

Information

# Temporal Light Artefacts – TLA

Flimmern und Stroboskopeffekt



März 2017



### **Temporal Light Artefacts – TLA**

Herausgeber:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-  
und Elektronikindustrie e.V.

Fachverband Licht

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main

Ansprechpartner:

Wolfram Pajek

Telefon: +49 69 6302-293

E-Mail: [licht@zvei.org](mailto:licht@zvei.org)

[www.zvei.org](http://www.zvei.org)

März 2017

Trotz größtmöglicher Sorgfalt übernimmt der ZVEI  
keine Haftung für den Inhalt. Alle Rechte, insbesondere  
die zur Speicherung, Vervielfältigung und Verbreitung  
sowie der Übersetzung, sind vorbehalten.

# Vorwort

Gutes Licht muss viele, zum Teil sehr unterschiedliche Anforderungen an Beleuchtungseinrichtungen erfüllen. Eine Qualitätsanforderung wird durch den zeitlichen Verlauf der Intensität einer Lichtquelle bestimmt.

Durch die Umstellung auf die elektronische Lichtquelle „LED“ mit ihrer nahezu trägheitslosen Reaktionszeit werden Einflüsse ihrer Spannungsversorgung, wie „Ripple Current“, „Pulsweitenmodulation“, „Spikes“ oder auch nur Spannungsschwankungen in der Versorgung, unmittelbar wahrnehmbar. Die Abstimmung von Betriebsgeräten und LED-Modulen spielt dabei eine große Rolle.

Unterschiedliche Begriffe, wie z. B. Flimmern, Flicker (englisch für Flimmern), Flicker-Index, Percent Flicker, Modulations-tiefe, Ripple Current, PWM-Frequenzen etc., sollen eine Bewertung in diesem Zusammenhang ermöglichen.

Allerdings ist es derzeit selbst für den professionellen Lichtenwender sehr schwierig, sich anhand der verfügbaren Informationen oder auf Basis von eigenen Messungen ein Bild von der Qualität eines lichttechnischen Produkts in Bezug auf die zeitliche Intensität einer Lichtquelle in Verbindung mit den verwendeten Betriebsgeräten für eine bestimmte Applikation zu machen.

Es mangelt bisher an etablierten klaren Definitionen, geeigneten standardisierten Messverfahren, verfügbaren Messgeräten und gegebenenfalls an applikationsspezifisch zugeordneten Empfehlungen.

Aus diesem Grund hat der Dachverband der Europäischen Lichtindustrie ein Positionspapier „LightingEurope Position Paper on Flicker and Stroboscopic Effect (Temporal Light Artefacts)“ veröffentlicht (siehe Literaturverzeichnis im Anhang).

Eine aktuelle Definition des Begriffs Temporal Light Artefacts (TLA) ist z. B. in einer Technical Note des CIE wiedergegeben:

*„Change in visual perception, induced by a light stimulus the luminance or spectral distribution of which fluctuates with time, for a human observer in a specified environment“*

Unter TLA werden also alle visuellen Effekte zusammengefasst, die durch Lichtquellen hervorgerufen werden, deren Intensität oder Spektralverteilung sich mit der Zeit ändert. Zwei wohlbekanntere Beispiele solcher Effekte sind Flimmern und Stroboskopeffekt.

Die vorliegende Informationsschrift des ZVEI möchte einen Überblick über die Thematik der Temporal Light Artefacts geben, die wichtigsten Begriffsdefinitionen erläutern, geeignete Messverfahren vorstellen und Hinweise zu wissenschaftlichen und Standardisierungsarbeiten geben. In diesem Zusammenhang werden unter anderem Inhalte des LightingEurope-Positionspapiers wiederholt sinngemäß wiedergegeben und durch Hintergrundinformationen sowie anwendungsspezifische Betrachtungen ergänzt.

# Messverfahren zur Bewertung von TLA

Im Folgenden soll kurz auf bislang bekannte Bewertungs- und Messverfahren eingegangen, deren Schwachstellen aufgezeigt und auf geeignetere Verfahren hingewiesen werden.

## Modulationstiefe (MD) und Flicker-Index (FI)

Für die Bewertung des Flimmerns bzw. der Lichtmodulation werden häufig die Modulationstiefe (MD, vom englischen „Modulation Depth“) und der Flicker-Index (FI) verwendet.

Bild 1 zeigt beispielhaft die modulierte Lichtstromabgabe einer Lichtquelle und die verwendeten Größen zur Berechnung der Modulationstiefe und des Flicker-Index.

Die Modulationstiefe (MD) ist wie folgt definiert:

$$MD = \frac{(L_{max} - L_{min})}{(L_{min} + L_{min})} = 100 \%$$

Diese Formel entspricht der klassischen, aus der Elektrotechnik bekannten Berechnungsformel für die Modulationstiefe.

Die Formel zur Berechnung des Flicker-Index (FI) lautet:

$$FI = \frac{A1}{A1 + A2}$$

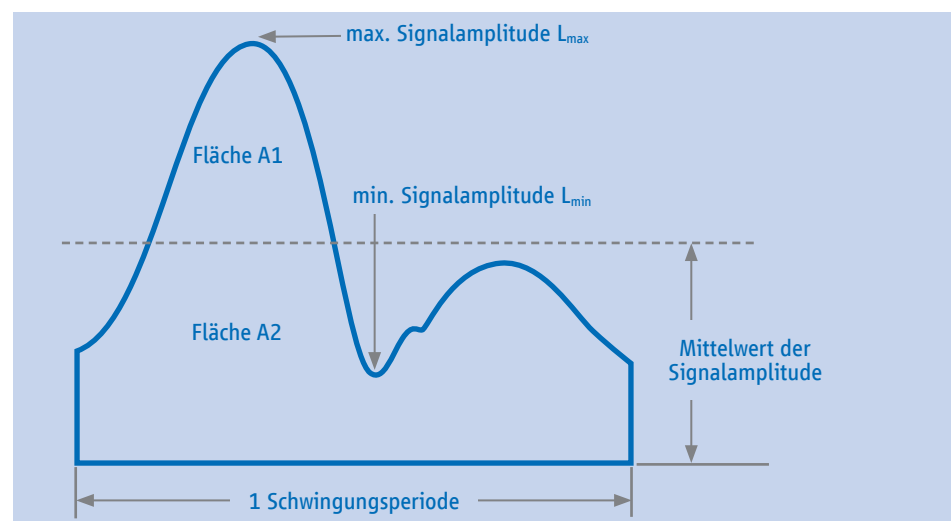
Hierbei werden die Flächen A1 und A2 betrachtet, die von der zu messenden Kurvenform (moduliertes Licht) eingeschlossen werden.

Dabei wird die Fläche A1 oberhalb der Mittelwertlinie auf die gesamte eingeschlossene Fläche (A2 + A1) bezogen.

Jedoch sind die Messverfahren Modulationstiefe (MD) und Flicker-Index (FI) für die Beurteilung von Flimmern und stroboskopischem Effekt nur bedingt aussagekräftig, da sie die Einflüsse von gemischten Modulationsfrequenzen sowie die spezielle Kurvenform und den Tastgrad der Modulation auf die menschliche Wahrnehmung nicht ausreichend berücksichtigen. Ein weiterer Nachteil ist, dass MD und FI ohne Angabe der Modulationsfrequenz nicht aussagekräftig sind und sich auf kurze Bewertungszeiträume beschränken.

Als Nachteil kommt hinzu, dass Messwerte, die bei unterschiedlichen Frequenzen gemessen wurden, nicht direkt miteinander verglichen werden können. Ein solcher Vergleich wäre nur mithilfe einer frequenzabhängigen Konvertierung möglich.

**Bild 1: Anwendungsbeispiel für die Bewertungsverfahren Modulationstiefe (MD) und Flicker-Index (FI)**



## Neue, verbesserte Messverfahren

Um diese Nachteile zu überwinden, wird innerhalb von CIE TC1-83 daran gearbeitet, bessere TLA-Messverfahren zu entwickeln und zu standardisieren.

Derzeit sind die zwei Messverfahren  $P_{st}^{LM}$  und SVM in Vorbereitung für die Standardisierung:

### $P_{st}^{LM}$ -Messverfahren

Ziel dieses Messverfahrens ( $P_{st}^{LM}$  von Short-Term-Light-Modulation) ist es, das sichtbare Flimmern zu messen, das durch Lichtmodulation im Frequenzbereich 0,3 Hz bis 80 Hz verursacht wird.

Die Details dazu sind in IEC/TR 61547-1 und IEC 61000-4-15 beschrieben.

Das Blockschaltbild eines Flickermeters, das nach dem  $P_{st}^{LM}$ -Messverfahren arbeitet, ist in

(z. B. der Beleuchtungsstärke) wird. Dazu wird das Eingangssignal auf den Durchschnittswert (DC-Anteil) des Eingangssignals normiert.

### Auge-Gehirn-Modell:

Dieser Block bewertet das Signal mit einem sogenannten Auge-Gehirn-Modell, das die frequenzabhängige Flimmerwahrnehmung eines durchschnittlichen Menschen nachbildet. Das Ausgangssignal dieses Blocks entspricht dem  $P_{st}^{LM}$ -Wert.

### Grenzwert für $P_{st}^{LM}$ :

Der empfohlene Grenzwert liegt bei  $P_{st}^{LM} = 1$ . Der Grenzwert wurde anhand einer repräsentativen Testgruppe ermittelt und stellt die durchschnittliche Wahrnehmbarkeitsgrenze für sichtbares Flimmern dar (Kriterium aus IEC/EN 61000-3-3).

Bild 2: Blockschaltbild  $P_{st}^{LM}$ -Messverfahren

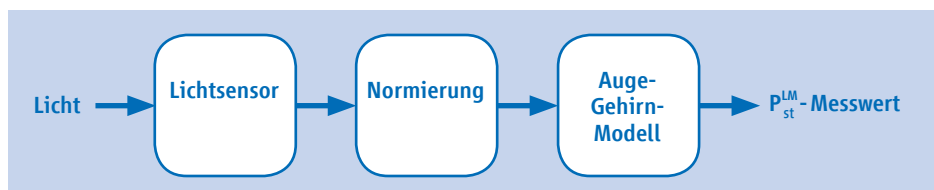


Bild 2 dargestellt. Eine zuverlässige Bewertung von niederfrequenten Flimmerphänomenen dauert hiermit etwa 1 Minute.

### Lichtsensor:

Der erste Block enthält den Lichtsensor. Dieser wandelt das erfasste Lichtsignal in ein dazu proportionales elektrisches Signal um.

### Normierung:

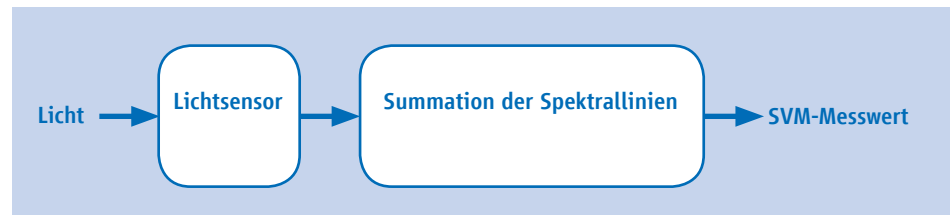
Dieser Block skaliert das Eingangssignal derart, dass die Amplitude des Ausgangssignals unabhängig vom absoluten Lichtniveau

### SVM-Messverfahren

Ziel dieses Messverfahrens (SVM von Stroboscopic Visibility Measure) ist es, den Stroboskopeffekt zu bewerten, der im Zusammenspiel mit bewegten Objekten bei einer Lichtmodulation im Frequenzbereich 80 Hz bis 2.000 Hz auftreten kann.

Das Blockschaltbild eines Flickermeters, das nach dem SVM-Messverfahren arbeitet, ist in Bild 3 dargestellt. Für die Berechnung des SVM-Werts ist ein Signal von mindestens 1 Sekunde erforderlich.

Bild 3: Blockschaltbild SVM-Messverfahren



**Lichtsensor:**

Der erste Block enthält den Lichtsensor. Dieser wandelt das erfasste Lichtsignal in ein dazu proportionales elektrisches Signal um.

effekt für ein sinusförmiges Signal mit der Frequenz der i-ten Frequenzkomponente.

Die frequenzabhängige Empfindlichkeitskurve  $T(f)$  ist in Bild 4 dargestellt.

**Summation der Spektrallinien:**

In diesem Block wird der SVM-Messwert berechnet. Dies geschieht über eine Summation der Frequenzkomponenten des Eingangssignals nach der folgenden Formel:

Das Ausgangssignal des Summationsblocks entspricht dem SVM-Wert.

$$SVM = \sqrt[3,7]{\sum_{i=1}^{N(\leq 2kHz)} \left(\frac{C_i}{T_i}\right)^{3,7}}$$

**Grenzwerte für SVM:**

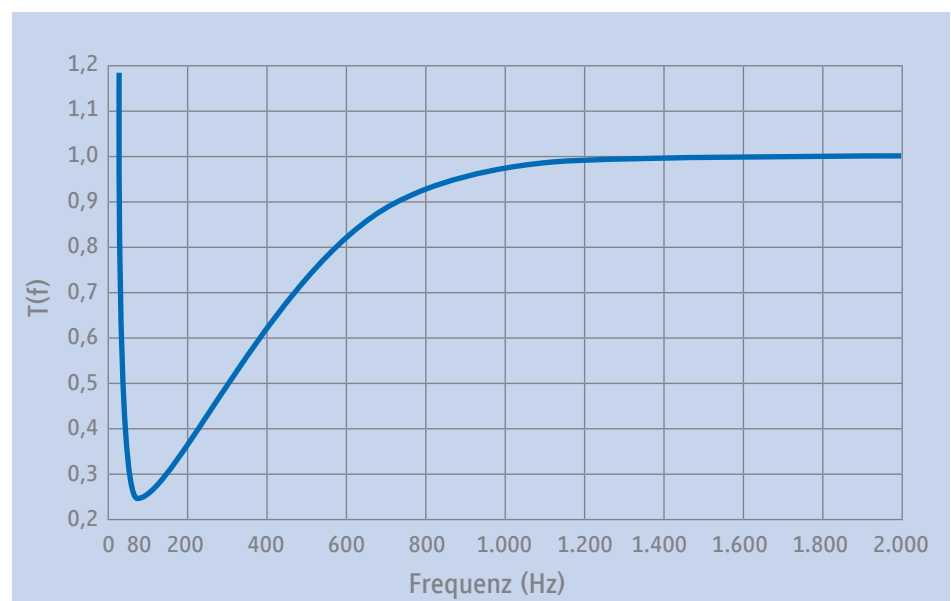
Grenzwerte sind noch nicht festgelegt. Sinnvolle anwendungsspezifische Grenzwerte werden zurzeit diskutiert.

Dabei werden die einzelnen normierten Frequenzkomponenten  $C_i$  des Signals mittels  $T_i$  frequenzabhängig entsprechend der menschlichen Wahrnehmung gewichtet und aufsummiert.

$SVM = 1$  steht für die Sichtbarkeitsschwelle von Testpersonen, die sich auf die Bewertung des Stroboskopeffekts unter Laborbedingungen konzentrieren. Die tatsächliche Akzeptanzschwelle kann – abhängig von den Applikationsbedingungen – deutlich höher liegen.

$T_i$  in der Formel repräsentiert die Wahrnehmbarkeitsschwelle für den Stroboskop-

Bild 4: SVM-Empfindlichkeitskurve  $T(f)$



## Andere Verwendungen des Begriffs Flicker

Die Europäische Norm EN 61000-3-3 „Grenzwerte – Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungsversorgungsnetzen für Geräte...“ wird umgangssprachlich oft als „Flickernorm“ bezeichnet. Diese bezieht sich in erster Linie auf elektrische Verbraucher mit einer sich zeitlich periodisch ändernden Stromaufnahme in öffentlichen Niederspannungsversorgungsnetzen. Durch die Änderung der Stromaufnahme und die reale Impedanz des Versorgungsnetzes entsteht eine zeitliche Modulation der Versorgungsspannung,

die wiederum zu einer störenden Lichtmodulation – dem Flimmern bzw. Flicker – von Beleuchtungseinrichtungen führen kann.

Die EN 61000-3-3 begrenzt also die zeitlich modulierte Stromaufnahme von z. B. Haushaltsgeräten. Zur Bewertung eines Prüflings werden die durch die modulierte Stromaufnahme verursachten zeitabhängigen Spannungsschwankungen an einer definierten Netzimpedanz gemessen und nach einem der oben beschriebenen  $P_{st}^{LM}$ -Methode ähnlichen Signalbewertungsverfahren ausgewertet.

## ZVEI-Empfehlungen zu TLA-Messverfahren

Die Autorengruppe des ZVEI schließt sich hinsichtlich der bevorzugten Metriken und Akzeptanzkriterien dem Positionspapier von LightingEurope „LightingEurope Position Paper on Flicker and Stroboscopic Effect (Temporal Light Artefacts)“ an, dessen Kernaussagen im Folgenden sinngemäß wiedergegeben werden.

### Bevorzugte Metriken

Wie bereits im Abschnitt „Messverfahren“ zur Bewertung von TLA beschrieben, sind die Metriken Modulationstiefe (MD) und Flicker-Index (FI) zur objektiven Vorhersage der Sichtbarkeit von Flimmern und Stroboskopeffekt für den Menschen nicht geeignet, da diese die Frequenz, die Kurvenform und den Tastgrad der Lichtmodulation nicht angemessen berücksichtigen.

Anstelle dessen empfiehlt der Fachverband Licht des ZVEI zur Bewertung von Flimmern bzw. Flicker die innerhalb IEC standardisierte Metrik „perception of short term light modulation“ ( $P_{st}^{LM}$ ) (siehe IEC TR 61547-1) sowie die „Stroboscopic Visibility Measure“ (SVM) zur objektiven Bewertung des Stroboskopeffekts.

Sowohl die TLA-Phänomene als auch die Metriken  $P_{st}^{LM}$  und SVM werden in einer CIE Technical Note beschrieben, die im August 2016 veröffentlicht wurde. Darüber hinaus wurden Standardisierungsarbeiten in IEC TC34 begonnen. Eine Abstimmung zwischen IEC und CIE wird dabei angestrebt.

## Verfügbarkeit von Messgeräten

Da die in diesem Informationspapier beschriebenen Messverfahren teilweise relativ neu sind, ist die Auswahl an kommerziell verfügbaren Messgeräten noch gering.

Hilfreich kann eine Suche im Internet unter den Suchparametern wie Flickermeter, SVM und Pst sein.

# Bewertung von Systemkomponenten

Oftmals ist eine Bewertung der Einzelkomponenten nur in Kombination mit weiteren Systemkomponenten möglich. Besonderes Augenmerk verlangt das Zusammenspiel von LED-Modul und Betriebsgerät. Die resultierenden TLA sind meist kein unabhängiger Kennwert des Betriebsgeräts, sondern hängen bei vielen Gerätetypen auch von Modulparametern ab. Die TLA können vom Arbeitspunkt, also von Modulstrom und Modulspannung, abhängen, zusätzlich aber auch vom differentiellen Widerstand des Moduls. Zum Beispiel können niedrige differentiellen Widerstände bei bestimmten

Systemkombinationen zu höheren TLA führen als höhere differentiellen Widerstände.

Die auffälligste Ausprägung dieser Wechselwirkung betrifft die Modulationstiefe von LED-Strom und Licht bei der doppelten Versorgungsnetzfrequenz (z. B. 100 Hz) und wird dementsprechend vom SVM-Messwert widerspiegelt.

Aus diesen Gründen wird empfohlen, aufeinander abgestimmte Systeme zu verwenden bzw. entsprechende Systemprüfungen durchzuführen.

## TLA – Akzeptanzkriterien

Die Akzeptanzkriterien für die TLA-Metriken hängen sowohl von der Sichtbarkeit als auch von der Relevanz bzw. vom Risiko in der jeweiligen Anwendung ab. Z. B. ist in einer Werkstatt die Vermeidung von Stroboskopeffekten für den sicheren Betrieb von rotierenden Maschinen essenziell wichtig, wohingegen für Flure oder Lagerräume mögliche Stroboskopeffekte selten eine Rolle spielen.

Daher hängen die Spezifikation von Metriken und deren Akzeptanzkriterien von der spezifischen Anwendung ab.

Für allgemeine Anwendungen (z. B. häusliche Aufenthaltsbereiche, Büros) kann die Sichtbarkeitsgrenze  $P_{st}^{LM} \leq 1,0$  ein guter Referenzwert sein. Hinsichtlich der SVM-Metrik müssen in den nächsten Jahren in der Beleuchtungsbranche weitere Erfahrungen gesammelt werden.

Einige internationale und regionale Lichtanwendungs- und Industriestandards arbeiten ebenfalls an der Festlegung von Anforderungen zur Begrenzung von Flimmern und Stroboskopeffekt.

## Lichtmodulationswechselwirkungen mit technischen Geräten und Maschinen

Neben den sichtbaren Effekten können zeitliche Lichtmodulationen auch zu unerwünschten Wechselwirkungen mit technischen Geräten führen. Bekannt sind z. B. streifenförmige Bildstörungen bei Digitalkameras, wenn die Motive mit PWM-gediminten LED-Systemen beleuchtet wurden.

Weitere Funktionsstörungen können unter anderem bei Filmkameras, Sicherheits-/Überwachungskameras, Webcams, Sportkameras, Hochgeschwindigkeitskameras, Systemen zur visuellen Inspektion, Barcode-Lesegeräten, Pulsoximetern, Sensoren, optischen Messlaboren, Lichtschranken etc. auftreten.



Eine allgemeine Bewertung der Kompatibilität von Lichtquellen mit technischen Geräten ist mithilfe der Metriken  $P_{st}^{LM}$  und SVM nicht möglich.

Für Arbeitsplätze mit rotierenden Maschinen muss die Beleuchtung im Rahmen der arbeitsplatzspezifischen Gefährdungsanalyse betrachtet werden. Es können keine allgemeingültigen Grenzwerte genannt werden.

## Versuch einer Einteilung der Anwendungsbereiche

Wie im Abschnitt „TLA – Akzeptanzkriterien“ bereits erwähnt, können die TLA-relevanten Anforderungen an Beleuchtungseinrichtungen sehr stark von der spezifischen Applikationsumgebung abhängen.

Obwohl eine Festlegung von applikationsspezifischen Empfehlungen und Grenzwerten derzeit noch zu früh erscheint, soll die nachfolgende Einteilung zu einer fachlichen Diskussion anregen:

- Wohnbereich (inkl. Hotelzimmer, häusliche Pflege)
- Büros, sonstige Dauerarbeitsplätze
- Lobbybereiche (z. B. Concierge)
- Schulen, Bildungseinrichtungen
- Einzelhandel (Strahler, Lichtband)
- Industrie/Gewerbe/Handwerk mit rotierenden Maschinen
- Schwerindustrie
- Verkehrszonen wie Flure und Treppenhäuser

- Tiefgarage, Parkhäuser
- Straßenbeleuchtung
- Parkplätze, öffentliche Plätze
- Tunnel
- Krankenhaus, Nebenräume
- Krankenhaus, Patientenzimmer
- Krankenhaus, Operationssäle
- Lagerräume, Lagerhallen
- Sportstätten
- Architekturbeleuchtung
- Lichtwerbung
- Öffentliche Bereiche (z. B. Museum, Bücherei, Kino)
- Pausenräume
- Kontrollräume
- Flughäfen
- Bahnanlagen
- Beleuchtung handwerklicher Tätigkeiten (z. B. Keramik, Friseur, Bäckerei)
- Kameraüberwachte Bereiche
- Fernsehübertragungen

## Vergleich mit traditionellen Beleuchtungstechnologien

Beleuchtungssystem	$P_{st}^{LM}$	SVM
60-W-Glühlampe mit idealem Netz	<0,1	ca. 0,2–0,6
60-W-Glühlampe mit definierter Netzspannungsmodulation nach IEC 61547	1	ca. 0,2–0,6
Leuchtstofflampe mit KVG mit idealem Netz ( $P_{st}^{LM}$ kann – abhängig vom Lampenalter – deutlich höher sein)	<0,1	ca. 1,0–1,5
Leuchtstofflampe mit KVG und definierter Netzspannungsmodulation nach IEC 61547	<1	ca. 1,0–1,5
Leuchtstofflampe mit EVG (FL und CFL) mit idealem Netz und ungedimmt ( $P_{st}^{LM}$ kann im gedimten Betrieb deutlich höher sein)	ca. 0,1	ca. 0,1–1,0

# Ausblick

Die wesentlichen wissenschaftlichen Arbeiten an Temporal Light Artefacts (TLA) gehen teilweise bis auf die Mitte des 20. Jahrhunderts zurück, wobei der TLA-Begriff damals noch nicht geläufig war.

Die gegenwärtige Diskussion um TLA wurde vor allem durch den Technologiewandel von den traditionellen Lichtquellen hin zu LED-basierten Beleuchtungssystemen angeregt, da LEDs in ihrer Lichtemission sehr schnell auf zeitabhängige Betriebsbedingungen reagieren.

Die in diesem ZVEI-Informationspapier beschriebenen Bewertungsmetriken  $P_{st}^{lm}$  und SVM tragen somit zu einer verbesserten

quantitativen Beschreibung von Lichtqualität bei und werden in der Beleuchtungsbranche zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Es ist zu erwarten, dass in den nächsten Jahren im professionellen Umgang mit den beschriebenen und gegebenenfalls weiter verfeinerten Messverfahren wichtige Erfahrungen gesammelt werden und die Vielfalt an kommerziell erhältlichen Messgeräten deutlich zunehmen wird.

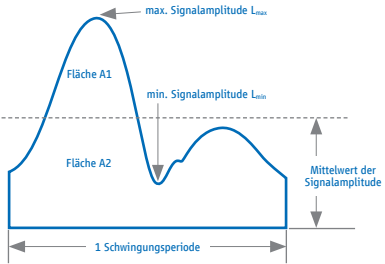
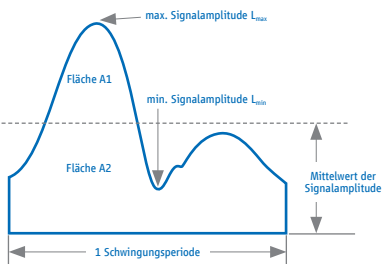
Darüber hinaus sind aus den laufenden Forschungsarbeiten zu TLA-Phänomenen weitere wichtige Erkenntnisse zu erwarten.

## Anhang 1: Definitionen

Die nachfolgenden Definitionen und Erläuterungen der in dieser Schrift verwendeten Begriffe, aber auch der Begriffe, die nicht direkt verwendet wurden – aber im Zusam-

menhang mit Aspekten der TLA stehen –, sollen für eine einheitliche Betrachtungsweise und Sprachregelung sorgen.

Bezeichnung	Definition	Publikation oder Standard	Bemerkung
Beleuchtungsstärke (in lm/m <sup>2</sup> )	<p>Quotient des Lichtstroms <math>d\Phi</math>, der auf ein den Punkt enthaltendes Element der Oberfläche auftrifft, und der Fläche <math>dA</math> dieses Elements.</p> $E = \frac{d\Phi}{dA}$ <p>Die Einheit der Beleuchtungsstärke <math>E</math> ist das Lux, Einheitszeichen lx = lm/m<sup>2</sup>.</p>	IEC 60050-845: 1987/CIE 17.4: 1987; 845-01-38	
Dimmgrad			<p>Wird vom Dimmgrad gesprochen, dann kann grundsätzlich zwischen</p> <p>A) dem Lichtstrom einer Lichtquelle, bezogen auf den 100-%-Wert, und</p> <p>B) der aufgenommenen elektrischen Leistung (als Grundlage für die Lichtstromabgabe der Lichtquelle), bezogen auf den 100-%-Wert, unterschieden werden.</p>

Bezeichnung	Definition	Publikation oder Standard	Bemerkung
Flimmern (Lichtflimmern)	Eindruck der Unstetigkeit visueller Empfindungen, hervorgerufen durch Lichtreize mit zeitlicher Schwankung der Leuchtdichten oder der spektralen Verteilung.	IEC 60050-845:1987, 845-02-49	Die offizielle Übersetzung des Begriffs „Flimmern“ ins Englische ist Flicker. Auch wenn die Inhalte der Definitionen von Flimmern und Flicker (in der englischsprachigen Literatur) zum Teil leicht abweichen, ist eine grundlegende sachliche Unterscheidung zwischen Flimmern und Flicker im deutschen Sprachgebrauch nicht sinnvoll.
Flimmerverschmelzungsfrequenz (in Hz)	Die Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF), auch Flimmerfusionsfrequenz oder kritische Flickerfrequenz (CFF) genannt, ist die „Grenzfrequenz einer Folge von Lichtreizen, oberhalb derer das Flimmern nicht wahrnehmbar ist“ und liegt zwischen 22 Hz und 90 Hz. Bei unvollständiger Verschmelzung tritt Flimmern auf.  Für den Ablauf der chemischen Prozesse in der Netzhaut des Auges, die bei der Lichtreizung ausgelöst werden und zur Erregung führen, ist eine Mindestzeit erforderlich. Ist das Zeitintervall zwischen zwei Reizen kürzer als diese Mindestzeit, so können die Reize nicht getrennt wahrgenommen werden.	IEC 60050-845: 1987/CIE 17.4: 1987; 845-02-50	Diese Bewertung gilt für einen durchschnittlichen Betrachter.
Short-term flicker severity $P_{st}$	Bewertungsmaß für Leuchtdichteänderungen, die von einem durchschnittlichen (oder normalen) Beobachter wahrgenommen werden.  Bewertungsmaß $P_{st}^V$ für Leuchtdichteänderungen, hervorgerufen durch Schwankungen der Versorgungsspannung.  Bewertungsmaß $P_{st}^{LM}$ für Leuchtdichteänderungen, hervorgerufen durch die Vorschaltgeräte/Lichtquellenkombination bei genormter (konstanter) Versorgungsspannung.	IEC/TR 61547-1: 2015 und IEC 60050-161:1990, 161-08-18	Wechsel des Beleuchtungsniveaus, das von einem durchschnittlichen (oder normalen) Beobachter direkt wahrgenommen wird.  Dabei wird der Frequenzbereich von 0 Hz bis 80 Hz betrachtet.  Die Grenze der Wahrnehmbarkeit wurde in Reihenversuchen mit Probanden ermittelt.  Beim Kurzzeit-Flickern wird zwischen dem Flickern – erzeugt durch die Netzversorgungsspannung ( $P_{st}^V$ – und dem Flickern – erzeugt durch die Lichtquelle in Verbindung mit dem Vorschaltgerät ( $P_{st}^{LM}$ ) – unterschieden.
Flicker-Index (FI)	$FI = \frac{A1}{A1 + A2}$  Der Flicker-Index beschreibt das Verhältnis der Flächen A1 über dem Lichtstrommittelwert des abgegebenen Lichts zum gesamten abgegebenen Lichtstrom (Fläche A1 + A2) in einem Betrachtungsintervall.		
Modulation (in %)	Siehe Modulationstiefe oder Modulationsgrad (MD).		
Modulationstiefe oder Modulationsgrad (MD)	$MD = \frac{(L_{max} - L_{min})}{(L_{min} + L_{min})} = 100 \%$  Die Modulationstiefe ist das Verhältnis zwischen Differenz und Summe der maximalen und minimalen Licht-Signalamplituden.		

Bezeichnung	Definition	Publikation oder Standard	Bemerkung
PWM-Dimmung	PWM steht für Pulsweitenmodulation. Die Lichtquelle wird pulsierend mit Strom versorgt. Die pulsierende Stromversorgung erfolgt schneller als vom menschlichen Auge wahrnehmbar. Die Dimmwirkung ergibt sich aus dem Verhältnis der Einschaltdauer zur Periodendauer (Tastgrad).		Typische Pulsfrequenzen liegen im Bereich 200 Hz bis 600 Hz; anzutreffen sind Frequenzen im Bereich 100 Hz bis 2.000 Hz.
Ripple Current bzw. Ripplestrom	Effektivwert des Wechselstromanteils, z. B. einer LED-Modul-Stromversorgung.		Der Wechselstromanteil wird teilweise relativ zum Gleichspannungsanteil in % angegeben.
Stroboskopeffekt (Radwageneffekt)	Veränderung einer Bewegungswahrnehmung eines statischen Beobachters in einer nicht statischen Umgebung, hervorgerufen durch einen Lichtreiz, dessen Helligkeit oder spektrale Verteilung zeitlich schwankt.	Bewertungsmaß SVM nach CIE TN 006:2016	Effekt, der für einen durchschnittlichen Betrachter sichtbar werden kann, wenn ein sich bewegendes oder rotierendes Objekt beleuchtet wird. Dabei wird der Frequenzbereich von ca. 50 Hz bis ca. 2 kHz betrachtet.
SVM Stroboscopic Visibility Measure	$SVM = \sqrt[3,7]{\sum_{i=1}^{N(\leq 2kHz)} \left(\frac{C_i}{I_i}\right)^{3,7}}$		Neue Metrik zur Bewertung des Stroboskopeffekts.
Tastgrad	Verhältnis der Einschaltdauer zur Periodendauer beim PWM-Dimmen.		
Temporal Light Artefacts (TLA)	Eine Änderung in der visuellen Wahrnehmung eines menschlichen Beobachters in einer bestimmten Umgebung, hervorgerufen durch einen Lichtreiz, dessen Helligkeit oder spektrale Verteilung zeitlich schwankt.	Nach CIE TN 006:2016	
Phantom Array Effect (Perlschnureffekt)	Veränderung der wahrgenommenen Form oder räumlichen Anordnung von Objekten für einen nichtstatischen Beobachter in einer statischen Umgebung, hervorgerufen durch einen Lichtreiz, dessen Helligkeit oder spektrale Verteilung zeitlich schwankt.	Nach CIE TN 006:2016	Beispiel: Bei einem Sakkadensprung (schnelles Bewegen der Augen zwischen feststehenden Punkten) über einer kleinen Lichtquelle wird die Lichtquelle als eine Reihe von räumlich ausgedehnten Lichtflecken wahrgenommen
			Bei der messtechnischen Bewertung wird der Frequenzbereich von ca. 50 Hz bis ca. 2 kHz betrachtet.

## Anhang 2: Literaturverzeichnis

- LightingEurope Position Paper on Flicker and Stroboscopic Effect (Temporal Light Artefacts), September 2016  
<http://www.lightingeurope.org/news/article/position-paper-on-flicker-and-stroboscopic-effect>
- CIE TN 006:2016, Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems – Definitions and Measurement Models, August 2016  
[http://files.cie.co.at/883\\_CIE\\_TN\\_006-2016.pdf](http://files.cie.co.at/883_CIE_TN_006-2016.pdf)
- IEC/TR 61547-1:2015, Equipment for general lighting purposes. EMC immunity requirements. Part 1: An objective voltage fluctuation immunity test method, April 2015  
<https://www.iec-normen.de/221721/iec-tr-61547-1-2015-04-ed-1-0-englisch.html>
- IEC 61000-3-3, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-3: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current  $\leq 16$  A per phase and not subject to conditional connection, Edition 3.0, Mai 2013
- IEC 61000-4-15, Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and Measurement Techniques - Flickermeter - Functional and Design Specifications, Edition 2.0, Mai 2010
- IEEE Std 1789-2015, IEEE Recommended Practices of Modulating Current in High Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers:  
<http://standards.ieee.org/findstds/standard/1789-2015.html>
- NEMA Position Paper, Temporal Light Artifacts (Flicker and Stroboscopic Effects), 2015-06-15: <https://www.nema.org/news/Pages/NEMA-Lighting-Systems-Division-Publishes-Position-Paper-on-Temporal-Light-Artifacts.aspx>
- NEMA Lighting Systems Division Document, Temporal Light Artifacts: Test Methods and Guidance for Acceptance Criteria, Publication in preparation
- Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies (ASSIST), Flicker Parameters for Reducing Stroboscopic Effects from Solid-state Lighting Systems, Volume 1, Issue 1, Mai 2012:  
<http://www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate/assist/pdf/AR-Flicker.pdf>
- EC SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks), Health Effects of Artificial Light, 19 March 2012: [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/consultations/public\\_consultations/scenihr\\_consultation\\_14\\_en.htm](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consultations/public_consultations/scenihr_consultation_14_en.htm)
- F. Deter, P. Beeckman, N. Wittig, Spannungsschwankungen und Licht-Flicker nach dem Ausstieg aus der Glühlampentechnologie, EMV 2016 Conference
- G. Perz et al, Modeling the visibility of the stroboscopic effect occurring in temporally modulated light systems, Lighting Research and Technology published online 13 May 2014: <http://lrt.sagepub.com/cgi/reprint/1477153514534945v1.pdf?ijkey=GcQ3UW7Qz2UwqtM&keytype=ref>
- D.H. Kelly, Visual responses to time-dependent stimuli, I. Amplitude sensitivity measurements, Journal of the Optical Society of America 51, 1961



ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-  
und Elektronikindustrie e.V.  
Lyoner Straße 9  
60528 Frankfurt am Main  
Telefon: +49 69 6302-0  
Fax: +49 69 6302-317  
E-Mail: [zvei@zvei.org](mailto:zvei@zvei.org)  
[www.zvei.org](http://www.zvei.org)