

Vom Flicker zum Wohlfühllicht = Du papillotement à une lumière agréable

Autor(en): **Mahlkow, Adrian / Rothert, Inga**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **111 (2020)**

Heft 11

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-914781>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



Vom Flicker zum Wohlfühllicht

Analyse von Lichtartefakten | Flicker, auch als Flackern bezeichnet, kann künstliche Beleuchtung sichtbar oder auch unterschwellig unangenehm machen und sogar zu gesundheitlichen Störungen führen. Neuste Ansätze zur Messung dieser «temporalen Lichtartefakte» bedienen sich der Übertragungstheoreme der Nachrichtentechnik, um eine präzise Beschreibung möglich zu machen.

ADRIAN MAHLKOW, INGA ROTHERT

LEDs haben als Leuchtmittel eine Revolution in der Beleuchtung nicht nur in Bezug auf die Effizienz, sondern auch bei der Formensprache von Leuchten ausgelöst. Licht und Lichtquelle sind nun nicht mehr aneinandergekoppelt, der Fantasie sind fast keine Grenzen mehr gesetzt. Das Leuchtmittel ist ein reines optoelektronisches Bauelement. Jeder, der eine rein optoelektronische Schaltung entwerfen kann, ist nun in der Lage, eine

Leuchte zu entwickeln. Dass dabei nicht nur gutes Licht «herauskommt», haben viele sicher schon beim Kauf von Retrofits erfahren und sich die bewährte Glühlampe zurückgewünscht. Damit der Markt hier reinigend wirken kann, haben sich viele Masszahlen etabliert, die vor zehn Jahren nur Experten bekannt waren: Farbtemperatur, Farbwiedergabe, Effizienz, Lebensdauer etc. Anhand dieser Werte kann der Verbraucher zumeist entscheiden, zu wel-

chem Produkt er greifen soll. Trotzdem bleibt aber manchmal ein mulmiges Gefühl.

Flicker - Zeitliche Schwankungen der Intensität

LEDs sind Leuchtmittel, die dem Strom der Elektronik unmittelbar folgen und mit Reaktionszeiten von teilweise weniger als $0,1 \mu\text{s}$ ein- und ausgeschaltet werden können. Jede noch so kurze Spannungsschwankung kann bei

ungünstig entworfener Elektronik direkt in eine Lichtschwankung übertragen werden. Positiv kann dies beim Dimmen von LEDs genutzt werden, um die wahrgenommene Helligkeit durch sehr schnelles Ein- und Ausschalten in der zeitlichen Mittelung durch den Betrachter zu reduzieren (sogenannte PWM: Pulsweiten-Modulation). Schaltet man hier zu langsam oder zu unregelmässig, wird das Licht als flackernd empfunden und man spricht von Flicker.

Klassischer Flicker (0 bis 85 Hz)

Flicker ist allgemein ein Eindruck der Unstetigkeit bei visuellen Empfindungen, hervorgerufen durch Lichtreize mit zeitlicher Schwankung der Leuchtdichten oder der spektralen Verteilung.[6] Die Wahrnehmungsschwelle unterscheidet sich von Mensch zu Mensch erheblich, wie man es früher von den Röhrenmonitoren kannte. Mancher hatte kein Problem mit 50 Hz Wiederholfrequenz, andere waren erst ab 85 Hz halbwegs zufrieden. Hinzu kommt, dass unser Auge peripher deutlich höhere Frequenzen erkennen kann als im Ort des schärfsten Sehens. Evolutionär wohl ein Selektionsvorteil, da der Säbelzahntiger selten von vorne kam. Aber zurück in die Gegenwart: Das störende Flackern am Blickfeldrand verschwindet, wenn man die Ursache sucht und im Raum umherblickt. Angenehm kann die Beleuchtung also erst sein, wenn unter keinen Umständen ein Flackern wahrnehmbar ist. Nach einigen Untersuchungen schon seit den 1930ern mit Leuchtstoffröhren und in den letzten beiden Jahrzehnten mit LEDs ist unter Fachleuten eine Frequenz von 400 Hz als nicht mehr wahrnehmbar anerkannt. Ist damit alles gesagt? Wenn die LED mit konstanter Helligkeit leuchtet und eine entsprechende Glättung des Stroms durchgeführt wird, gibt es kein Flicker.

Der Stroboskop-Effekt (40 Hz bis 2,5 kHz)

Der Stroboskop-Effekt (SVM: Stroboscopic Visibility Measure, Bild 1) ist definiert als eine Veränderung einer Bewegungswahrnehmung eines statischen Beobachters in einer nicht statischen Umgebung, hervorgerufen durch einen Lichtreiz, dessen Helligkeit oder spektrale Verteilung zeitlich schwankt.[6]

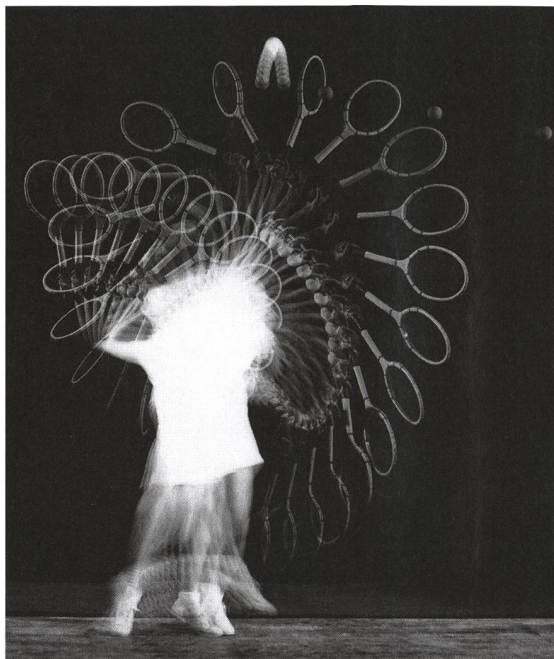


Bild 1 Dieses Stroboskopbild nahm der Pionier der Hochgeschwindigkeitsfotografie und Erfinder des Stroboskops Harold Edgerton 1949 auf.

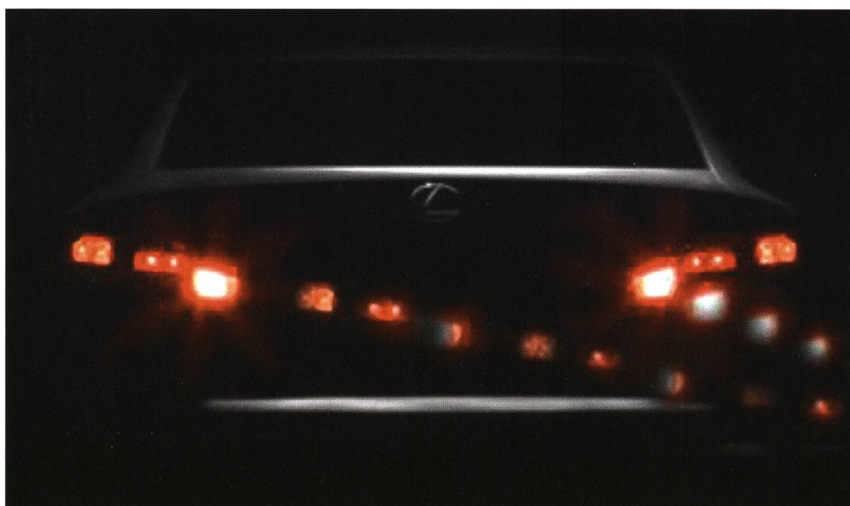


Bild 2 Der Perlstrunneffekt entsteht, wenn man eine stehende, schwankende Lichtquelle betrachtet und den Blickwinkel ändert.

Diese etwas sperrige Definition lässt sich durch den bekannten Wagenradefekt illustrieren: Bei bestimmten Lichtfrequenzen scheint ein sich drehendes Rad stillzustehen oder sogar rückwärts zu drehen. Sehr häufig tritt der Stroboskop-Effekt bei (meist billigen) Wechselstrom-LEDs auf, die direkt mit Netzstrom betrieben werden und daher mit 100 Hz in der Helligkeit schwanken. Auch ältere Leuchtstofflampen an konventionellen Vorschaltgeräten zeigen diesen Effekt. Für den Heimgebrauch kann diese 100-Hz-Schwankung einfach mit der Smartphone-Kamera überprüft werden: Sie zeigt dann ein Flackern der Lichtquelle.

Aber auch weitaus höhere Frequenzen können bezüglich des Stroboskop-Effekts problematisch werden. Soll z. B. die Helligkeit einer Leuchte über einen weiten Bereich geregelt werden können (z. B. 100% bis 0,1% oder 0,01% als Nachtlicht), muss eine PWM-Steuerung mit entsprechend höherer Schaltfrequenz etabliert werden. Für ein Dimmen mit 1:1000 liegt die Grundfrequenz noch bei 400 kHz, also kein Problem für nahezu jede LED. Soll mit der Leuchte auch ein Nachtlicht möglich sein, müsste die Grundfrequenz schon bei 4 MHz liegen, da wird's schwierig für die meisten LEDs, und das Radio spielt auch mit. Für einige

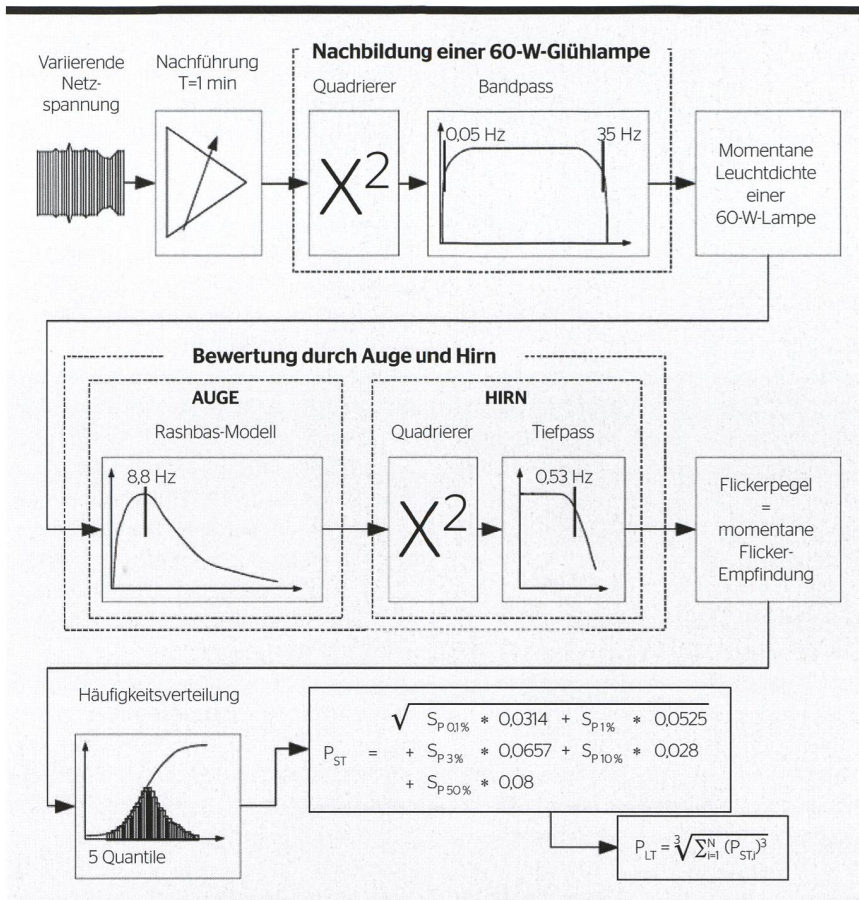


Bild 3 Der Weg zu einer Flickerbewertung gemäss EN 61000-3-3.

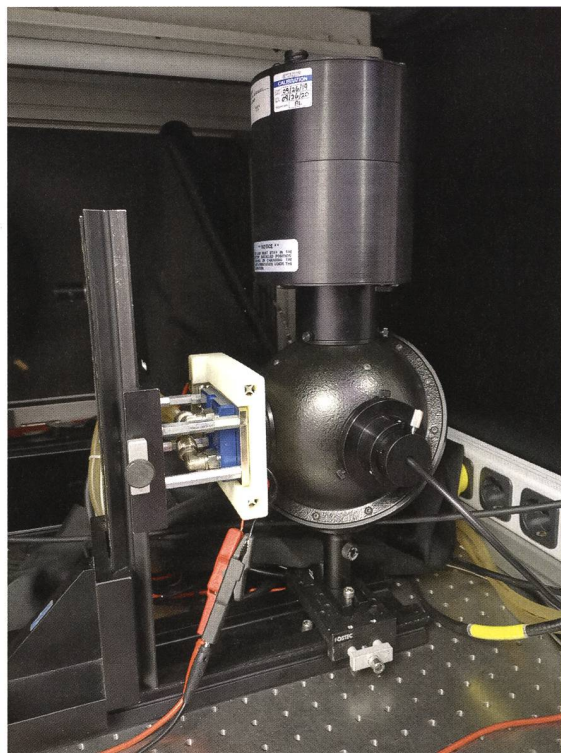


Bild 4 Experimenteller Aufbau der Flickermessung.

LED-Module mit 500 W Nennleistung müssten dann Ströme bis 90 A mit solch hohen Frequenzen geschaltet werden. Das aktive Abstrahlen unerwünschter elektromagnetischer Wellen zu verhindern, ohne das Licht ebenfalls abzuschirmen, ist dann unmöglich.

Der Perlschnureffekt (50 Hz bis 2,5 kHz)

Schliesslich kann es bei einem bewegten Betrachter zum sogenannten Perlschnureffekt kommen (PAE = Phantom Array Effekt). Definiert ist dies als Wahrnehmung von räumlich ausgedehnten Lichtflecken bei einer Sakkade (schnelles Bewegen der Augen) über eine Lichtquelle, die zeitlich schwankt.[6] Die Situation in **Bild 2** hat wohl jeder Autofahrende schon einmal erlebt. Hier hilft nur Tempo, nicht im Fahrzeug, sondern bei der Ansteuerung.

Rechtlicher Rahmen

Da die Wahrnehmung von Flicker recht individuell und der direkte Vergleich der Qualität durch Vorgaben bisher nicht gegeben ist, wurde nun nach vielen Jahren der Abstimmungen regulatorisch eingegriffen. Die neuen EU-Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen legen ab 2021 erstmals verbindliche Grenzwerte für Flicker ($P_{stLM} \leq 1$) und stroboskopische Effekte ($SVM \leq 0,4$) von Lichtquellen fest. Der Bedarf an präzisen und bezahlbaren Messgeräten für Leuchtenhersteller, Lichtplaner und Installateure ist dadurch schon jetzt vorhanden. Der Verbraucher erhält somit auch die Möglichkeit, Leuchtmittel und Lampen nach der Einhaltung dieser Anforderungen entsprechend auszuwählen.

Die Messung von Flicker

Doch wie «richtig» messen wir? Aktuelle Messtechnik und sogar die Messmethoden selbst stossen hier heute an ihre Grenzen (siehe Bericht des U.S. Departement of Energy [1]). Eigene Erfahrungen und Messungen an LEDs mit Spread-Spectrum-PWM-Steuerung sowie Messungen diverser LED-Lampen belegen dies durch fehlerhafte Ergebnisse: Es wird ein starker Flicker gemessen, obwohl keiner sichtbar ist – oder umgekehrt.

Und wie genau wird gemessen?

Es gibt einige internationale Standards, in denen genaue Messvorschriften

Bilder: EN / Adrian Marlikow

	Percent Flicker	Flicker Index	ASSIST's M _p	Philips SVM	IEC P _{stLM}	CFD
Target frequency range (Hz)	-	-	5-65	80-2000	0-80	0-250 000
Sampling frequency (Hz)	-	-	2000	4000	4000	20 000
Sample length (s)	1	1	2	1	180	1
Cut-off filter (Hz)	-	-	100	3000	1000	-

Tabelle Flicker lässt sich auf unterschiedliche Weise messen.

inklusive verschiedener Bewertungsfunktionen dargestellt sind.[3] Die EN 61000-3-3 (Bild 3) zeigt in einem «übersichtlichen» Blockdiagramm den einfachen Weg zu einer Flickerbewertung für jede der drei Hauptspielarten des Flickers (genauer: der TLA). Es existieren je noch ein Dutzend weiterer Vorschriften und Messprotokolle. Es gibt recht einfache Vorschriften, wie etwa die Bewertung des Percent Flicker (Modulationstiefe) oder den Flickerindex. Deutlich komplexer sind neuere Bewertungs-Metriken wie die der CIE: IEC P_{stLM}, den CIE: SVM, LRC Assist, CFD [4] oder die IEEE 1789-2015. Die Nema und die CIE TN 006:2016 [2] bieten Vergleiche und Übersichten an.

Es existiert also eine Vielzahl an Metriken, Grenzwertempfehlungen und Standardisierungen, die sich zum Teil ergänzen, bei konkreten Messungen an einer identischen Leuchte auch Widersprüchliches liefern können (Tabelle). Neue Messgeräte müssen diese beherrschen und höhere Signalfrequenzen korrekt erfassen. Darüber hinaus ist die Entwicklung von weiteren Algorithmen und Masszahlen Gegenstand der Forschung, auch um diese Widersprüche aufzulösen.

Das Projekt

Im Forschungsinstitut Optotransmitter Umweltschutz Technologie (OUT) e.V. werden seit fast 30 Jahren über 200 Kooperationsprojekte mit, an und für die LED durchgeführt. Teilweise steht dabei auch der Mensch mit seiner wichtigsten Wahrnehmung, dem Sehen, im

Mittelpunkt. So auch im aktuell abgeschlossenen Projekt, dessen Ziel es war, ein neuartiges Flickermessgerät und zusätzlich eine Testquelle (der TLA-Simulator) zu entwickeln, um alle praxisrelevanten Leuchten für eine Überprüfung von Flickermessgeräten darstellen zu können.

Ein Vergleichstest des ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.) unter den am Markt verfügbaren Flickermessgeräten hat gezeigt, dass moderne LED-Leuchten mit teilweise komplizierten Ansteuermustern oder auch in VLC-Anwendungen (visible light communication) durchweg fehlerhaft gemessen werden und alle Messgeräte Flicker anzeigen, wo keiner vorhanden ist. Dieses Manko zu beheben, war die zentrale Zielstellung des Projektes. Dazu haben das Elektronik-Entwicklungs-Unternehmen Code Mercenaries und unser Forschungsinstitut in einem kompakt angelegten Kooperationsprojekt ein neuartiges Flickermessgerät und auch eine Testleuchte zur Überprüfung entwickelt (Bild 4).

Das in diesem Projekt entwickelte «Flickermessgerät» erfasst die Lichtsignalform mit hoher Abtastfrequenz über einen langen Zeitraum, um auch selten auftretende Helligkeitspeaks zu erfassen. Die Software kann daraus nach den aktuellen Metriken (P_{stLM}, SVM, LRC Assist, Flickerindex, Modulationstiefe, ...) die temporalen Lichtartefakte (TLA) berechnen. Sie ist Open Source, um einfache Updates und eine Übernahme durch andere Forschungsgruppen zu ermöglichen, damit sie

neue Berechnungsalgorithmen entwickeln können. Die hohe Abtastfrequenz von 2 MHz ermöglicht als zusätzliche Anwendung abseits der Innenbeleuchtung die Überprüfung von LED-Lichtquellen für Ultra-Slow-Motion Kameraaufnahmen z. B. für Sportübertragungen oder in der Wissenschaft. Zudem soll das spätere Messgerät portabel am Smartphone betrieben werden können und auch für Anwender mit geringem Budget erschwinglich sein.

Um die Zuverlässigkeit dieses und anderer TLA-Messgeräte zu testen, wird ausserdem ein TLA-Simulator entwickelt. Dieser besteht aus einer stabilen weissen LED-Lichtquelle, die sowohl durch eine PWM verschiedenster Frequenzen und Duty Cycles als auch mittels beliebiger Signalformen betrieben werden kann.

Das TLA-Messgerät und der TLA-Simulator werden zurzeit entwickelt. Ein erster Prototyp mit ersten Messergebnissen wird zur Konferenz «Licht 2021» erwartet. Das finale Messgerät erleichtert die Überprüfung von temporalen Lichtartefakten und ermöglicht so, qualitativ hochwertige LED-Beleuchtung sicher zu erkennen, was schliesslich die Akzeptanz von LEDs in der Bevölkerung verbessern kann.

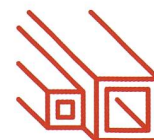
Referenzen

- [1] U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, Characterizing Photometric Flicker - Handheld Meters, 2018 www.energy.gov/eere/ssl/downloads/characterizing-photometric-flicker
- [2] CIE TN 006:2016 Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems - Definitions and Measurement Models, files.cie.co.at/883_CIE_TN_006-2016.pdf
- [3] www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate/assist/recommends/flicker.asp
- [4] www.derlichtpeter.de/de/lichtflimmern/cfd
- [5] Philips-Webinar zu Flicker: www.youtube.com/watch?v=1gZg6eUmEGA
- [6] Verordnung (EU) 2019/2020 der Kommission vom 1. Oktober 2019.

Autoren

Dr. Ing. **Adrian Mahlkow** ist stellv. Vorstandsvorsitzender des Optotransmitter-Umweltschutz-Technologie e.V.
→ OUT e.V. DE-12555 Berlin
→ mahlkow@out-ev.de

Dr. **Inga Rothert** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin und Projektleiterin des Projektes «Flickermessgerät».
→ rothert@out-ev.de



Hans Gassler AG
Güterstrasse 6
5014 Gretzenbach
www.gassler.ch
Korrosionsschutz



Du papillotement à une lumière agréable

Analyse des artefacts lumineux | Le papillotement, également appelé « flicker », peut rendre l'éclairage artificiel désagréable, voire causer des problèmes de santé. Afin de pouvoir fournir une description précise de ces « artefacts lumineux temporels », les dernières approches employées pour les mesurer se servent des théorèmes de transmission des télécommunications.

ADRIAN MAHLKOW, INGA ROTHERT

Les LED, en tant que sources lumineuses, ont déclenché une révolution dans le domaine de l'éclairage, non seulement en termes d'efficacité mais aussi en ce qui concerne le design des luminaires. Lumière et source lumineuse ne sont désormais plus liées l'une à l'autre; l'imagination ne connaît presque plus de limites. La source lumineuse est constituée d'un simple composant optoélectronique. Quiconque est capable de concevoir un circuit optoélectronique peut désormais dévelop-

per un luminaire. Nombreux sont ceux qui ont certainement pu constater, lors de l'achat de produits « rétrofit », que de tels circuits ne produisaient pas que de la lumière de bonne qualité et ont alors souhaité le retour de la bonne vieille ampoule à incandescence. Afin que le marché devienne plus sélectif, de nombreux indicateurs ont été établis, lesquels il y a dix ans n'étaient connus que des experts: température de couleur, rendu des couleurs, efficacité, durée de vie, etc. Sur la base de ces valeurs, le consommateur peut généralement

décider quel produit choisir. Néanmoins, un sentiment étrange subsiste parfois.

Le papillotement, des fluctuations de l'intensité

Les LED sont des sources lumineuses qui suivent directement le courant de l'électronique et peuvent être allumées et éteintes avec des temps de réaction parfois inférieurs à 0,1 s. Toute fluctuation de tension, même courte, peut se répercuter directement sous forme d'une fluctuation de l'intensité lumi-

neuse, si l'électronique n'a pas été conçue de manière adéquate. Cet effet présente toutefois un avantage: il peut être utilisé pour la gradation des LED en les allumant et les éteignant très rapidement afin de réduire la moyenne temporelle de la luminosité perçue par l'observateur (PWM, modulation de largeur d'impulsion). Si les commutations sont trop lentes ou trop irrégulières, la lumière semble clignoter: c'est ce que l'on appelle le papillotement, ou flicker.

Le papillotement classique (de 0 à 85 Hz)

Le papillotement est généralement ressenti comme une discontinuité dans les sensations visuelles, causée par des stimuli lumineux avec des variations temporelles de la luminance ou de la distribution spectrale. [6] Le seuil de perception diffère considérablement d'une personne à l'autre, comme l'on a pu s'en apercevoir du temps des écrans à tube cathodique. Certains n'avaient aucun problème avec une fréquence de rafraîchissement de 50 Hz, d'autres ne commençaient à être plus ou moins satisfaits qu'à partir de 85 Hz. En outre, l'œil humain peut détecter en périphérie des fréquences beaucoup plus élevées qu'à l'endroit où la vision est la plus nette. Du point de vue évolutionnaire, il s'agit là certainement d'un avantage: le tigre à dents de sabre ne s'est que rarement approché de face. Mais revenons au présent: l'éclairage ne peut être agréable que si un papillotement n'est en aucun cas perceptible. Suite à plusieurs études, depuis les années 1930 avec les tubes fluorescents et au cours des deux dernières décennies avec les LED, les experts considèrent qu'une fréquence de 400 Hz n'est plus perceptible. Si la LED brille avec une luminosité constante et qu'un lissage approprié du courant est effectué, il n'y a aucun papillotement.

L'effet stroboscopique (de 40 Hz à 2,5 kHz)

L'effet stroboscopique (SVM, Stroboscopic Visibility Measure, **figure 1**) est défini comme un changement dans la perception des mouvements, pour un observateur statique dans un environnement non statique, dû à un stimulus lumineux dont la luminance ou la répartition spectrale fluctue dans le temps. [6] Cette définition quelque peu compliquée peut être illustrée par le

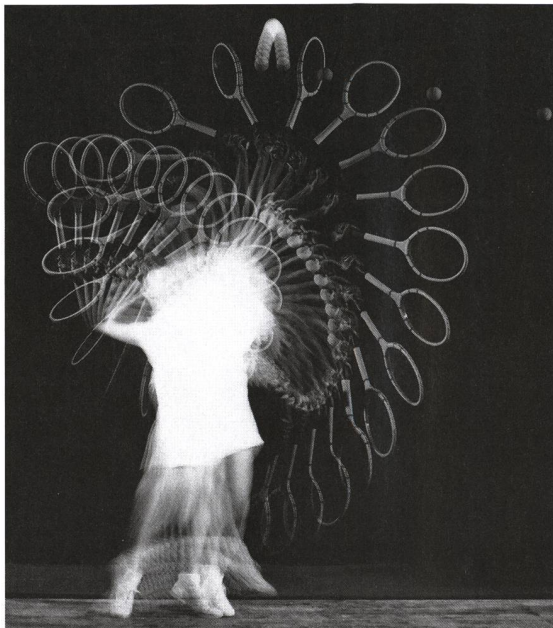


Figure 1 Cette image stroboscopique a été prise en 1949 par Harold Edgerton, le pionnier de la photographie à haute vitesse et inventeur du stroboscope.

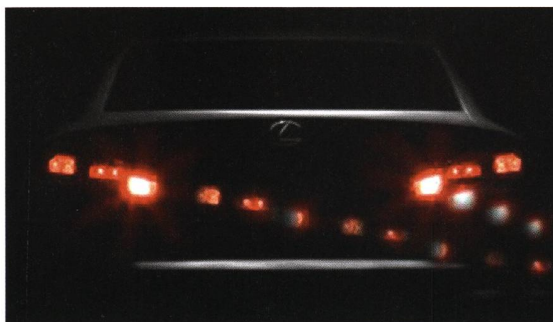


Figure 2 L'effet « chapelet » ou « de réseau fantôme » apparaît lorsque l'on regarde une source lumineuse fixe et fluctuante, et que l'on change l'angle de vue.

célèbre effet de roue: à certaines fréquences de la lumière, une roue qui tourne semble s'arrêter ou même tourner à l'envers. Très souvent, l'effet stroboscopique se produit avec des LED (généralement bon marché) à courant alternatif qui utilisent directement le courant du réseau et dont la luminosité fluctue ainsi avec une fréquence de 100 Hz. Cet effet est également observé avec des lampes fluorescentes plus anciennes dotées de ballasts conventionnels. Pour un usage domestique, cette fluctuation à 100 Hz peut facilement être détectée avec la caméra d'un smartphone: elle montrera un papillotement de la source lumineuse.

Mais des fréquences beaucoup plus élevées peuvent aussi poser problème en matière d'effet stroboscopique. Si, par exemple, la luminosité d'un luminaire doit être variée sur une grande plage (de 100% à 0,1%, ou 0,01% en tant que lumière de nuit), il est nécessaire d'utiliser une commande PWM avec une fréquence de commutation

correspondante plus élevée. Pour une gradation 1:1000, la fréquence de base est encore de 400 kHz, ce qui ne pose pas de problème pour presque toutes les LED. Si le luminaire doit également être utilisé pour l'éclairage nocturne, la fréquence de base devrait déjà se situer à 4 MHz, ce qui devient difficile pour la plupart des LED, et la radio joue alors également un rôle. Pour certains modules LED d'une puissance nominale de 500 W, des courants allant jusqu'à 90 A devraient ainsi être commutés avec des fréquences aussi élevées. Il devient dès lors impossible d'empêcher l'émission d'ondes électromagnétiques indésirables sans également agir sur la lumière.

L'effet « chapelet » (de 50 Hz à 2,5 kHz)

Enfin, un observateur en mouvement peut parfois observer ce que l'on appelle l'effet « chapelet » ou « de réseau fantôme » (PAE, phantom array effect). Il est défini comme la perception de taches

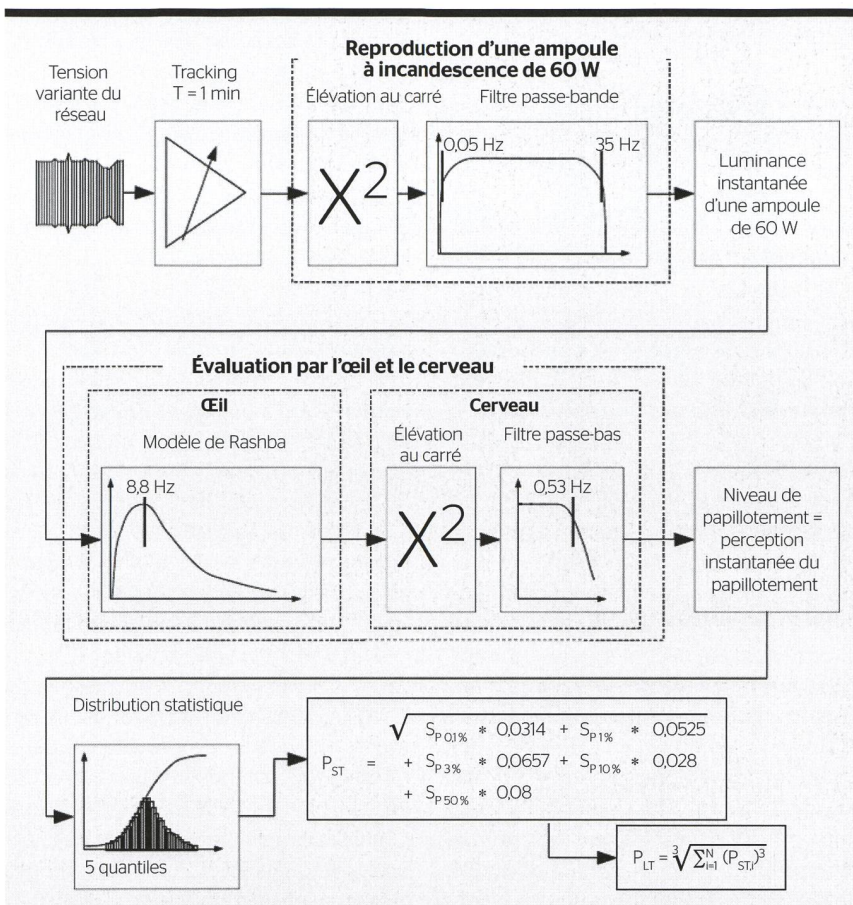


Figure 3 Comment évaluer le papillotement selon la norme EN 61000-3-3.

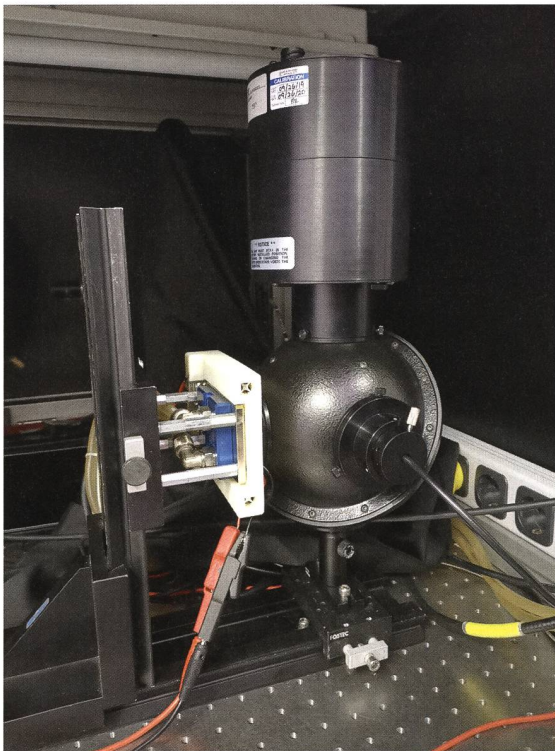


Figure 4 Installation expérimentale pour la mesure du papillotement.

lumineuses étirées dans l'espace lors d'un mouvement rapide et saccadé des yeux au-dessus d'une source lumineuse qui fluctue dans le temps. [6] La situation illustrée dans la figure 2 a probablement été vécue par tous les automobilistes à un moment donné. Dans ce cas, seule la vitesse peut apporter une solution: pas au volant, mais dans la commande.

Cadre juridique

Comme la perception du papillotement est tout à fait individuelle et que la comparaison directe de la qualité à l'aide de directives n'a pas été possible jusqu'à présent, une intervention a été réalisée au niveau réglementaire, et ce, après de nombreuses années de coordination. Les nouvelles exigences européennes d'écoconception pour les sources lumineuses fixeront à partir de 2021, pour la première fois de manière contraignante, les valeurs limites pour le papillotement ($P_{st}^{LM} \leq 1$) et les effets stroboscopiques ($SVM \leq 0,4$) des sources lumineuses. Il y a donc déjà un besoin en matière d'instruments de mesure précis et abordables pour les fabricants de luminaires, les concepteurs d'éclairage et les installateurs. Le consommateur aura ainsi également la possibilité de choisir ses sources lumineuses et ses luminaires selon le respect de ces exigences.

La mesure du papillotement

Mais comment mesurer «juste»? La technologie de mesure actuelle et les méthodes de mesure elles-mêmes atteignent aujourd'hui leurs limites (voir le rapport de l'U.S. Department of Energy [1]). Les résultats erronés obtenus lors de certaines de nos propres expériences et mesures sur des LED avec contrôle PWM à étalement de spectre ainsi que des mesures de diverses lampes LED le prouvent: un papillotement intense est mesuré alors que rien n'est visible – ou inversement.

Et quelle est la précision de mesure?

Il existe plusieurs normes internationales qui fournissent des directives de mesure précises ainsi que diverses fonctions d'évaluation. [3] La norme EN 61000-3-3 (figure 3) montre, par le biais d'un schéma fonctionnel «concis», comment évaluer de manière simple le papillotement pour chacun des trois principaux types de papillotement (plus précisément: de TLA, Temporal Light

	Percent Flicker	Flicker Index	ASSIST's M _r	Philips SVM	IEC P _{st} ^{LM}	CFD
Target frequency range / Hz	-	-	5-65	80-2000	0-80	0-250 000
Sampling frequency / Hz	-	-	2000	4000	4000	20 000
Sample length / s	1	1	2	1	180	1
Cut-off filter / Hz	-	-	100	3000	1000	-

Tableau Le papillotement peut être mesuré de différentes manières.

Artefacts). Il existe encore une douzaine d'autres directives et protocoles de mesure. Il y en a de vraiment simples, comme l'évaluation du pourcentage de papillotement (profondeur de modulation) ou de l'indice de papillotement. Certaines métriques d'évaluation récentes sont toutefois beaucoup plus complexes, telles que celles de la CIE: IEC P_{st}^{LM}, des CIE: SVM, LRC Assist, CFD [4] ou de l'IEEE 1789-2015. La Nema et la CIE TN 006:2016 [2] proposent des comparaisons et des aperçus.

Il existe donc une multitude de métriques, de recommandations de valeurs limites et de normes, dont certaines sont complémentaires et peuvent également produire des résultats contradictoires lorsque des mesures concrètes sont effectuées sur un luminaire identique (tableau). Les nouveaux appareils de mesure doivent pouvoir les maîtriser et enregistrer correctement les fréquences de signal plus élevées. En outre, le développe-

ment d'autres algorithmes et mesures fait l'objet de recherches, également afin de résoudre ces contradictions.

Le projet

Depuis près de 30 ans, l'institut de recherche Optotransmitter Umweltschutz Technologie (OUT) e.V. a mené plus de 200 projets de coopération en relation avec les LED. Dans certains d'entre eux, l'accent était aussi mis sur l'être humain et son sens le plus important, la vision; comme dans le cas du projet dorénavant achevé, dont l'objectif était de développer un nouveau type d'appareil de mesure du papillotement ainsi qu'une source de test (le simulateur de TLA). Celle-ci devait permettre de reproduire tous les luminaires pertinents pour la pratique afin de tester les appareils de mesure du papillotement.

Un test comparatif des appareils de mesure du papillotement disponibles sur le marché, réalisé par la ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.), a montré que les luminaires LED modernes dont les schémas de commande sont partiellement compliqués ou utilisés dans des applications VLC (visible light communication) sont systématiquement mal mesurés, et que tous les appareils de mesure affichent un papillotement alors qu'il n'y en a pas. L'objectif principal du projet consistait à éliminer ce défaut. À cette fin, l'entreprise de développement électronique Code Mercenaries et l'institut de recherche OUT ont mis au point, dans le cadre d'un projet de coopération compact, un nouveau type d'appareil de mesure du papillotement ainsi qu'une lampe de test pour la vérification (figure 4).

Le « Flickermeter » développé dans le cadre de ce projet enregistre la forme du signal lumineux à une fréquence d'échantillonnage élevée sur une longue période, afin de détecter également de rares pics de luminosité. Le logiciel peut alors calculer les artefacts

lumineux temporels (TLA) d'après les métriques actuelles (P_{st}^{LM}, SVM, LRC Assist, indice de papillotement, profondeur de modulation, etc.). Le logiciel est open source pour permettre des mises à jour simples et son adoption par d'autres groupes de recherche afin que ces derniers puissent développer de nouveaux algorithmes de calcul. La fréquence d'échantillonnage élevée de 2 MHz permet, comme application supplémentaire en dehors de l'éclairage intérieur, le contrôle des sources de lumière LED pour les enregistrements des caméras ultra slow motion, par exemple pour les émissions sportives ou dans le domaine scientifique. En outre, le futur appareil de mesure devra être portable et exploité sur un smartphone, ainsi qu'abordable pour les utilisateurs disposant d'un petit budget.

Afin de tester la fiabilité de ce dispositif et d'autres appareils de mesure de TLA, un simulateur de TLA est également en cours de développement. Celui-ci est composé d'une source de lumière blanche LED stable qui peut être pilotée aussi bien par une PWM de différentes fréquences et rapports cycliques qu'au moyen de toute forme de signal.

L'appareil de mesure et le simulateur de TLA sont actuellement en cours de développement. Un premier prototype et les premiers résultats de mesure sont attendus pour la conférence « Licht 2021 ». L'appareil de mesure final facilitera le contrôle des artefacts lumineux temporels et permettra ainsi de reconnaître de manière fiable un éclairage LED de haute qualité, ce qui pourrait enfin améliorer l'acceptation des LED par la population.

Références

- [1] U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, « Characterizing Photometric Flicker: Handheld Meters », 2018. www.energy.gov/eere/ssl/downloads/characterizing-photometric-flicker
- [2] CIE TN 006:2016 Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems - Definitions and Measurement Models. files.cie.co.at/883_CIE_TN_006-2016.pdf
- [3] www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate/assist/recommends/flicker.asp
- [4] www.derlichtpeter.de/de/lichtflimmern/cfd
- [5] Webinaire Philips à propos du papillotement: www.youtube.com/watch?v=1gZg6eUmEGA
- [6] Règlement (UE) 2019/2020 de la Commission du 1^{er} octobre 2019.

Auteurs

D^r **Adrian Mahlkow** est vice-président de l'institut de recherche Optotransmitter-Umweltschutz-Technologie e.V. → OUT e.V., DE-12555 Berlin → mahlkow@out-ev.de

D^r **Inga Rothert** est collaboratrice scientifique et responsable du projet « Flickermeter ». → rothert@out-ev.de

Pour en savoir plus

Bienvenue chez FRED !

La thématique de l'éclairage vous intéresse ? Ne manquez pas le Forum romand de l'éclairage et de la domotique (FRED), qui aura lieu le 10 décembre à Lausanne ! Issu de la fusion des événements LED Forum et Smart Home d'Electrosuisse, FRED permettra aux professionnels de ces deux domaines complémentaires de s'informer à propos de thèmes tels que le big data, le LiFi, la smart city, l'IoT ou encore le « human centric lighting ». Les participants auront en outre amplement le temps d'échanger avec des experts de ces deux secteurs et de visiter les stands des nombreux exposants.

www.electrosuisse.ch/fred

Das Leben ist schön,
solange nichts passiert.



suva.ch/regeln

Deshalb gibt's die lebenswichtigen Regeln.

Halte dich an deine lebenswichtigen Regeln
und sag bei Gefahr «Stopp»!

suva