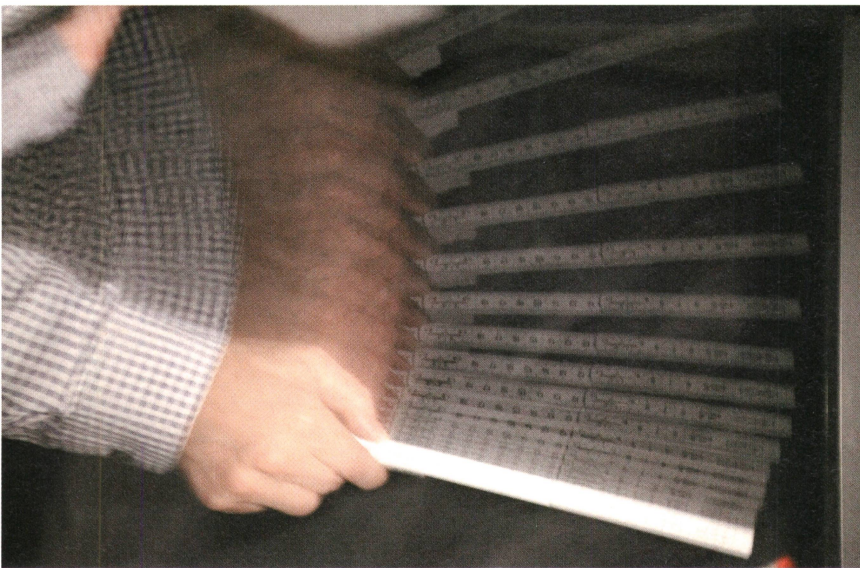
grössen auf SI-Einheiten abstützen, und nicht eigene Einheiten verwendet werden, wie vereinzelt in Publikationen vorgeschlagen wird. Damit haben nun die Wissenschaftler die Möglichkeit, ihre Forschungsergebnisse in einer international anerkannten Sprache auszutauschen.

### Wirkung von Displays

Auch das Optiklabor des Metas beteiligt sich an der Forschung auf diesem Gebiet. Es hat im Auftrag des Bundesamts für Gesundheit (BAG) verschiedene Displays von Smartphones, Tablets, Laptops und Bildschirmen vermessen und gemäss den bekannten



**Bild 3** Flickereffekte können bei genügender Lichtmenge und der daraus resultierenden kurzen Integrationszeit («elektronische Verschlusszeit») mittels Smartphone visualisiert werden.



**Bild 4** Stroboskop-Effekt: Ein bewegtes Objekt unter einer zeitlich schnell veränderlichen Beleuchtung.

Wirkungsfunktionen für verschiedene Effekte beurteilt. Neben den oben erwähnten, nicht visuellen Effekten kann blaue und damit hochenergetische Strahlung bei sehr hohen Lichtmengen und über längere Zeit die Netzhaut durch einen fotochemischen Effekt nicht reversibel schädigen (Fotoretinitis, Blaulichtgefährdung). In der Studie wurden daher Displays auch auf mögliche Blaulichtgefährdung und Flickereffekte (zeitliches Flimmern) untersucht. Aus den Messungen haben sich unter anderem folgende Erkenntnisse ergeben:

- Keines der untersuchten Objekte ist kritisch in Bezug auf eine mögliche Blaulichtgefährdung der Netzhaut. Diese Erkenntnis ist wenig überraschend, denn damit die Netzhaut gefährdet ist, braucht es viel höhere Strahldichtewerte, welche bei weissem Licht zu hoher Blendung führen würden.
- Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Farbtemperatur und der melanopischen Wirkung. Je höher die Farbtemperatur, umso blauweisser ist das Licht und umso höher der Anteil der melanopisch wirksamen Strahlung pro Lichtmenge.

• Einzelne Smartphones und Tablets verfügen über die Möglichkeit, die Farbeinstellung dem Tagesverlauf anzupassen (Nightshift-Funktion), siehe **Bild 2**. Das Spektrum des Lichtes ändert sich deutlich. Dadurch verringert sich die melanopische Beleuchtungsstärke im Extremfall um rund einen Faktor 4. Es fehlen aber die wissenschaftlichen Erkenntnisse, ob nun diese Verringerung genügend ist oder ob sogar eine etwas weniger extreme Einstellung reichen würde. Damit diese Fragen beantwortet werden könnten, müsste eine breit angelegte klinische Studie durchgeführt werden. Es ist eine der Fragen, die auch in der CIE-Forschungsstrategie definiert ist.

• Die im Handel verkauften Schutzfolien, die vor «schädlicher» Strahlung schützen sollen und direkt auf das Smartphone aufgelegt werden, haben keine Wirkung: Sie blockieren die Strahlung nur unterhalb von 380 nm, also im UV-Bereich, dort, wo die Displays selbst keine Strahlung abgeben.

Die wechselnde Lichtmenge ist nicht nur über den Tagesverlauf wichtig. Die schnelle zeitliche Änderung der Helligkeit von LED ist eine interessante und zu untersuchende Eigenschaft. Sie ermöglicht die gezielte Anpassung der Lichtmenge. Dazu braucht es eine Ansteuerungselektronik mit einem entsprechenden Vorschaltgerät, das den Strom, der durch die LED fliesst, drosselt.

Da die Reaktionszeit der LED sehr kurz ist, kann auch ein zweites Dimmverfahren eingesetzt werden. Der LED-Strom wird binär, mit Frequenzen von 100 Hz und mehr ein- und ausgeschaltet. Ändert man nun das Verhältnis von der Einschalt- zur Ausschaltdauer (Pulsweitenmodulation), ändert sich die mittlere Helligkeit der Lichtquelle. Dabei ist wichtig, dass die gewählte Modulationsfrequenz hoch genug ist, um nicht wahrgenommen zu werden. Durch Pulsweitenmodulation kann die LED stufenlos bis auf tiefe Niveaus gedimmt werden, das Lichtspektrum bleibt dabei weitgehend unverändert. Bei neuartigen Beleuchtungssystemen werden meistens beide Dimmverfahren kombiniert eingesetzt.

In der Praxis hat sich nun aber gezeigt, dass moduliertes Licht, selbst bei Frequenzen oberhalb der visuellen

Wahrnehmungsgrenze von ungefähr 150 Hz, unter Umständen störend wirken kann. Beispielsweise ermüden empfindliche Personen schneller unter modulierter Beleuchtung als bei konstantem Licht. Die CIE hat diese Problematik erkannt und ein erstes Dokument veröffentlicht, das die Grundlagen für eine gemeinsame Metrik sowie die Begrifflichkeit definiert.[3] Es wird im Wesentlichen von drei verschiedenen Effekten gesprochen:

### Flicker

Ein fixer Beobachter betrachtet ein ruhendes Objekt unter einer zeitlich schnell veränderlichen Beleuchtung. Oft bemerkt man diese Effekte nur am seitlichen Rande des Gesichtsfeldes, da dort die Empfindlichkeit für zeitlich variierende Effekte am höchsten ist. Flickereffekte können auch mittels Smartphone-Kameras sichtbar gemacht werden (Bild 3).

### Stroboskop-Effekte

Ein fixer Beobachter betrachtet ein bewegtes Objekt unter einer zeitlich schnell veränderlichen Beleuchtung (Bild 4). In gewissen Anwendungen kann dadurch eine gesundheitsgefährdende Situation entstehen: Etwa wenn sich eine mechanische Bearbeitungsmaschine genau in der Grundfrequenz oder einer vielfach-harmonischen Frequenz dreht, wie die Beleuchtung einer Werkhalle flimmert, erscheint die Maschine still zu stehen. Stroboskop-Effekte können aber auch im Alltag auftreten: Bei einer pulsweitenmodulierten Beleuchtung erscheint die Bewegung einer strukturierten Oberfläche (zum Beispiel ein kariertes Hemd) als ruckartig.

### Perlschnur-Effekt (Phantom array effekt, Ghosting)

Ein bewegter Beobachter betrachtet ein (meist ruhendes) Objekt unter einer zeitlich schnell veränderlichen Beleuchtung, oder das Objekt selbst strahlt moduliertes Licht aus. Dieser Effekt kann zum Beispiel in Eisenbahntunnels beobachtet werden, wenn Punktleuchten an der Tunnelwand montiert sind. Das abgestrahlte Licht erscheint als unterbrochene Linie.

### Research Forum: Austausch fördern

Die Beschreibung der Effekte kann entweder im Zeitbereich durch Darstellen und Auswerten der zeitlichen Modulation erfolgen oder im Frequenzbereich durch Festlegen von Modulationsspektren. Es hat sich aber gezeigt, dass die in der Vergangenheit verwendeten Messgrößen, wie Modulationstiefe und Flickerindex, nicht genügen, um den gesundheitlichen Einfluss der komplexen Effekte abzubilden und Grenzwerte zu definieren. Auch hier ist die internationale Forschungscommunity aufgerufen, ihre Aktivitäten zu verstärken.

Um den wissenschaftlichen Austausch zwischen den verschiedenen Forschungsgruppen zu stimulieren, hat die CIE eine neue Art der Zusammenarbeit definiert: Ein «Research Forum» bildet ein weltweites Netzwerk, das sich mit einem bestimmten Forschungsthema befasst. Als erstes Research Forum wurde das RF-02 «Matters Relating to Temporal Light Modulation» eingerichtet. Interessenten können sich direkt über die Webseite der CIE anmelden.[1] Damit aner-

kennt die CIE auch die Dringlichkeit des Forschungsgebiets, denn im Moment besteht für die Lichtindustrie, die Normierung, aber auch die Gesetzgeber die Schwierigkeit, quantitative Aussagen bezüglich der störenden Wirkung von moduliertem Licht zu machen und damit auch das Risiko, dass neu installierte Beleuchtungsanlagen aufwendig saniert werden müssen, falls sich die Benutzer nicht wohlfühlen.

Mit der Einführung von neuartigen Lichtquellen ergibt sich eine Vielzahl von Möglichkeiten und dadurch die Chance, das richtige Licht angepasst an die Bedürfnisse der Benutzer bereitzustellen. Es bestehen aber auch Risiken, dass Licht störend oder im Extremfall sogar schädlich ist. Es ist daher wichtig, entsprechende Metriken zur Beurteilung von Effekten des Lichts auf den Menschen zur Verfügung zu stellen. Dies bedingt eine enge Zusammenarbeit zwischen der Metrologie und der Anwendergemeinschaft.

#### Referenzen

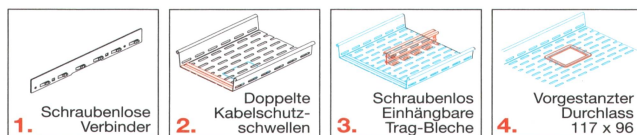
- [1] [www.cie.co.at](http://www.cie.co.at)
- [2] Sarah Laxhmi Chellappa, Roland Steiner, Peter Blattner, Peter Oelhafen, Thomas Götz, Christian Cajochen, «Non-Visual Effects of Light on Melatonin, Alertness and Cognitive Performance: Can Blue-Enriched Light Keep Us Alert?», PLoS One. 2011 Jan 26;6(1):e16429. doi: 10.1371/journal.pone.0016429
- [3] CIE TN 006:2016 «Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems - Definitions and Measurement Models», frei verfügbar auf [www.cie.co.at](http://www.cie.co.at)



#### Autor

Dr. Peter Blattner ist Laborleiter Optik im Eidgenössischen Institut für Metrologie Metas.  
→ Metas, 3003 Bern-Wabern  
→ [peter.blattner@metas.ch](mailto:peter.blattner@metas.ch)

Dieser Beitrag erschien ursprünglich in: METInfo, Vol. 25, 1/2018.



### Die besten Kabelbahnen die es gibt!

**1. Schraubenlose Verbinder.** – Für alle ganzen Kabelbahnen und für Abschnitte.

**2. Doppelte Kabelschutzschwellen an den Enden.**

**3. Schraubenlos einhängbare Trag-Bleche.** Mehr Tragkraft. Weniger Durchbiegung.

**4. Vorgestanzter Durchlass im Kabelbahn-Boden.** Korrosionsfest ZMA 310 verzinkt und Stahl rostfrei A4.



**lanz oensingen ag**  
CH-4702 Oensingen  
Südringstrasse 2  
www.lanz-oens.com  
info@lanz-oens.com  
Tel. ++41/062 388 21 21  
Fax ++41/062 388 24 24

## Sind Sie schon Digital? T-solutions

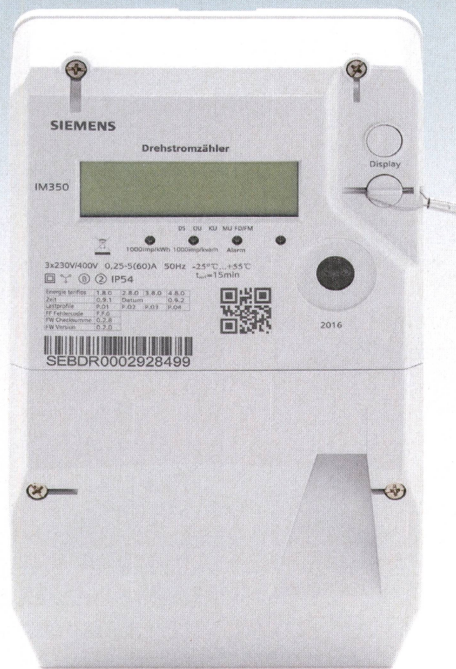
innovativ. kreativ.  
dennoch pragmatisch.  
[www.teconia.ch](http://www.teconia.ch)

**Teconia**



# SIEMENS

*Ingenuity for life*



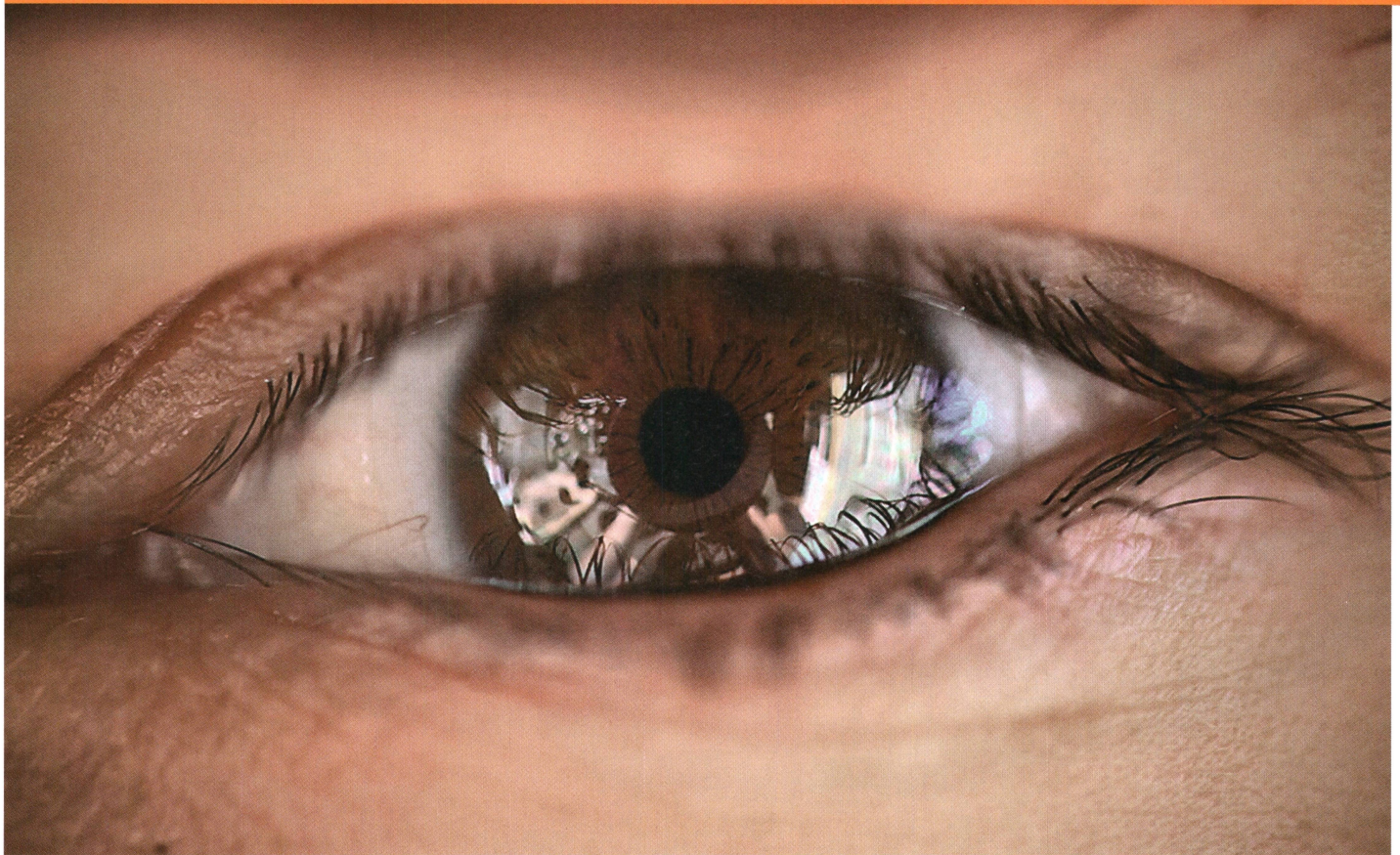
## IM350 – der Smart Meter für die digitale Welt

Smart, sicher und mit offenen Schnittstellen

Der Smart Meter IM350 ist ein Alleskönner. Der intelligente Multifunktionszähler wurde von Siemens für die neusten Systemanforderungen und zukünftigen Herausforderungen im Strommarkt konzipiert. Er erfüllt in seiner Bauweise die aktuellsten internationalen sowie nationalen Standards und erlaubt damit auch eine nahtlose Integration in bestehende Multi-Vendor-Umgebungen. Der Smart Meter ist mit einem G3-PLC- und FCC-Kommunikationsmodul ausgestattet, arbeitet auf höchstem Sicherheitsniveau und überzeugt durch starke Funktionalitäten. Der IM350 ermöglicht – im Zusammenspiel mit dem Intelligenten Metering System (IMS) und der damit verbundenen durchgängigen End-to-End Security Lösung – das Sammeln, Validieren und Auswerten von Stromdaten nahezu in Echtzeit.

Siemens Schweiz AG  
Energy Systems, Freilagerstrasse 40, 8047 Zürich, Schweiz  
Tel. +41 585 583 580, [power.info.ch@siemens.com](mailto:power.info.ch@siemens.com)

[siemens.ch/energy](http://siemens.ch/energy)



Les cellules ganglionnaires photosensibles ipRGC de la rétine ont notamment une influence sur le rythme circadien.

# La bonne lumière au bon moment

**Évaluation des effets de la lumière** | La lumière est un élément essentiel à notre bien-être. L'éclairage artificiel se doit donc aussi d'améliorer ce dernier. Pour ce faire, l'intensité, la composition spectrale et l'évolution temporelle de l'éclairage doivent être considérés. La CIE élabore des méthodes permettant de formuler des évaluations quantitatives de ces paramètres basées uniquement sur des unités SI.

TEXTE PETER BLATTNER

**N**ous avons besoin de lumière avant tout pour voir. Toutefois, la lumière est aussi essentielle à la santé des personnes, à leurs performances et à leur bien-être. Des chercheurs en ont découvert les causes biologiques sous-jacentes en 1991. Des études scientifiques ont montré qu'il existe sur la rétine des souris, outre les cônes et les bâtonnets, un troisième type de photorécepteurs qui ont une influence sur notre rythme circadien. Ces cellules ganglionnaires photosensibles, ou ipRGC (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells), se trouvent aussi sur la rétine de l'œil

humain. Outre l'influence sur le rythme circadien, il a été démontré que les ipRGC sont, avec les cônes et les bâtonnets, également responsables d'autres effets non liés à la vue. Il s'agit notamment du réflexe photomoteur, c'est-à-dire de la dilatation ou de la contraction des pupilles en cas de différences de luminosité, ainsi que de la vigilance subjective.

## Effets sur l'être humain

Un nouveau domaine de recherche et d'application est né du constat que la lumière a des effets à la fois positifs et négatifs sur l'être humain: le « Human

Centric Lighting » (l'éclairage centré sur l'humain). Si cette notion est souvent utilisée par les services marketing de l'industrie de l'éclairage, elle peut également induire en erreur puisque l'être humain, ou la tâche visuelle requise, devrait toujours être au centre de toute planification d'éclairage. C'est pourquoi la Commission internationale de l'éclairage (CIE) [1] parle généralement d'éclairage « intégratif » (integrative lighting).

L'idée de base consiste à adapter l'éclairage artificiel de sorte qu'il remplisse non seulement sa tâche visuelle proprement dite, mais qu'il ait en outre

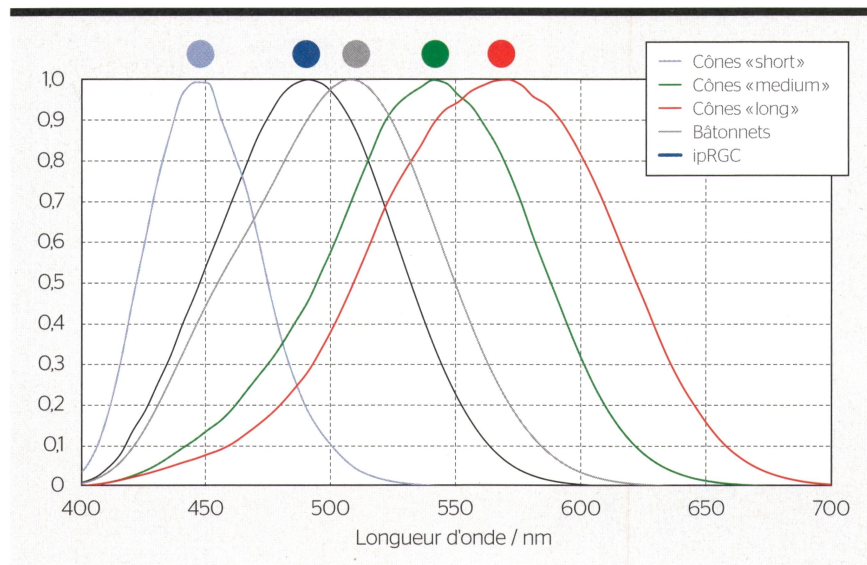
un effet positif sur le bien-être de l'humain. L'éclairage peut en effet influencer le rythme circadien par une stimulation ciblée des ipRGC. Étant donné que ces cellules ganglionnaires sont sensibles principalement dans le spectre du bleu, il s'agit généralement d'adapter la température de la couleur de l'éclairage en fonction du moment de la journée: un blanc froid à composante bleue élevée à midi et un blanc chaud le matin et en soirée.

Différentes études montrent que la lumière diffusée le soir par les écrans (smartphones, tablettes et ordinateurs portables) est néfaste pour la qualité du sommeil. Certains éléments indiquent que la lumière de couleur blanc froid a plus d'effets que la lumière blanc chaud sur le sommeil [2] et que les cellules ganglionnaires photosensibles (ipRGC) jouent un rôle important. Inversement, il est reconnu que l'obscurité absolue durant la nuit a un effet bénéfique sur la qualité du sommeil, le réveil et l'activité diurne. La quantité de lumière absolue qui touche la rétine ainsi que sa composition spectrale ne sont donc pas les seuls facteurs entrant en ligne de compte; le changement temporel ainsi que la variation de la stimulation des photorécepteurs qui y est liée jouent également un rôle.

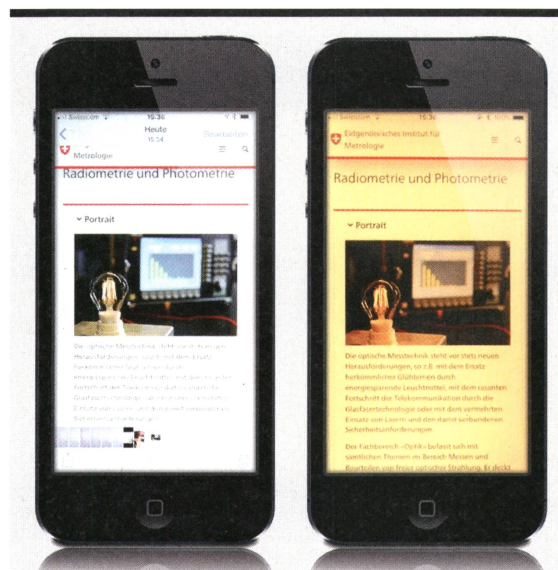
### Des évaluations quantitatives dans le même langage

La situation se complique avec les évaluations quantitatives. Combien de lumière faut-il, quelle doit être sa composition spectrale et à quel moment doit-elle toucher la rétine pour obtenir un effet positif optimal? En outre, l'influence de la direction d'incidence sur l'œil n'est pas encore très claire, car la répartition spatiale des ipRGC sur la rétine n'est pas uniforme. Afin de garantir la compréhension et la comparabilité des résultats des travaux de recherche, il est essentiel que tous les acteurs utilisent les mêmes mesurandes et unités. C'est pourquoi la CIE a mis sur pied un comité technique interdivisionnel, le Joint technical committee 9 (JTC9). Il définit la métrique correspondante et la publiera prochainement sous forme de norme internationale (CIE S 026).

La norme se base sur les spectres d'action actiniques des cinq types de photorécepteurs de l'œil humain: les trois sortes de cônes (short, medium,



**Figure 1** Spectres d'action actiniques des cinq photorécepteurs différents de l'œil humain. Les cellules ganglionnaires photosensibles (ipRGC) possèdent un maximum de sensibilité dans la zone bleu cyan.



**Figure 2** Lorsque la fonction «night shift» (éclairage nocturne) est activée (à droite), le spectre de la lumière varie au fil de la journée et l'éclairage mélanopique est réduit en conséquence.

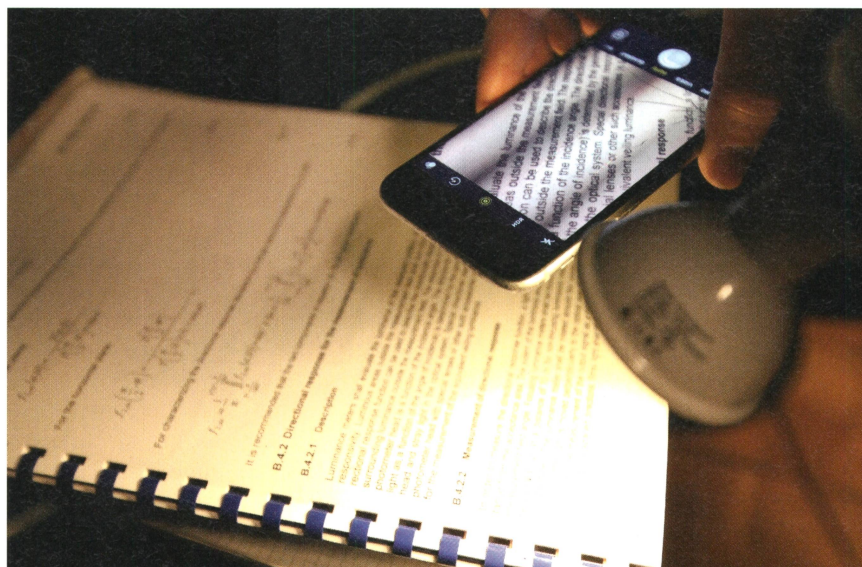
long), les bâtonnets et les ipRGC. La **figure 1** représente les spectres d'action actiniques des ipRGC. Ces cellules possèdent un maximum de sensibilité à 490 nm, soit dans la zone bleu cyan.

Outre les spectres d'action actiniques, le JTC9 définit les mesurandes correspondants: par exemple, l'éclairage énergétique mélanopique permet de quantifier la puissance rayonnée par unité de surface ( $W/m^2$ ) qui, pondérée selon le spectre d'action actinique des ipRGC, atteint la cornée de l'œil humain. Il est essentiel que ces mesurandes se fondent sur des unités SI (Système international d'unités) et non sur des unités propres telles que

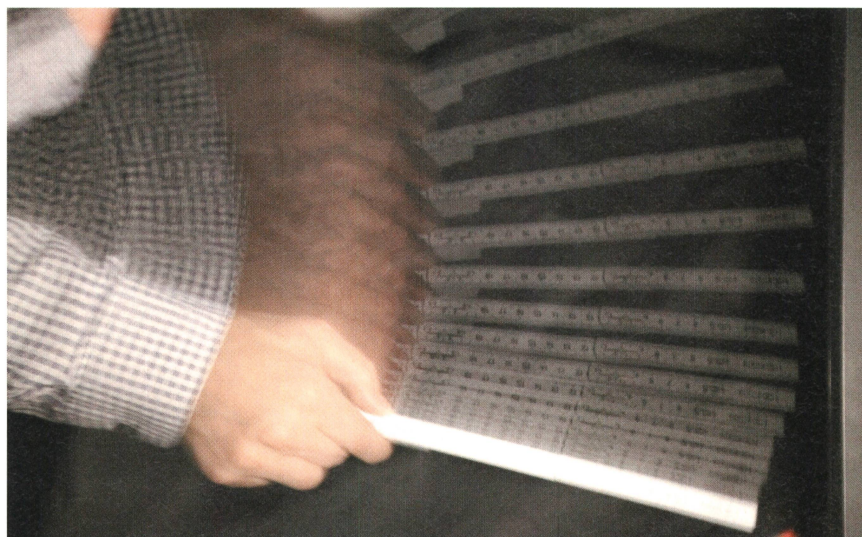
celles suggérées dans certaines publications. Ainsi, les chercheurs ont la possibilité d'échanger leurs résultats dans un langage reconnu au niveau international.

### Effets de l'exposition aux écrans

Le laboratoire Optique de Metas participe, lui aussi, à la recherche dans ce domaine. Sur mandat de l'Office fédéral de la santé publique (OFSP), il a mesuré différents écrans de smartphones, tablettes, ordinateurs portables et divers écrans plats, et les a évalués selon les fonctions exposition-réponse connues pour les différents effets. Outre les effets non visuels susmentionnés, le rayonne-



**Figure 3** Un smartphone permet de visualiser les effets du papillotement lorsque la quantité de lumière est suffisante et lorsque le temps d'intégration en résultant est assez court (« vitesse d'obturation électronique »).



**Figure 4** Effet stroboscopique: un objet en mouvement sous un éclairage changeant rapidement.

ment bleu, très énergétique, peut causer, par effet photochimique, des lésions irréversibles de la rétine (photorétinitis, risque lié à la lumière bleue) quand la quantité de lumière est très élevée et quand l'exposition est prolongée. C'est pourquoi cette étude des écrans a aussi porté sur les possibles risques liés à la lumière bleue et sur les effets du papillotement (changement de luminance à brefs intervalles). Les mesures ont permis d'arriver notamment aux constats suivants:

- Aucun des objets examinés n'est critique quant à un possible risque lié à la lumière bleue sur la rétine. Ce

constat est peu surprenant, car un risque rétinien implique des valeurs de luminance énergétique bien plus élevées, valeurs qui entraîneraient un fort éblouissement dans le cas de la lumière blanche.

- Il y a un rapport entre la température de couleur et l'effet mélanopique. Plus la température de la couleur est élevée, plus la lumière blanche tire vers le bleu et plus la proportion de rayonnement à effet mélanopique par quantité de lumière est élevée.
- Certains smartphones et tablettes offrent la possibilité, par le biais de leur fonction « night shift » (éclairage

nocturne), de modifier la couleur de leur écran en cours de journée (**figure 2**). Le spectre de la lumière change alors considérablement. L'éclairage mélanopique peut ainsi être réduit d'un facteur pouvant aller jusqu'à près de 4 dans des cas extrêmes. Les connaissances scientifiques actuelles ne permettent cependant pas encore de dire si cette réduction est suffisante ou si un réglage un peu moins puissant conviendrait aussi. Il faudrait réaliser une vaste étude clinique afin de pouvoir répondre à ces questions. C'est l'une des interrogations définies également dans la stratégie de recherche de la CIE.

- Les feuilles de protection vendues dans le commerce, qui sont destinées à protéger des rayonnements « nocifs » et qui s'appliquent directement sur le smartphone, n'ont aucun effet: elles ne bloquent que les rayonnements d'une longueur d'onde inférieure à 380 nm, donc dans le spectre UV dans lequel les écrans ne génèrent aucun rayonnement.

Le changement de la quantité de lumière est important, mais pas uniquement du point de vue du déroulement de la journée. Les fluctuations rapides de la luminosité des LED sont aussi une propriété intéressante à examiner. Cette dernière permet une adaptation ciblée de la quantité de lumière. Pour ce faire, il faut une électronique de commande avec un ballast correspondant qui limite le courant traversant la LED.

Le temps de réaction des LED étant très court, un second processus de variation peut être appliqué. La LED est mise sous et hors tension de manière binaire à des fréquences de 100 Hz et plus. En modifiant le rapport entre la durée sous tension et la durée hors tension (modulation de largeur d'impulsion), il est possible de changer la luminosité médiane de la source lumineuse. Il est cependant important de choisir une fréquence de modulation suffisamment élevée pour qu'elle ne soit pas perceptible. La modulation de largeur d'impulsion permet de tamiser en continu la LED jusqu'à de bas niveaux d'intensité, et ce, presque sans modifier le spectre lumineux. Les nouveaux systèmes d'éclairage combinent généralement les deux processus de variation.

Toutefois, il s'est avéré dans la pratique que la lumière modulée peut être gênante même à des fréquences se situant au-delà du seuil de perception visuelle, soit 150 Hz environ. Par exemple, les personnes sensibles se fatiguent plus vite sous un éclairage modulé qu'avec une lumière constante. La CIE a reconnu cette problématique et a publié un premier document qui définit les bases d'une métrique commune ainsi que sa terminologie [3]. On parle principalement de trois effets différents: le papillotement, les effets stroboscopiques et l'effet « chapelet » (phantom array effect, ghosting).

### Papillotement (flicker)

Le papillotement se manifeste lorsqu'un observateur fixe regarde un objet au repos sous un éclairage changeant rapidement. Bien souvent, on ne remarque cet effet que sur le bord latéral du champ visuel, là où la sensibilité aux variations dans le temps est la plus grande. L'appareil photo d'un smartphone permet aussi de visualiser les effets du papillotement (figure 3).

### Effets stroboscopiques

Dans ce cas, un observateur fixe regarde un objet en mouvement sous un éclairage changeant rapidement (figure 4). Cela peut d'ailleurs engendrer un danger pour la santé dans certaines situations: par exemple quand une machine-outil tourne exactement à la fréquence de base à laquelle l'éclairage de l'atelier papillote, ou à une fréquence harmonique multiple de ladite fréquence de base, la machine-outil semble être à l'arrêt. Les effets stroboscopiques peuvent aussi se produire dans la vie de tous les jours: le mouve-

ment d'une surface texturée (par exemple une chemise à carreaux) paraît alors saccadé sous un éclairage à modulation de largeur d'impulsion.

### Effet « chapelet »

Dans ce dernier cas de figure, un observateur en mouvement regarde un objet (généralement au repos) sous un éclairage changeant rapidement, ou alors l'objet émet lui-même une lumière modulée. On observe par exemple cet effet dans les tunnels ferroviaires, quand des spots sont installés sur la paroi du tunnel. La lumière émise apparaît dès lors comme une ligne discontinue.

### Promouvoir les échanges

La description de ces effets se fait soit dans la plage temporelle, par représentation et évaluation de la modulation temporelle, soit dans la gamme des fréquences, par détermination de spectres de modulation. Toutefois, il est apparu que les mesurands utilisés par le passé, notamment la profondeur de modulation et l'indice de papillotement, sont insuffisants pour représenter l'impact que les effets complexes ont sur la santé et pour définir les valeurs limites. La communauté scientifique internationale est invitée à renforcer ses activités également dans ce domaine.

Afin de stimuler les échanges scientifiques entre les différentes équipes de recherche, la CIE a défini un nouveau type de collaboration: un « Research Forum », soit un réseau mondial qui traite un thème de recherche déterminé. Le premier Research Forum mis sur pied est le RF-02 « Matters Relating to Temporal Light Modulation ». Les personnes intéressées peuvent s'inscrire directement sur le site Web de la

CIE [1]. La CIE reconnaît ainsi l'urgence de ce domaine de recherche, car pour l'heure, l'industrie de l'éclairage, les organismes de normalisation, mais aussi les législateurs ont du mal à formuler des évaluations quantitatives relatives à l'effet perturbateur de la lumière modulée et, par conséquent, il existe un risque de devoir rénover à grands frais des systèmes d'éclairage fraîchement installés parce que les utilisateurs ne se sentent pas à l'aise.

L'introduction de nouvelles sources lumineuses offre une multitude de possibilités et, de ce fait, l'opportunité de proposer la bonne lumière, soit celle qui est adaptée aux besoins des utilisateurs. Cependant, il existe aussi le risque que la lumière perturbe, voire se révèle nocive dans des cas extrêmes. Il est donc important de mettre à disposition les métriques adéquates pour l'évaluation des effets de la lumière sur l'être humain. Cela implique une collaboration étroite entre les organismes de métrologie et la communauté des utilisateurs.

### Références

- [1] [www.cie.co.at](http://www.cie.co.at)
- [2] Sarah Laxhmi Chellappa, Roland Steiner, Peter Blattner, Peter Oelhafen, Thomas Götz, Christian Cajochen, «Non-Visual Effects of Light on Melatonin, Alertness and Cognitive Performance: Can Blue-Enriched Light Keep Us Alert?», PLoS One, 2011 Jan 26;6(1):e16429. doi:10.1371/journal.pone.0016429.
- [3] CIE TN 006:2016, «Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems - Definitions and Measurement Models», disponible gratuitement sur le site [www.cie.co.at](http://www.cie.co.at).

### Auteur

**Peter Blattner** est chef du laboratoire Optique à l'Institut fédéral de métrologie Metas.  
→ Metas, 3003 Berne-Wabern  
→ [peter.blattner@metas.ch](mailto:peter.blattner@metas.ch)

Cet article est paru dans METInfo, vol. 25, 1/2018.

ÜBERZEUGENDE WEB-AUFTRITTE  
MIT KNOW-HOW UND LEIDENSCHAFT.

[www.somedia-production.ch](http://www.somedia-production.ch)

**somedia**  
PRODUCTION

PRINT VIDEO WEB

## LANZ protected®

LANZ waterprotected® Übertragungs-Stromschienen widerstehen unbeschadet Feuchtigkeit und Wasser IP68 – SN-EN 60529.

Korrosionsschäden unterbleiben. Auch die MULTIFIX-Befestigungsbügel aus rostfreiem Stahl A4 korrodieren nicht.

LANZ – kompetent in Stromschienen. Rufen Sie an: 062 388 21 21. Verlangen Sie Auskunft und Offerte.

ST57\_1

**stromschienen**  
**lanz oensingen ag**

CH-4702 Oensingen  
Südringstrasse 2

[www.lanz-oens.com](http://www.lanz-oens.com)  
info@lanz-oens.com

Tel. ++41/062 388 21 21  
Fax ++41/062 388 24 24