

Information

# Lichtmodulation

Temporal Light Artefacts und  
Wechselwirkung mit technischen Geräten

Messverfahren

**TLA** Wechselwirkungen  
Ripplestrom

Lichtmodulation

Standards **Flicker**

Stroboskopeffekt

**Flimmern**



## **Impressum**

### **Lichtmodulation**

### **Temporal Light Artefacts und Wechselwirkung mit technischen Geräten**

Herausgeber:

ZVEI e. V.

Fachverband Licht

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6302-349

Fax: +49 69 6302-1349

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

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

Ansprechpartner: Wolfram Pajek

November 2021

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.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Lichtmodulation</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Temporal Light Artefacts (TLA)</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Messverfahren zur Bewertung von moduliertem Licht</b>	<b>6</b>
3.1	Modulationstiefe (MD), Flicker -Index (FI) und Ripple-Strom	6
3.2	Neue, verbesserte Messverfahren für die Bewertung von TLA	7
3.2.1	$P_{st}^{LM}$ -Messverfahren	7
3.2.2	SVM-Messverfahren	8
<b>4</b>	<b>Standards, Empfehlungen und Grenzwerte für TLA</b>	<b>9</b>
4.1	Entwicklungen in den internationalen Standards	9
4.2	Empfehlungen der IEEE 1789	9
4.3	Anforderungen der Ecodesign-Verordnung (EU) 2019/2020	9
<b>5</b>	<b>Lichtmodulations-Wechselwirkungen mit technischen Geräten und Maschinen</b>	<b>10</b>
5.1	Barcode-Scanner	10
5.2	Digitalkameras	12
5.3	PWM-Dimmen	13
5.4	Anwendungsprobleme durch moduliertes Licht	14
<b>6</b>	<b>TLA- und TLI-Messinstrumente</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Empfehlungen</b>	<b>15</b>
7.1	Empfohlene TLA-Grenzwerte für professionelle LED-Leuchten und Betriebsgeräte	15

# 1 Lichtmodulation

Die Qualität einer Beleuchtung wird durch viele Faktoren bestimmt. Beleuchtungsstärke, Farbwiedergabe, Blendung, Gleichmäßigkeit, Lichtfarbe sind einige bekannte Kriterien.

Durch die LED-Technologie ergeben sich völlig neue Möglichkeiten zur Energieeinsparung und Gestaltung.

Allerdings reagieren LEDs in ihrer Lichtemission praktisch trägheitslos auf ihre elektrische Stromversorgung und deren zeitliche Schwankungen. Die dadurch entstehende zeitliche Lichtmodulation wird zu einem weiteren wichtigen Qualitätskriterium für die Auslegung und Bewertung einer Lichnanwendung. Das Wohlbefinden von Menschen spielt dabei die größte Rolle; aber auch die ordnungsgemäße Funktion von optischen Geräten, wie z.B. Barcodescanner oder Kameras, kann dadurch beeinflusst werden.

Die vorliegende Informationsschrift des ZVEI stellt eine Ergänzung und Aktualisierung der im März 2017 erschienenen Informationsschrift „Temporal Light Artefacts – TLA / Flimmern und Stroboskopeffekt“ dar. Damit sollen die aktuellen Entwicklungen in den internationalen Standards und neuer europäischer Regulierungen sowie die Erfahrungen aus der Anwendung der neuen TLA-Metriken und die Lichtmodulations-Wechselwirkungen mit technischen Geräten und Maschinen adressiert werden.

## 2 Temporal Light Artefacts (TLA)

Unter TLA werden alle visuellen (also durch den Menschen wahrnehmbare) Effekte zusammengefasst, die durch Lichtquellen hervorgerufen werden, deren Intensität oder Spektralverteilung sich mit der Zeit ändert. Zwei bekannte Beispiele solcher Effekte sind Flimmern (engl.: Flicker) und Stroboskopeffekt. Beim Stroboskop-Effekt handelt es sich um eine Veränderung einer Bewegungswahrnehmung eines ruhenden Beobachters in einer nicht-statischen Umgebung, hervorgerufen durch einen Lichtreiz, dessen Helligkeit oder spektrale Verteilung zeitlich schwankt. Es muss also ein bewegtes oder rotierendes Objekt beteiligt sein, damit der Stroboskop-Effekt sichtbar wird. Dabei spielen Modulationsfrequenzen des Lichtes im Bereich von ca. 50 Hz bis ca. 2 kHz eine Rolle.

Dagegen ist das Lichtflimmern (engl.: Flicker) direkt – also auch ohne bewegte Objekte sichtbar, wenn die Modulationsfrequenzen des Lichts unterhalb von ca. 80 Hz liegen.

(Formal handelt es sich um den Eindruck der Unstetigkeit visueller Empfindungen, hervorgerufen durch Lichtreize mit zeitlicher Schwankung der Leuchtdichten oder der spektralen Verteilung.)

# 3 Messverfahren zur Bewertung von moduliertem Licht

Um die Wirkung von moduliertem Licht objektiv erfassen und bewerten zu können, sind geeignete Metriken bzw. physikalische Bewertungskriterien und dazugehörige Messverfahren erforderlich.

## 3.1 Modulationstiefe (MD), Flicker -Index (FI) und Ripple-Strom

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

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

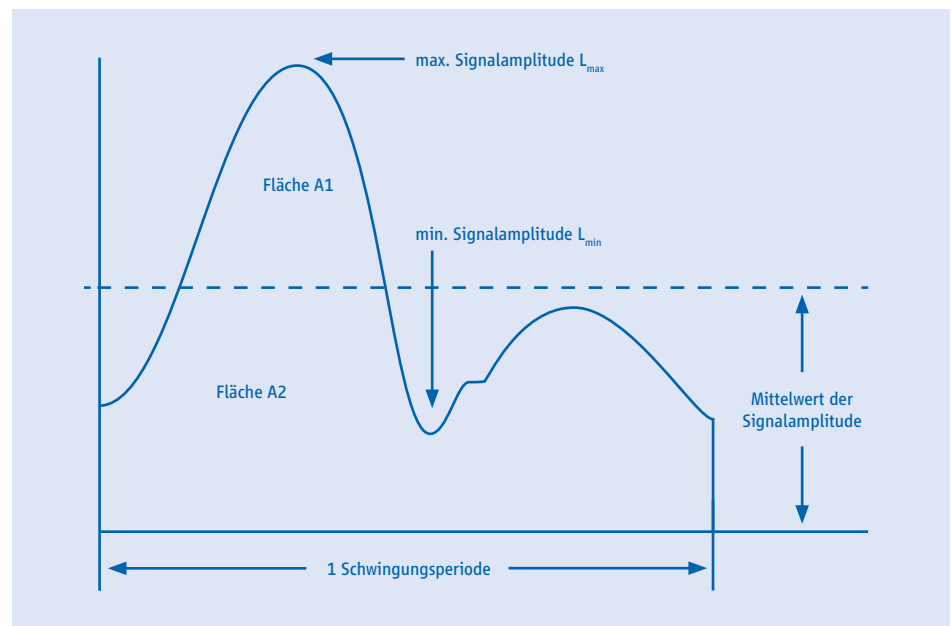


Bild 1: Anwendungsbeispiel für die Bewertungsverfahren Modulationstiefe (MD) und Flicker Index (FI)

Quelle: ZVEI

Die Modulationstiefe (MD) ist wie folgt definiert: 
$$MD = \frac{(L_{max} - L_{min})}{(L_{max} + L_{min})} \cdot 100\%$$

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.

Zur Beurteilung der Wirkung von moduliertem Licht auf den Menschen (TLA), sind die Metriken Modulationstiefe (MD) und Flicker-Index (FI) allerdings nur bedingt geeignet. Das liegt u.a. daran, dass die Kurvenform der Modulation und die Modulationsfrequenz darin nicht berücksichtigt werden.

Anstelle der Modulationstiefe für das modulierte Licht wird oft die Modulationstiefe des elektrischen Stroms, der durch die LEDs fließt, gemessen und herangezogen. Dieser dem Gleichstrom überlagerte Wechselstrom (genannt „Ripple-Strom“, angegeben in %) ist für die Bewertung von visuellen Effekten daher auch nur zusammen mit weiteren Informationen zu Modulationsfrequenzen etc. sinnvoll. Oft werden die relevanten Frequenzbereiche des Ripplestroms unterschieden in einen niederfrequenten Anteil, bei dem vor allem die verbleibende Netzfrequenz-Restwelligkeit bei 100 Hz gemeint ist und einen hochfrequenten Anteil > 10 kHz, der von den Schaltnetzteilstufen des Betriebsgerätes erzeugt wird.

Allgemein lässt sich feststellen, dass ein niederfrequenter Ripplestrom bei 100 Hz vor allem die Sichtbarkeit des Stroboskopeffektes sowie mögliche Bildstörungen bei Aufnahmen mit Digitalkameras beeinflusst. Hochfrequente Rippleströme > 20 kHz spielen für die visuelle Wahrnehmung durch den Menschen keine Rolle; dagegen können sie u.U. zu Funktionsstörungen bei Barcodescannern oder speziellen Kameras führen.

Allerdings kann die Messung von Rippleströmen problematisch sein, da das Messverfahren nicht genormt ist und insbesondere bei mehreren überlagerten Frequenzen zu nicht eindeutigen Ergebnissen führen kann.

Empfehlung: Für die Bewertung von TLA sollten die Messgrößen Modulationstiefe (MD), Flicker-Index (FI) sowie der Ripplestrom nicht verwendet werden.

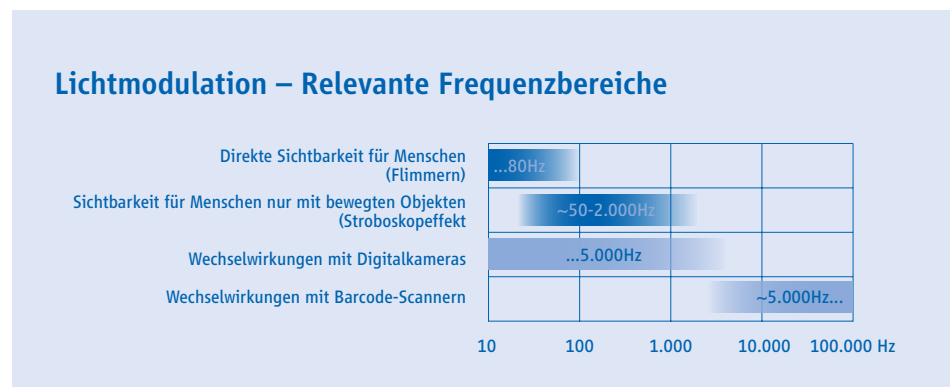


Bild 2: Frequenzbereiche von moduliertem Licht, bei denen sichtbare Effekte oder Störungen mit technischen Geräten auftreten können (jeweils abhängig von der Modulationstiefe) Quelle: OSRAM

## 3.2 Neue, verbesserte Messverfahren für die Bewertung von TLA

### 3.2.1 $P_{st}^{LM}$ -Messverfahren

Ziel dieses Messverfahrens ( $P_{st}^{LM}$  von Perceptibility Short Term Light Modulation) ist es, das für Menschen sichtbare Flimmern zu erfassen, das durch Lichtmodulation im Frequenzbereich 0,3 Hz bis 80 Hz verursacht wird. Ein vereinfachtes Blockschaltbild des  $P_{st}^{LM}$ -Messverfahrens ist in Bild 3 dargestellt.

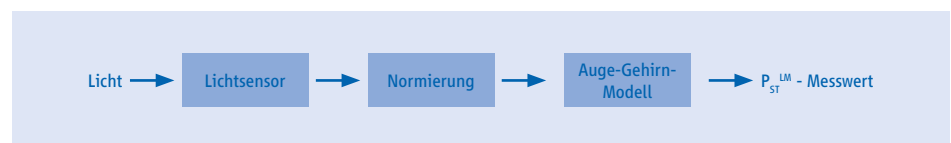


Bild 3 – Blockschaltbild  $P_{st}^{LM}$ -Messverfahren Quelle: ZVEI

Ein  $P_{st}^{LM}$ -Messwert von 1 bedeutet, dass das Flimmern der gemessenen Lichtquelle gerade an der Wahrnehmbarkeitsschwelle liegt. D.h. die Hälfte einer Gruppe von normalen, bzw. gesunden Beobachtern kann unter Laborbedingungen bereits ein Flimmern der Lichtquelle noch wahrnehmen, die andere Hälfte gerade nicht mehr.

Bei  $P_{st}^{LM}$ -Werten  $>1$  können entsprechend mehr Personen ein Flimmern wahrnehmen; umgekehrt können bei  $P_{st}^{LM}$ -Werten  $<1$  weniger oder gar keine Personen mehr ein Flimmern wahrnehmen.

### 3.2.2 SVM-Messverfahren

Mit dem SVM-Messverfahren (SVM steht für Stroboscopic Visibility Measure) sollen Stroboskopeffekte – also die visuellen Erscheinungen, die nur in Zusammenhang mit bewegten bzw. rotierenden Objekten auftreten – objektiv bewertet werden.

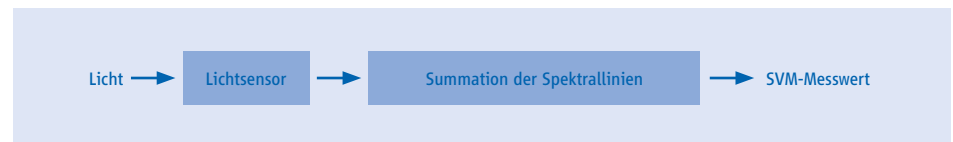


Bild 4: Blockschaltbild SVM-Messverfahren

Quelle: ZVEI

Ähnlich wie beim  $P_{st}^{LM}$ -Messverfahren bedeutet ein SVM-Wert von 1, dass die Hälfte einer Gruppe von normalen Beobachtern unter Laborbedingungen gerade noch einen Stroboskopeffekt wahrnehmen kann, während für die andere Hälfte der Beobachter die Wechselwirkung zwischen Lichtmodulation und bewegten Objekten so gering ist, dass sie nicht mehr erkennbar ist. Hohe SVM-Werte  $\gg 1$  kennzeichnen deutlich sichtbare Stroboskopeffekte.

In Arbeitsstätten, in denen eine Gefährdung durch rotierende Maschinen und eventuell auftretende Stroboskopeffekte besteht, ist auf jeden Fall eine auf diesen Arbeitsplatz abgestimmte Risikobewertung erforderlich. Eine Bewertung der verwendeten Beleuchtungssysteme mit Hilfe der SVM-Metrik kann dabei nützliche Hinweise geben, ist allein aber nicht ausreichend.



# 4 Standards, Empfehlungen und Grenzwerte für TLA

## 4.1 Entwicklungen in den internationalen Standards

Veröffentlicht:

- IEC TR 61547-1:2020 Equipment for general lighting purposes. EMC immunity requirements – Part 1: Objective light flickermeter and voltage fluctuation immunity test method
- IEC TR 63158:2018 Equipment for general lighting purposes. Objective test method for stroboscopic effects of lighting equipment
- CIE TN 012:2021, Guidance on the measurement of temporal light modulation of light sources and lighting systems
- NEMA 77:2017 Temporal Light Artefacts: Test Methods and Guidance for Acceptance Criteria
- CIE TN006:2016 details the definitions and measurement model for visual aspects of time-modulated lighting systems.

In Kürze veröffentlicht:

- CIE TR###: 2021 wird voraussichtlich Ende 2021 veröffentlicht und enthält die Wahrnehmungseffekte, die moduliertes Licht erzeugen kann, sowie einen Überblick über die Parameter, die die Sichtbarkeit von TLA beeinflussen.

## 4.2 Empfehlungen der IEEE 1789

In dem 2015 erschienenen Dokument „IEEE Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers“ werden Empfehlungen für die max. Modulationstiefe von Lichtquellen bei bestimmten Frequenzen gegeben, die u.a. in einigen Spezifikationen für Gebäude referenziert werden. Darunter ist insbesondere eine maximale Modulationstiefe von 8 % bei 100 Hz zu nennen.

Da – wie bereits erwähnt – die Modulationstiefe für die Bewertung von TLA nur bedingt geeignet ist, sollten die Empfehlungen der IEEE 1789 nicht für sich alleine bzw. nur in Verbindung mit geeigneten zusätzlichen Informationen angewendet werden.

## 4.3 Anforderungen der Ecodesign-Verordnung (EU) 2019/2020

Mit der verpflichtenden Anwendung der EU-Verordnungen 2019/2020 und 2021/341 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen (u.a.) werden erstmals gesetzliche Mindestanforderungen an die TLA-Eigenschaften von Lichtquellen in der EU gestellt:

Ab 1.9.2021:  $P_{st}^{LM} \leq 1$  und  $SVM \leq 0,9$

Ab 1.9.2024:  $P_{st}^{LM} \leq 1$  und  $SVM \leq 0,4$

Betroffen sind hier aber nur Lichtquellen, die direkt an der 230 V-Netzspannung betrieben werden können (MLS=Mains Light Sources; z.B. LED-Lampen mit E27-Sockel). Diese Anforderungen gelten nicht für LED-Module, die nicht über 230 V-Netzspannung, sondern ausschließlich über ein separates Betriebsgerät mit Gleichstrom oder Gleichspannung betrieben werden (NMLS= Non Mains Light Source) und auch nicht für Betriebsgeräte und Leuchten. Bei Leuchten mit Netzspannungsanschluss gilt die Ausnahme von den Anforderungen allerdings nur, wenn die enthaltenen Lichtquellen für die Überprüfung durch die Marktaufsichtsbehörden ausgebaut werden können.

Artikel 9 der Verordnung (EU) 2019/2020 weist bereits darauf hin, dass die EU-Kommission spätestens im Dezember 2024 die bisherigen Anforderungen überprüfen und ggf. einen Überarbeitungsvorschlag vorstellen wird. Dabei geht es u.a. um den möglichen Nutzen und die Angemessenheit strengerer Anforderungen in Bezug auf das Flimmern und Stroboskop-Effekte sowie um die Erweiterung dieser Anforderungen auf separate Betriebsgeräte.

# 5 Lichtmodulations-Wechselwirkungen mit technischen Geräten und Maschinen

Die Wechselwirkung von moduliertem Licht mit technischen Geräten und Maschinen (z.B. Digitalkameras, Barcode-Scanner, Puls-Oximeter, etc.) wird in der Literatur teilweise -in Anlehnung an den Begriff TLA- auch mit TLI („Temporal Light Interference“) bezeichnet. In der formalen Normung wird diese Bezeichnung allerdings bisher nicht verwendet.

Für die allgemeine Bewertung der Wirkung von moduliertem Licht auf technische Geräte muss die frequenzabhängige MD-Metrik verwendet werden, da die  $P_{st}^{LM}$ -Metrik und die SVM-Metrik in der Regel dafür nicht geeignet sind. Es ist also für jede Modulationsfrequenz die zugehörige Modulationstiefe zu erfassen und entsprechend der Anwendung zu bewerten.

Es gibt allerdings einen Sonderfall bei der Betrachtung der durch die Netzwechselspannung verursachten 100 Hz Restwelligkeit (100 Hz-Ripple) von Beleuchtungssystemen. Hier kann die SVM-Metrik für die Bewertung von moduliertem Licht in Hinblick auf dessen Wechselwirkung mit Digitalkameras hilfreich sein. D.h. geringe SVM-Werte sind ein Zeichen für geringe oder keine sichtbaren Bildartefakte.

In diesem Zusammenhang soll darauf hingewiesen werden, dass für eine mit 100 Hz sinusförmig modulierte Lichtquelle folgender Zusammenhang gilt:

SVM = 1 entspricht 25 % Modulationstiefe (Ripple) bei sinusförmiger Modulation  
(Andere Werte sind entsprechend linear umzurechnen).

## 5.1 Barcode-Scanner

Bei manchen Barcode-Scannern kann es in einer Umgebung mit moduliertem Licht zu Funktionsstörungen kommen, die dazu führen, dass nach einem Scanvorgang die Barcodeinformation nicht erfasst wurde.

Weit verbreitet sind Laser-Scanner, bei denen sich ein Laserstrahl schnell entlang einer dünnen Linie über den Barcode bewegt und dabei die reflektierte Lichtintensität in ihrem Zeitverlauf erfasst wird. Diese Scanner-Technologie reagiert deutlich empfindlicher auf ein zeitlich moduliertes Umgebungslicht als CCD-basierende Barcode-Scanner, bei denen der gesamte Barcode praktisch zur gleichen Zeit erfasst wird.

Neben der Scanner-Technologie spielen die Modulationsfrequenz des Umgebungslichts, die Modulationstiefe sowie die Beleuchtungsstärke eine wesentliche Rolle.

In Bild 5 sind die Bereiche dargestellt, in denen es zu Funktionsstörungen aufgrund von moduliertem Umgebungslicht kommen kann. Diese Darstellung bezieht sich allerdings auf eher ungünstige Prüfbedingungen mit einer Beleuchtungsstärke von 1300 lx auf dem gescannten Objekt, die ausschließlich von einer einzigen modulierten Lichtquelle erzeugt wird.

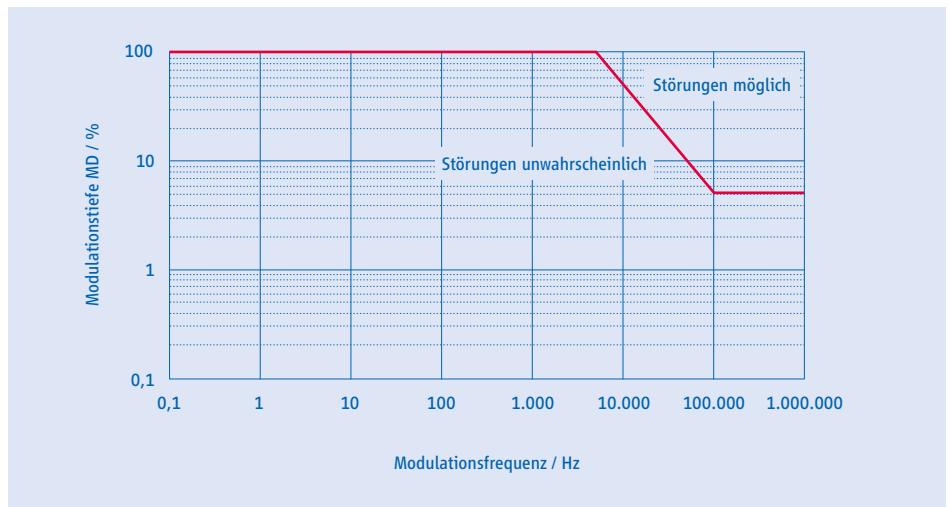


Bild 5: Mögliche Störungsbereiche von Barcode-Scannern in einer Umgebung mit moduliertem Licht

Quelle: OSRAM

Aus dieser Grafik wird ersichtlich, dass es bei der Wechselwirkung von LED-Lichtsystemen mit Barcode-Scannern vor allem auf den Hochfrequenz-Ripple der verwendeten LED-Betriebsgeräte ankommt, während der niederfrequente 100 Hz-Ripple hier praktisch keine Rolle spielt.

Bei CCD-Barcode-Scannern sind in der Regel keine Funktionsstörungen aufgrund der Wechselwirkung mit moduliertem Licht zu erwarten.

Bei Verwendung von Laserscannern können theoretisch unter ungünstigen Betriebsbedingungen Funktionsstörungen auftreten, die von vielen Parametern (Betriebsgeräte-Typ, Betriebsparameter, Beleuchtungsstärke am Barcode, etc.) abhängen.

In der Praxis sind allerdings keine Probleme bekannt.

## 5.2 Digitalkameras

Um den Effekt von moduliertem Licht auf Kameraaufnahmen besser einordnen zu können, ist es sinnvoll, zwischen Standardkameras für gängige Foto- bzw. Videoaufnahmen und hoch performante Kameras für professionelle Studio- und Sportaufnahmen zu unterscheiden. Die hier folgenden Betrachtungen beziehen sich vor allem auf die erste Kategorie der Standardkameras, die u.a. Kompaktkameras, Spiegelreflexkameras, Kameras in Smart Devices, Webcams sowie Überwachungskameras umfassen soll.

Einige Bildartefakte lassen sich über die in der Kamera verwendeten Aufnahmetechnologie erklären. Während bei gängigen CMOS-Kameras mit „Rolling Shutter“ streifenförmige Bildartefakte auftreten können, sind bei Kameras mit „global Shutter“ oder „mechanischem Shutter“ verschiedene Belichtungsniveaus bei aufeinanderfolgenden Einzelbildern möglich.



Bild 6: Streifenförmige Bildartefakte durch Wechselwirkung von moduliertem Licht mit „Rolling Shutter“ Digitalkameras Quelle: Privatfoto Reinhard Lecheler

In modernen Smartphone-Kameras werden zunehmend Softwarelösungen zur Vermeidung oder Reduzierung von Bildartefakten mit moduliertem Umgebungslicht eingesetzt.

Grundsätzlich können Lichtsysteme, die moduliertes Licht im Frequenzbereich unterhalb von ca. 5 kHz aussenden, zu mehr oder weniger stark ausgeprägten Bildartefakten bei Standardkameras führen, wobei die zulässige Modulationstiefe stark von der Modulationsfrequenz abhängt. Eine besonders wichtige Rolle spielt dabei der 100 Hz-Ripplestrom des verwendeten LED-Betriebsgeräts.

In Bild 7 werden die Bereiche von Modulationstiefe und Modulationsfrequenz dargestellt, in denen Bildartefakte mit Standardkameras bei der Beleuchtung mit zeitlich moduliertem Licht auftreten können bzw. in denen keine negative Beeinflussung zu erwarten ist. Im Übergangsbereich sind theoretisch wahrnehmbare Bildartefakte denkbar, die in der Praxis allerdings kaum auffallen dürften. In dieser Darstellung wurde eine minimale Belichtungszeit der Kamera von 1/100 sec zugrunde gelegt. Bei kürzeren Belichtungszeiten (z.B. High Speed Sportaufnahmen) steigen die Tendenz zu sichtbaren Artefakten und damit auch die Anforderungen bzgl. geringer Modulationstiefe bzw. hoher Modulationsfrequenz an die verwendeten (Spezial-) Beleuchtungssysteme.

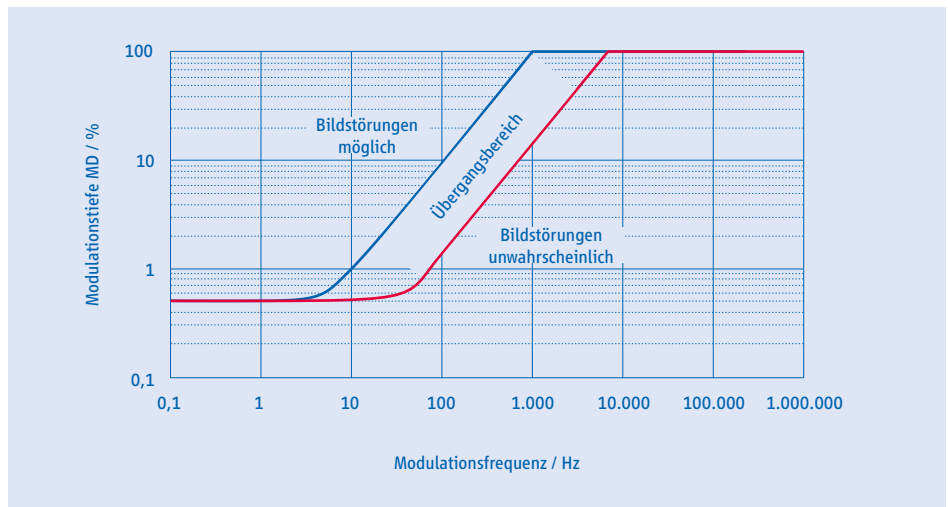


Bild 7: Bereiche der Modulationstiefe und Modulationsfrequenz von Lichtsystemen in denen Bildstörungen mit Standardkamerasystemen möglich bzw. unwahrscheinlich sind

Quelle: OSRAM

### 5.3 PWM-Dimmen

Einige Beleuchtungssysteme verwenden ein Verfahren zum Dimmen von LED-Lichtquellen, bei dem der Strom durch die LEDs in zeitlichen Paketen unterbrochen wird (Pulsweitenmodulation, englisch „pulse width modulation“ = PWM). Die Wiederholfrequenz dieser Pakete liegt dabei im Bereich zwischen 100 Hz und ca. 2000 Hz und ist also für einen Menschen nicht direkt wahrnehmbar. Da die Helligkeit der gedimmten Lichtquellen vom Verhältnis der Ein- und Ausschaltzeiten des LED-Stroms abhängt, wird diese Methode auch als PWM-Dimmen bezeichnet. Das PWM-Dimmverfahren wird häufig bei LED-Systemen mit Konstantspannungsversorgung verwendet und gezielt auch für Anwendungen, bei denen die Farbstabilität und eine konstante Leuchtdichteverteilung beim Dimmen wichtig sind.

Für Kameraaufnahmen liegt die Lichtmodulation beim PWM-Dimmen bei einer Modulationstiefe von 100 % und dem oben genannten Frequenzbereich in dem Korridor, der zu Bildstörungen führen kann. Allerdings werden aufeinander abgestimmte (d.h. im Zeitbereich synchronisierte) Beleuchtungs- und Kamera-Systeme mit hohen PWM-Frequenzen z.B. für professionelle Studioaufnahmen erfolgreich eingesetzt.

## 5.4 Anwendungsprobleme durch moduliertes Licht

### Digitalkameras / Smartphones:

Wechselwirkungen zwischen LED-Beleuchtungssystemen und Aufnahmen mit Digitalkameras respektive Smartphones führen häufiger zu Bildstörungen. Dies tritt vor allem im Zusammenhang mit kostengünstigen Lichtquellen und PWM-Dimmen auf. Verschiedene Kamera- oder Smartphone-Typen können bei derselben Beleuchtung unterschiedliche Bildqualitäten liefern. Lösungsansätze sind in obigem Kapitel „Digitalkameras“ beschrieben.

### Überwachungskameras:

Aus der Vergangenheit sind störende Wechselwirkungen bei Überwachungskameras in Verbindung mit stark modulierten Lichtquellen bekannt. In der Zwischenzeit hat sich die Anzahl derartiger Fälle sehr reduziert. Offenbar werden in der Planung und Anwendung solcher Anlagen bereits bekannte Probleme vermieden, indem geeignete Beleuchtungsprodukte eingesetzt werden. Womöglich spielt bei entsprechenden Ausschreibungen eine Anforderung zur Einhaltung der Grenzwerte der IEEE 1789 Grenzwerte (maximal 8 % Lichtmodulation bei 100 Hz) eine Rolle.

### Barcode-Scanner:

Konkrete Anwendungsprobleme sind nicht bekannt. Theoretische Wechselwirkungen sind in obigem Kapitel „Barcode-Scanner“ beschrieben.

### Pulsoximeter:

In sehr seltenen Fällen gibt es im Zusammenhang mit modulierten Lichtquellen inkorrekte Ergebnisse bei Messungen der Sauerstoffsättigung mit Pulsoximetern. Diesem ungewünschten Verhalten kann durch Vermeidung der PWM-Technologie zum Dimmen der Lichtquellen entgegengewirkt werden. Alternative zum PWM-Dimmen ist das Amplituden-Dimmen.

### Warensicherungsanlagen:

In der Vergangenheit gab es selten ungewünschte Wechselwirkungen zwischen Beleuchtungen mit Leuchtstofflampen und Warensicherungsanlagen. Da die Störungen von Leuchtstofflampen ausgesendet wurden, sind solche Effekte bei LED-Beleuchtungen nicht bekannt.

## 6 TLA- und TLI-Messinstrumente

Die TLA- und TLI-Metriken sind mittlerweile in speziell dafür entwickelte und kommerziell verfügbare TLA-/TLI-Messgeräte eingebettet. Herkömmliche (Smartphone-)Kameras sind zur TLA- und TLI-Beurteilung nicht geeignet und sollten zu diesem Zweck nicht verwendet werden.

## 7 Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Bewertung und angemessene Begrenzung von Lichtmodulation spielt in der Beleuchtungsbranche eine immer größere Rolle.

Die unterschiedlichen Auswirkungen von moduliertem Licht auf Menschen und technische Einrichtungen erfordern eine differenzierte Betrachtung und Verwendung geeigneter Bewertungsverfahren:

- Für die Bewertung von sichtbarem Flimmern sollte ausschließlich die  $P_{st}^{LM}$ -Metrik nach IEC TR 61547-1 verwendet werden.
- Für die Bewertung von möglichen Stroboskopeffekten steht die SVM-Metrik nach IEC TR 63158 zur Verfügung.
- Andere Metriken zur Bewertung von TLA (z.B. Modulationstiefe MD, Flicker-Index FI oder der Ripplestrom) sollten nicht mehr verwendet werden.
- Für die Bewertung von Wechselwirkungen von moduliertem Licht und technischen Geräten (z.B. Digitalkameras oder Barcode-Scanner) kann die Modulationstiefe des Lichtes oder des Ripplestroms verwendet werden. Empfehlungen dazu sind den entsprechenden Kapiteln dieser Informationsschrift zu entnehmen.
- Für die TLA- und TLI-Bewertung sollten ausschließlich dafür vorgesehene TLA/TLI-Messgeräte verwendet werden, bei denen die empfohlenen Metriken im Datenblatt aufgeführt sind. Herkömmliche (Smartphone-)Kameras sind zur TLA- und TLI-Beurteilung nicht geeignet und sollten zu diesem Zweck nicht verwendet werden.

### 7.1 Empfohlene TLA-Grenzwerte für professionelle LED-Leuchten und Betriebsgeräte

Aufgrund der Erfahrungen der Verbraucher hat in der öffentlichen Diskussion das Thema TLA als Qualitätskriterium für gute Beleuchtung an Aufmerksamkeit gewonnen, sodass zunehmend auch bei Produkten für professionelle Beleuchtungsanlagen von Planern und Auftraggebern eine Angabe von Werten für Flimmern und Stroboskopeffekte gefordert wird. Das führt häufig zu Diskussionen, welches die „richtigen“ oder akzeptablen Werte sind.

Um hier dem Markt Orientierung zu geben, empfiehlt der ZVEI die Wahrnehmungsschwelle  $P_{st}^{LM} = 1$  (gemäß IEC TR 61547-1) und  $SVM = 1$  (gemäß IEC TR 63158) auch für die Auslegung von Betriebsgeräten und Leuchten anzuwenden.

ZVEI-Empfehlung für professionelle LED-Leuchten und LED-Betriebsgeräte:

$$P_{st}^{LM} \leq 1 \text{ und} \\ SVM \leq 1$$

Zusätzlich können diese Grenzwerte bei Leuchten und Betriebsgeräten mit interner Dimmfunktion (z.B. via DALI) auch für den gedimmten Betrieb (bei 50 %) empfohlen werden.



ZVEI 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)