

Inhaltsverzeichnis

1. Über dieses Dokument	2
2. Was sind TLA?	2
3. Wie entstehen TLA?	2
4. Was sind die negativen Folgen von TLA?	3
5. Wo lagen die Schwierigkeiten beim Messen von TLA?	3
6. Welche neuen Messverfahren wurden inzwischen entwickelt?	4
6.1. PstLM-Messverfahren	4
6.2. SVM-Messverfahren	5
7. Welche offiziellen Bestimmungen gelten?	6
8. Wie steht es um die Entwicklung geeigneter Akzeptanzkriterien?	6
9. Quellen	7

1. Über dieses Dokument

Temporal Light Artefacts (TLA) ist ein Überbegriff für Lichtstörungen wie Flicker oder den Stroboskop-Effekt. TLA sind physikalisch bedingt und treten dadurch bei allen Leuchtmitteln mehr oder weniger stark auf.

Die Messung von TLA ist schwierig. Durch neue, verbesserte Messverfahren (PstLM und SVM-Metrik) ist es nun aber möglich, nachvollziehbare und vergleichbare Aussagen über die Lichtqualität einzelner Geräte zu treffen.

Der vorliegende Text erläutert die Ursachen von TLA und gibt einen Überblick über die bei TRIDONIC eingesetzten TLA-Messverfahren.

2. Was sind TLA?

Der Dachverband der Europäischen Lichtindustrie definiert in seinem Positionspapier „LightingEurope Position Paper on Flicker and Stroboscopic Effect“ wie folgt:

"Unerwünschte Effekte in der visuellen Wahrnehmung eines Beobachters innerhalb seiner Umgebung werden als ‚Temporal Light Artefacts‘ (TLA) bezeichnet. Sie werden hervorgerufen durch einen Lichtstimulus, dessen Intensität sich mit der Zeit ändert. Zwei wohlbekannte Beispiele solcher Effekte sind Flicker und Stroboskopeffekt."

Einfach ausgedrückt, handelt es bei TLA um unerwünschte Helligkeitsschwankungen eines elektrisch betriebenen Leuchtmittels.

3. Wie entstehen TLA?

TLA sind kein produktspezifisches Problem, sondern entstehen immer, wenn Leuchten mit Netzspannung (Wechselspannung) betrieben werden.

Unterschiedliche Leuchtmittel geben die Schwankungen des Lichtstroms verschieden stark wider. Grund dafür sind Unterschiede in Aufbau und Konstruktion.

- _ Da Glühlampen direkt über Netzwechselspannung und ohne ein vorgeschaltetes Betriebsgerät betrieben werden, treten Schwankungen des Lichtstroms mit doppelter Netzfrequenz auf. Diese Schwankungen werden allerdings abgemildert, da der Glühfaden eine immanente Trägheit besitzt. Diese sorgt im Moment des Nulldurchgangs der Netzwechselspannung dafür, dass der Draht weiter glüht.
- _ Die LED emittiert das Licht zeitlich präzise dem Strom folgend. Der LED ist aber immer ein Betriebsgerät vorgeschaltet, das einen Gleichstrom liefert, dem ein niederfrequenter (doppelte Netzfrequenz) und ein hochfrequenter (Betriebsfrequenz des Betriebsgeräts) Wechselanteil überlagert ist. Der niederfrequente Anteil ist für TLA relevant.

4. Was sind die negativen Folgen von TLA?

TLA sind aus unterschiedlichen Gründen problematisch:

- _ Lichtflicker im sichtbaren Bereich:
Sichtbare TLA werden als störend wahrgenommen.
- _ Gesundheitliche Beeinträchtigung:
TLA können unter Umständen Stresssymptome auslösen. Beim Menschen können in seltenen Fällen Kopfschmerzen oder Müdigkeit auftreten. In einzelnen Fällen kann TLA zu epileptischen Anfällen führen. In der Tierzucht kann es zu verringertem Wachstum kommen. Die Symptome beim Menschen sind davon unabhängig, ob TLA bewusst wahrgenommen werden.
- _ Bildstörungen bei Kameras:
Streifenförmige Bildstörungen bei verschiedenen Kameratypen (Digitalkameras, Filmkameras, Sicherheits-/Überwachungskameras, Webcams, Sportkameras, Hochgeschwindigkeitskameras, Systemen zur visuellen Inspektion)
- _ Funktionsstörungen bei Geräten:
Es kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass jene Schaltvorgänge, die Auslöser von TLA sind, auch zu Störungen bei anderen technischen Geräten führen. Dazu gehören Barcodelesegeräte, Pulse Oximeter, Sensoren, optische Messeinrichtungen, Lichtschranken, etc.
- _ Gefahr bei Arbeitsplätzen mit rotierenden Maschinen:
Durch den Stroboskopeffekt wird die Wahrnehmung rotierender Teile verfälscht. Dies erhöht die Gefahr von Unfällen bei entsprechenden Arbeiten.

5. Wo lagen die Schwierigkeiten beim Messen von TLA?

VORSICHT!

Handy-Kameras eignen sich nicht als Instrument, um die Lichtqualität in Bezug auf Flicker oder stroboskopische Effekte zu bewerten!

Die lange Zeit eingesetzten Messverfahren Modulationstiefe und Flicker-Index waren für die Beurteilung von TLA aus folgenden Gründen nur bedingt aussagekräftig:

- _ Wichtige Einflussfaktoren auf die menschliche Wahrnehmung wurden nur unzureichend berücksichtigt, bspw. gemischte Modulationsfrequenzen, spezielle Kurvenform, Tastgrad der Modulation
- _ Die Verfahren arbeiteten ohne Angabe der Modulationsfrequenz und waren dadurch nicht aussagekräftig
- _ Die Verfahren beschränkten sich auf kurze Bewertungszeiträume
- _ Messwerte, die bei unterschiedlichen Frequenzen gemessen wurden, konnten nicht direkt miteinander verglichen werden (ein solcher Vergleich wäre nur mit Hilfe einer frequenzabhängigen Konvertierung möglich)

Die Entwicklung verbesserter, neuer Messverfahren hatte lange Zeit mit zusätzlichen Schwierigkeiten zu kämpfen:

- _ Zusammenwirken unterschiedlicher Komponenten:
Die Bewertung von Einzelkomponenten ist oft nur in Kombination mit weiteren Systemkomponenten möglich. Beim Zusammenspiel von LED-Modul und Betriebsgerät hängen TLA u.a. vom Arbeitspunkt und in geringem Maß auch vom

differenziellen Widerstand des verwendeten LED-Moduls ab.

– Einfluss unterschiedlicher Applikationsbedingungen:

Unterschiedliche Applikationsbedingungen (Arbeitsumfeld, Gefahrenpotential, etc.) erfordern unterschiedliche Grenzwerte. Diese müssen separat bestimmt werden.

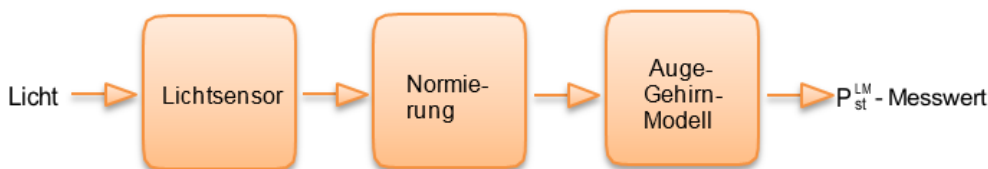
Im Ergebnis entstand eine Situation, die gekennzeichnet war von nur beschränkt geeigneten Messverfahren, fehlender Standardisierung und fehlenden Grenzwerten.

6. Welche neuen Messverfahren wurden inzwischen entwickelt?

6.1. PstLM-Messverfahren

Ziel dieses Messverfahrens (PstLM von „short-term Light Modulation“) ist es, sichtbaren Flicker zu messen, der 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 Bild oben zeigt das Blockschaltbild eines Flickermeters, welches nach dem PstLM-Messverfahren arbeitet. Eine zuverlässige Bewertung von niederfrequenten Flicker-Phänomenen dauert hiermit etwa 1 Minute.

6.1.1. Lichtsensor

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

6.1.2. Normierung

Dieser Block skaliert das Eingangssignal derart, dass die Amplitude des Ausgangssignals unabhängig von dem absoluten Lichtniveau (z.B. der Beleuchtungsstärke) wird. Dazu wird das Eingangssignal auf den Durchschnittswert (DC-Anteil) des Eingangssignals normiert.

6.1.3. Auge-Gehirn-Modell

Dieser Block bewertet das Signal mit einem sogenannten „Auge-Gehirn-Modell“, das die frequenzabhängige Flickerwahrnehmung eines durchschnittlichen Menschen nachbildet. Das Ausgangssignal dieses Blocks entspricht dem PstLM-Wert.

6.1.4. Grenzwert für PstLM

Der Grenzwert für PstLM wurde mit ≤ 1 festgelegt.

Dieser Wert wurde anhand einer repräsentativen Testgruppe ermittelt und stellt die durchschnittliche Sichtbarkeitsgrenze für sichtbaren Flicker dar (Kriterium aus IEC/EN 61000-3-3).

Was der genannte Grenzwert nicht bestimmt, ist eine genauere Unterteilung von Werten für unterschiedliche Applikationsbedingungen.

6.2. 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 von 80 bis 2.000 Hz auftreten kann. Das Bild unten zeigt das Blockschaltbild eines Flickermeters, welches nach dem SVM-Messverfahren arbeitet. Für die Berechnung des SVM-Wertes ist eine Signaldauer von mindestens 1 Sekunde erforderlich.



6.2.1. Lichtsensor

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

6.2.2. Summation der Spectrallinien

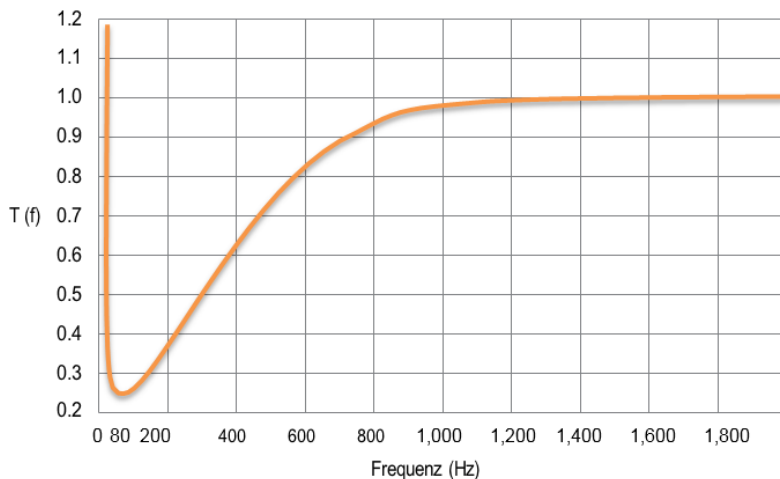
In diesem Block wird der SVM-Messwert berechnet. Dies geschieht über eine Summation der Frequenzkomponenten des Eingangssignals nach folgender Formel:

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

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

T_i in der Formel repräsentiert die Sichtbarkeitsschwelle für den Stroboskopeffekt für ein sinusförmiges Signal mit der Frequenz der i -ten Frequenzkomponente.

Die frequenzabhängige Empfindlichkeitskurve $T(f)$ ist im Bild unten dargestellt. Das Ausgangssignal des Summationsblocks entspricht dem SVM-Wert.



6.2.3. Grenzwerte für SVM

Der Grenzwert für PstLM wurde mit SVM=0,4 festgelegt.

Dieser Wert steht für die Sichtbarkeitsschwelle von Testpersonen, die sich auf die Bewertung des Stroboskopeffektes unter Laborbedingungen konzentrieren. Die tatsächliche Akzeptanzschwelle kann stark von den Applikationsbedingungen abhängen.

7. Welche offiziellen Bestimmungen gelten?

Durch die Verabschiedung der VERORDNUNG (EU) 2019/2020 DER KOMMISSION vom 1. Oktober 2019 (siehe [Quellen](#), S. 7) gibt es nun vorgegebene Grenzwerte für PstLM $\leq 1,0$ und SVM = 0,4.

Die Verordnung wird nach einer Übergangsfrist zum Stichtag 1. September 2021 verpflichtend für netzbetriebene LED-Lichtquellen, also beispielsweise AC-Module.

Systeme bestehend aus separatem LED-Treiber und LED-Modul sind von der Verordnung nicht betroffen. Allerdings ist sehr wahrscheinlich, dass die genannten Grenzwerte sich als allgemein gültige Industrie-Standards etablieren.

8. Wie steht es um die Entwicklung geeigneter Akzeptanzkriterien?

Zu möglichen Akzeptanzbedingungen und Akzeptanzkriterien bestehen bisher nur allgemeine Hinweise.

Die Akzeptanzkriterien hängen sowohl von der Sichtbarkeit als auch von der Relevanz bzw. vom Risiko in der jeweiligen Anwendung ab. Für allgemeine Anwendungen (z.B. häusliche Aufenthaltsbereiche, Büros) kann PstLM $\leq 1,0$ und SVM=0,4 ein guter Referenzwert sein.

Hinsichtlich der weiteren Ausarbeitung und Festlegung von Grenzwerten müssen in den nächsten Jahren in der Beleuchtungsbranche weitere Erfahrungen gesammelt werden.

9. Quellen

- _ LightingEurope, Position Paper on Flicker and Stroboscopic Effect:
<https://lightingeurope.org/position-papers/119-lightingeurope-position-paper-on-flicker-and-stroboscopic-effect> (nur en)

- _ ZVEI, Temporal Light Artefacts - TLA Lichtflicker und Stroboskopeffekt:
<https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/temporal-light-artefacts-tla/>

- _ IEC/TR 61547-1, Equipment for general lighting purposes - EMC immunity requirements - Part 1: An objective light flickermeter and voltage fluctuation immunity test method (nur en)

- _ IEC 61000-4-15, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications (nur en)

- _ IEC/EN 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 ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection (nur en)

- _ VERORDNUNG (EU) 2019/2020 DER KOMMISSION vom 1. Oktober 2019 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen und separate Betriebsgeräte gemäß der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 244/2009, (EG) Nr. 245/2009 und (EU) Nr. 1194/2012 der Kommission:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R2020&from=EN>