

Texte zu den geplanten neuen EU-Regelungen zur umweltgerechten Produktgestaltung und zur Energieverbrauchs-kennzeichnung in der Beleuchtung – Zusammenstellung * des Umweltbundesamtes (UBA), Deutschland



Produkteigenschaften

Hintergrundtext:

Lichtflimmern: Bestimmung und Bewertung – Diskussionstext von Peter Erwin, Oktober 2017 –

*Hinweis: Dies ist die deutschsprachige Version; die deutschsprachige kann heruntergeladen werden unter ***

EN: Information on the coming EU Lighting Regulations – Ecodesign and Energy Labelling – Compilation * of the Federal Environment Agency (UBA), Germany

Functionality

Background information: Light flicker – Determination and Assessment – Discussion Paper by Peter Erwin, October 2017 –

*Please notice: This is a text in German. A version in English language can be downloaded at ***

FR: Informations sur les futures réglementations de l'UE concernant l'éclairage – l'écoconception et l'étiquetage énergétique – Compilation * de l'Agence Fédérale de l'Environnement (UBA), Allemagne

Fonctionnalité

Informations de fond: Scintillement – définition et évaluation – Document de discussion par Peter Erwin, Octobre 2017 –

*Indication: C'est un texte en allemand. Une version anglaise peut être téléchargé sous ***

* <http://www.eup-network.de/de/eup-netzwerk-deutschland/offenes-forum-eu-regelungen-beleuchtung/dokumente/texte/>

** http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Lichtquellen_Flimmern_Erwin_2017_10_EN.pdf

Es folgt ein unveränderter Originaltext.

EN: The following is an unmodified original text.

FR: Ce qui suit est un texte original.

„Lichtflimmern: Bestimmung und Bewertung. Diskussionspapier Oktober 2017“

Vorgelegt von:

Peter Erwin (Dipl.-Ing. DH)
Der Lichtpeter
Wöschbacher Str. 26
75045 Walzbachtal
Deutschland

Kurzfassung:

In den letzten Jahren befürworten renommierte Hersteller in der Lichtbranche eine Regulierung der Eigenschaft des Lichtflimmerns [14] (zeitliche Ungleichförmigkeit des Lichtes elektrischer Lichtquellen), weil erkannt wurde, dass Helligkeitsschwankungen eine negative Wirkung auf das Nervensystem des Menschen (z. B. Kopfschmerzen, Schwindel) und andere Wesen haben. In der Vergangenheit wurde dies bei der Entwicklung neuer Technologien (wie z. B. Kompaktleuchtstofflampen, LEDs) nicht berücksichtigt. Dieses Verhalten bringt aber schlechte Produkte hervor und schadet damit der Akzeptanz der Technologien.

LED-Leuchtmittel benötigen Betriebsgeräte, die die Netzwechselspannung in eine für die Leuchtdiode nötigen Gleichstrom umwandeln. Diese werden jedoch häufig mit minimalem Aufwand gestaltet und physikalisch bedingt erzeugt die LED aus dem nicht umgewandelten Wechselanteil unverzögert die Helligkeitsschwankungen.

Zur Festlegung eines Maßes für das Lichtflimmern und applikationsabhängigen Grenzwerten wurden von unterschiedlichen Gremien weltweit diverse Methoden entwickelt, die aber weitgehend untauglich sind.

Diese Abhandlung zeigt die Notwendigkeit der Messung, Deklaration und Eingrenzung des Lichtflimmerns auf. Es werden verschiedene Messverfahren gegenüber gestellt, deren Nachteile angesprochen und zur Lösung des Problems das CFD-Verfahren dargestellt.

Der Lichtpeter, 14. November 2017

Inhalt

1. Einleitung.....	3
1.1. Künstliche Lichtquellen.....	3
1.2. Negativer Einfluss, Ursache.....	3
1.3. Problembeseitigung.....	4
2. Messung + Berechnung.....	5
2.1. Berechnungsverfahren im Zeitbereich.....	5
2.2. Berechnungsverfahren im Frequenzbereich.....	6
3. Bewertungen und Diskussion.....	8
3.1. Frequenzbereichsabhängige Messverfahren und Grenzwerte.....	8
3.2. Eignung zur Bewertung.....	8
3.3. Weitere Verfahren, Gegenüberstellung	9
3.4. DIN EN 12464-1.....	9
3.5. IES: RP-16-10.....	10
3.6. CIE: PstLM / SVM.....	10
3.7. CEC Title 24 JA10.....	10
3.8. IEEE 1789.....	10
3.9. CFD.....	11
4. Beispiele mit Messergebnissen.....	12
5. Zusammenfassung.....	17
6. Literaturnachweise.....	18

1. Einleitung

Die ideale Lichtquelle ist das Sonnenlicht. Künstliche Lichtquellen existieren, um dem Menschen ein Leben unabhängig vom Tageskreislauf zu ermöglichen. Deren Licht verhält sich jedoch anders als das der Sonne und leider in vielerlei Hinsicht unverträglich mit der Wahrnehmung und der Wirkung auf den Menschen. Der in dieser Abhandlung schwerpunktmäßig behandelte Aspekt der zeitlichen Ungleichförmigkeit des Lichtes, heute kommuniziert als Lichtflimmern oder auch „TLA“, „TLM“, „Flicker“, „Lichtmodulation“, spielte bereits Ende des 19. Jh. eine wesentliche Rolle bei der Festlegung der Netzfrequenz.

1.1. Künstliche Lichtquellen

Es gilt als ideal, vom Menschen wahrnehmbare Lichtquellen so auszulegen, dass sie ihr Licht zeitlich gleichmäßig abgeben, also ohne periodische Schwankungen der Intensität (Modulation). Es gibt aber auch zweckdienliche Anforderungen, die diesem Idealansatz widersprechen: Wenn die Lichtquelle als dynamische (Informations)quelle dient, mit der Aufgabe, das Gehirn auf unterschiedlichste Weise zu stimulieren. Beispiele dazu sind Bildschirme (Kino, TV, Computer), besonderes Signallicht (Blaulicht) oder Lichteffekte in Diskotheken. Darüber hinaus kann LED-Beleuchtung auch zur optischen Datenübertragung als Alternative zu WLAN genutzt werden. Dieses Dokument behandelt im weiteren Verlauf Lichtquellen zur Beleuchtung der Umgebung (Leuchten, Leuchtmittel) und Lichtquellen mit statischer Information (z. B. Kfz-Rücklichter, Armaturen).

1.2. Negativer Einfluss, Ursache

Zur Lichtempfindlichkeit besagt die SCENIHR^{*1}-Stellungnahme von 2008 [17], dass moderne Kompaktleuchtstofflampen aufgrund ihrer elektronischen Vorschaltgeräte grundsätzlich flimmerfrei seien. Eine erneute SCENIHR-Stellungnahme von 2012 [18] weist auf Studien hin, die ein Restflimmern einräumen, auch bei Glühlampen. Viel weiter geht die SCHEER^{*2}-Stellungnahme von 2017 [20]: Technisch gesehen gebe es für das Flimmern keine Notwendigkeit, denn LEDs seien prinzipiell flimmerfrei. Jedoch erzeugen LED-Produkte von geringer Qualität ein wahrnehmbares Flimmern, was nicht an der LED selbst, sondern an der (billigen) Auslegung des Betriebsgerätes liegt.

Das menschliche Nervensystem wird durch das Lichtflimmern belastet in Abhängigkeit von Dauer, Intensität und Frequenzen. Es bestehen Risiken durch Epilepsie-Anfälle im Frequenzbereich von 3 Hz bis 70 Hz, insbesondere 15 bis 20 Hz (z. B. Mehrfachblitz eines Fotoapparates [20] oder die Massenepilepsie ausgelöst durch den Zeichentrickfilm Pokemon, Folge 38, 1997 in Japan).

Auch Frequenzen oberhalb der bewussten Wahrnehmbarkeit (Flimmerfusionsfrequenz) führen wegen der Kompensationsarbeit der Hirnrinde (Kortex) zu Kopfschmerzen. Das ist bei dem Austausch der Glühlampen durch Leuchtstoffröhren der Fabrikationsanlagen in den Wirtschaftswunderjahren aufgefallen und durch Studien belegt [10][20]. Vielseits erleben Menschen auch Schwindelgefühle, wenn sie Stroboskoplicht ausgesetzt sind. Bei Hühnern ist aufgefallen, dass sie aufgrund des durch Flimmern erzeugten Stresses keine Eier legen.

Die Wahrnehmung von rotierenden und zyklierenden Vorgängen wird bei stark flimmerndem Licht getäuscht (Stroboskopeffekt, Wagenradeneffekt), weswegen dieses nach DIN EN 12464-1 [15] an Maschinen-Arbeitsplätzen als gefährlich eingestuft und deshalb zu unterbinden ist.

Besonders Menschen, die wegen geringer Sehfähigkeit zu schnellen Augenbewegungen neigen (z. B. Nystagmus), haben durch Stroboskoplicht noch mehr Sehschwierigkeiten.

^{*1} SCENIHR: European Commission: Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks

^{*2} SCHEER: European Commission: Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks

Auch der Perlschnur-Effekt wird durch Stroboskoplicht verursacht. Der Unterschied ist die Perspektive des Beobachters: Aus der Ferne als relativ kleine Lichtquelle beobachtet, stellt sie sich z. B. bei schnellen Augenbewegungen oder bei unterschiedlicher Geschwindigkeit zum Beobachter als Lichtpunktreihe dar. Beispiele dazu sind die Tagfahrlichter und Rückleuchten von Kraftfahrzeugen, die zu Irritationen führen [19][20].

Es liegen zwar keine wissenschaftlichen Erkenntnisse vor über den Einfluss von Lichtflimmern auf Krankheitsbilder wie Irlen-Meaers Syndrom, myalgische Enzephalomyelitis, Fibromyalgie, Dyspraxie, Autismus und HIV, aber Lichtflimmern belastet den Kortex, was je nach Maß und Dauer zu Überanstrengung führt [18] und wegen der Irritationen durch den Perlschnur-Effekt eine Gefahr darstellen kann [20].

1.3. Problembehebung

Die Umsetzung der Netzwechselspannung in den für die LED nötigen Gleichstrom ist mit Kosten der dafür erforderlichen Elektronik verbunden. Es gilt, an dieser Stelle ein Optimum zu finden zwischen der noch verträglichen Modulation und dem Preis der Lichtquelle.

In jedem Fall ist der durch die elektrische Ansteuerung erzeugte Strom für die unmittelbar folgende Lichtemission des lichtgebenden Elements (neuzeitlich die LED) verantwortlich. Diese enthält den gewünschten Gleichanteil und das unerwünschte Lichtflimmern (vgl. Bild 3), das sich aus den Amplituden unterschiedlicher Frequenzen zusammensetzt [14]. Ursachen dafür sind der Einfluss der Netzwechselspannung und dessen Modifikation durch Dimmer und Pulsweitenmodulation (PWM) [20] oder die optische Datenübertragung. PWM-gesteuerte Lichtquellen erfordern eine PWM-Frequenz, die weit oberhalb der Wahrnehmbarkeit liegt [19].

Es ist wichtig Grenzwerte festzulegen, um den Menschen vor negativen Einflüssen zu schützen [8]. Hierzu ist ein geeignetes Messverfahren erforderlich, welches universell auf alle elektrischen Lichtquellen anwendbar ist, um eine quantitative Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Die Regulierung und eine Marktaufsicht sorgen dafür, dass Billigprodukte, die die Anforderungen nicht erfüllen, auf dem Markt erst gar nicht zugelassen werden. Entsprechend wird der Qualitätsmaßstab angehoben, was der Akzeptanz der Technologie nutzt.

Für die Eignung eines Messverfahrens sind mindestens zwei Eigenschaften erforderlich:

- Alle auf das Nervensystem wirksamen Frequenzen müssen erfasst werden.
- Das Quantifizierungsergebnis muss eine einzelne, vorzugsweise einfache, bekannte Messeinheit sein. Nur so kann sie in den technischen Daten und auf der Verpackung deklariert werden. Sie ermöglicht dadurch eine Kategorisierung in Qualitätsstufen (Bewertung) sowie die Festlegung von Grenzwerten z. B. in Normen.

Die von unterschiedlichen Gremien weltweit entwickelten Methoden haben Nachteile dahingehend, dass sie nicht alle Frequenzen erfassen oder sie liefern die Ergebnisse mehrerer Teilverfahren, deren Kombination zu einem Einzelwert nicht definiert ist.

Allein der CFD (Compact Flicker Degree [12][13]) erfüllt diese Anforderung. Er wurde in Bregenz auf dem LED Professional Symposium im September 2016 international vorgestellt und seitdem in verschiedenen Publikationen weltweit veröffentlicht.

2. Messung + Berechnung

Ein universelles Messverfahren zur Bestimmung des Lichtflimmerns bezieht folgende Eigenschaften ein:

- Wechselamplitude relativ zum Gleichanteil des Lichtes (Modulationsgrad)
- Modulationsgrundfrequenz
- Kurvenform (alle Frequenzanteile, Harmonische)
- Frequenzabhängige menschliche Wahrnehmungsschwelle (bewusst / unbewusst)
- Stroboskop- und Perlschnureffekt

Grundsätzlich wird für alle Messverfahren das optische Lichtsignal möglichst verlustfrei in ein elektrisches Spannungssignal umgeformt. Dafür ist die Hardware vorzugsweise so ausgelegt:

- Verwendung einer V-Lambda-Fotodiode zur Unterdrückung des nicht sichtbaren infraroten Lichtanteiles z. B. den der Glühlampe.
- Transimpedanzverstärker mit variabler Transimpedanz zur optimalen Nutzung des Amplitudenmessbereiches.
- Antialiasing-Tiefpass-Filter zur Einhaltung des Abtasttheorems, abhängig von der Abtastfrequenz.
- Analog-Digital-Umsetzer mit einer Abtastfrequenz zwischen 2 kHz und 500 kHz zur ausreichenden Darstellung und Verrechnung.
- Je nach Berechnungsverfahren eine Erfassung von mindestens fünf Perioden der Modulationsgrundfrequenz bis zu einer Sekunde Dauer.

Das entsprechend erfasste und digitalisierte Messsignal wird einer Berechnung unterzogen, der die beiden Ansätze 'zeitbasiert' und 'frequenzbasiert' zu Grunde gelegt werden können.

2.1. Berechnungsverfahren im Zeitbereich

Zu diesen Verfahren zählen:

- Die Kontrastmethoden (Min-Max; RMS) der Firmen Admesy B.V. [1] und Chroma Ate Inc [2].
- Das verbreitete Messverfahren nach IES: RP-16-10 [3]. Es liefert die beiden Werte %Flicker (Modulationsgrad) und Flicker Index (Flächenverhältnisse).
- Detektion von Stroboskoplicht nach DIN EN 12464-1 [15], welches dadurch definiert ist, dass periodische Dunkelzeiten auftreten.

Zeitbasierte Berechnungen sind als universelle Messgröße grundsätzlich nicht geeignet, weil sich der berechnete Wert hauptsächlich aus Amplitudenverhältnissen ergibt. Die Forderung nach einer frequenzabhängigen Gewichtung kann damit nicht erfüllt werden.

2.2. Berechnungsverfahren im Frequenzbereich

Für die Berechnung wird das Messsignal per Fourier-Transformation (FFT) in seine Frequenzanteile zerlegt und auf den Gleichanteil normiert. Periodische Signale lassen sich damit als ein diskretes Spektrum einzelner Frequenzanteile beschreiben. Alle Frequenzkomponenten und damit die Kurvenform gehen auch bei nicht sinusförmigem Verlauf in die Berechnung ein.

Entscheidend im Unterschied dieser Verfahren sind die Einbeziehung aller Einzelfrequenzen und deren **frequenzabhängige Gewichtung** in Abhängigkeit der Wirkung auf das Nervensystem.

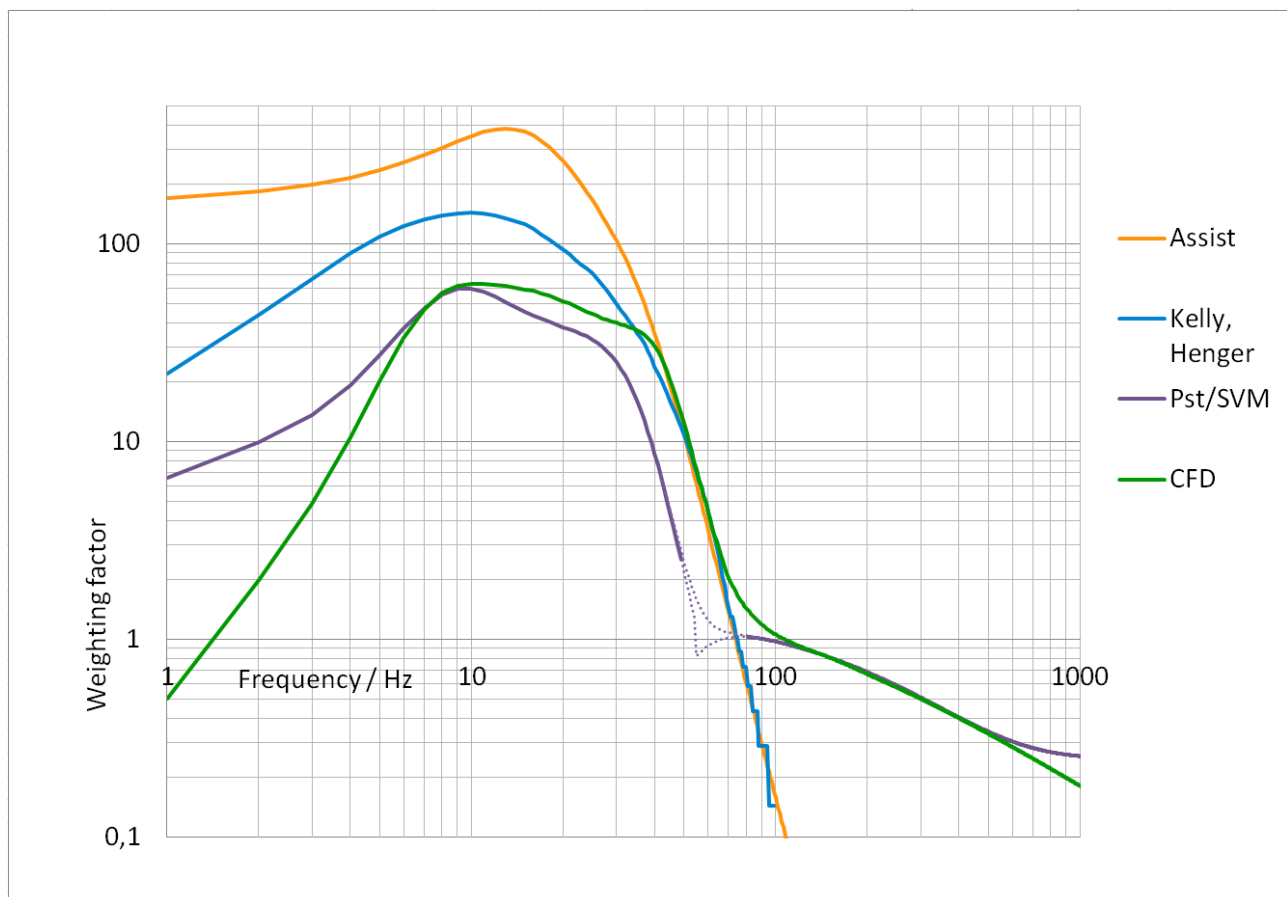


Abbildung 1: Kennlinien frequenzabhängiger Gewichtungen

- Die Gruppe **ASSIST** [4] gewichtet die Frequenzen des Signals (mit 2 kHz abgetastet) nach einer Kennlinie, die sich an die Flimmerfusionsfrequenz von 70 Hz anlehnt. Die Bildung der pythagoreischen Summe der gewichteten Einzelfrequenzen führt zu einem metrischen Wert. Dieser wiederum wird weiter bewertet, um daraus die Nachweiswahrscheinlichkeit des Flimmerns in Prozent anzugeben.
- Die Gewichtung der Studien von **Kelly** (1961) und **Henger** (1986) [5], lehnt sich an die Flimmerfusionsfrequenz bei etwa 70 Hz an.
- CIE: **P_{st}LM / SVM** [8][9]
P_{st}LM deckt den Frequenzbereich für „flicker“ bis ca. 65 Hz ab, SVM den Bereich für „stroboskopische Effekte“ ab ca. 85 Hz bis 2 kHz. Zur Bestimmung des SVM wird die Vektor p-norm (Minkowski Norm genannt) mit $p = 3,7$ auf die gewichteten Einzelfrequenzen angewendet.

- **CFD: Compact Flicker Degree** [12][13]
Die einzelne Prozentangabe als Endwert für den CFD wird gebildet durch die pythagoreische Summe der gewichteten Einzelfrequenzen.
Alle Frequenzen für sichtbare und unsichtbare zeitliche Ungleichförmigkeit des Lichtes gehen in die Berechnung ein. Der Bereich unter 10 Hz ist niedriger gewichtet, um die Überbewertung der in der Praxis auftretenden FFT-Leck-Effekte zu vermeiden.
Für dimmbare Lichtquellen erfolgt die Messung 1. mit 100 % Helligkeit und 2. mit 25 % Helligkeit, von denen der schlechtere beider Werte als Endwert deklariert wird.
- Für die **JEITA**-Methode (nicht in Bild 1) wenden die Firmen Admesy B.V. [1] und Chroma Ate Inc [2] auf die Frequenzanteile eine frequenzabhängige Gewichtungskennlinie an, die alle Frequenzen ≥ 65 Hz mit 0 gewichtet.
- Nach **CEC Title 24 JA 10** [11] (siehe Bild 2) werden Frequenzen bis 200 Hz berücksichtigt, indem nach Bildung der FFT eine Rückwärts-FFT auf alle Frequenzen ≤ 200 Hz angewendet und dann der Modulationsgrad für das zurückgewonnene Zeitsignal berechnet wird. Dieser darf 30 % nicht überschreiten. Das entspricht einer Gewichtung mit dem Faktor 1 für alle Frequenzen ≤ 200 Hz und dem Faktor 0 für alle anderen.
- **IEEE 1789** [16] (siehe Bild 2 „Low Risk“) sieht für die Recommended Practice 1 (RP1) als empfohlenen Bereich für die maximale Modulation einer einzelnen Frequenz vor:
 - Unterhalb von 8 Hz: Festwert von 0,2 %.
 - Zwischen 8 Hz und 90 Hz: $0,025 \% \times \text{Frequenz}$.
 - Zwischen 90 Hz und 1250 Hz: $0,08 \% \times \text{Frequenz}$.
 - Oberhalb von 1250 Hz: Keine Einschränkung.Außerhalb der Recommended Practices RP1, RP2 oder RP3 ist bei besonderem Interesse für Subharmonische die Möglichkeit der Summenbildung gewichteter Einzelfrequenzen vorgesehen, dessen Ergebnis < 1 sein muss.

3. Bewertungen und Diskussion

3.1. Frequenzbereichsabhängige Messverfahren und Grenzwerte

Grundsätzlich ist eine Unterscheidung zwischen „Sichtbarem Flimmern“ und „Nicht direkt sichtbarem Stroboskopeffekt“ bzw. „Perlschnureffekt“ (in Bild 2 die Bereiche **1** und **2**) für Erklärungszwecke sinnvoll. Allerdings gibt es keinen Grund harte Übergänge für die Gewichtung und die Bewertung zu setzen, denn der Übergangsbereich ist physiologisch gesehen immer weich, weil dieser immer eine Mischform der jeweiligen subjektiven Wahrnehmung ist.

Auch eine Unterscheidung zwischen dem „Stroboskopeffekt“ und dem „Perlschnureffekt“ ist für Erklärungszwecke sinnvoll. Für die Bemessung einer Lichtquelle, die Bewertung und für Grenzwerte allerdings darf sich kein Unterschied ergeben aus folgendem Grund:

Man stelle sich die Position eines Beobachters vor, der unter einer Straßenlaterne steht. Die Straßenlaterne emittiert ihr Licht mit 100 Hz Rechteck. Der Beobachter erfährt Stroboskoplicht. Nun bewegt er sich von dieser Laterne fort (ca. 300 m), so dass das Licht der Laterne dem Beobachter als kleine Lichtquelle erscheint. Bewegt der Beobachter nun schnell seine Augen (Sakkaden), dann erfährt er den „Perlschnureffekt“ dieser Laterne. Auf dem Weg, den der Beobachter von der Laterne weg zurücklegt, ist je nach Entfernung des Beobachters von der Laterne jeder Mischzustand zwischen Stroboskoplicht und Perlschnureffekt möglich und damit definiert.

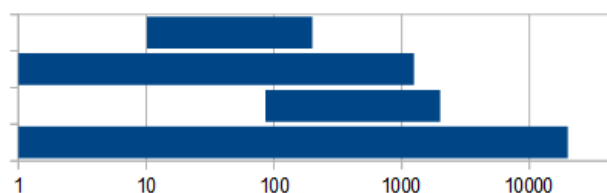
Da der Beobachter die Straßenlaterne nicht verändert, sondern nur seine eigene Position, muss die zu bewertende technische Eigenschaft der Laterne - nämlich das emittierte Stroboskoplicht - von dem auf den Menschen wirksamen Effekt unabhängig und damit konstant bleiben. Folglich kann dem Messverfahren für „Stroboskopeffekt“ und „Perlschnureffekt“ nur eine gemeinsame Gewichtungskurve respektive für jede Frequenz nur ein Grenzwert zugeschrieben werden. Daraus folgt wiederum, dass die Laterne dafür nur einen einzelnen Messwert erhalten kann.

3.2. Eignung zur Bewertung

Die Basis frequenzabhängiger Gewichtungen für Kelly/Henger [5], ASSIST [4], JEITA [1][2] und P_{st}LM sind Studien, bei denen sich die Probanden in absoluter Ruhe (keine Körper- und keine Augenbewegungen) befinden. Bei diesen Verfahren ist die oberste einbezogene Frequenz auf Basis der Flimmerfusionsfrequenz gewählt. Dies mag zwar als Anhaltspunkt dienen, ist aber realitätsfremd und für die Praxis nicht brauchbar, weil entweder der Mensch oder zumindest dessen Augen immer in Bewegung sind. Damit ist der Grenzwert mit ca. 70 Hz viel zu niedrig angesetzt.

Die Effekte auf den Menschen betreffend übernimmt der Stroboskop- und Perlschnureffekt die Hauptrolle [7] bei Frequenzen von ca. 90 Hz bis 2 kHz. Stroboskopeffekte bei doppelter Netzfrequenz sind schon bei kleinen Bewegungen erkennbar und verursachen Unbehagen, teilweise sogar Gleichgewichtsstörungen oder Irritationen. Auch ist bekannt, dass Frequenzen bis 250 Hz von der Netzhaut (Retina) an das Gehirn weitergereicht und erst dort verarbeitet werden [6], was zu einer Belastung führen kann, die mit Müdigkeit und Kopfschmerzen einher geht [10]. Diese Effekte werden berücksichtigt zu:

- bei CEC Title 24 JA 10 bis 200 Hz,
- nach IEEE 1789 RP1 1 bis 1250 Hz,
- beim SVM 75 bis 2000 Hz,
- beim CFD 1 bis 20000 Hz.



3.3. Weitere Verfahren, Gegenüberstellung

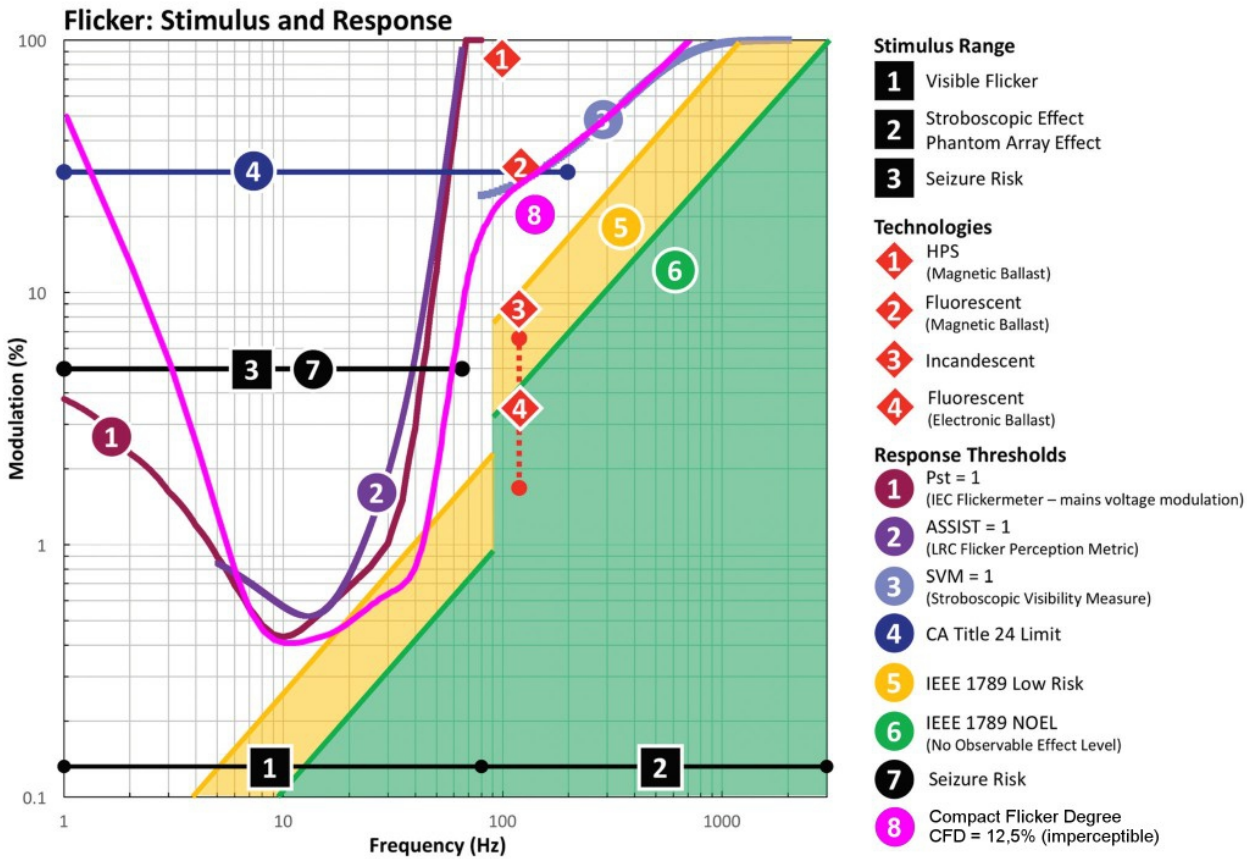


Abbildung 2: Kennlinien frequenzabhängiger Schwellwerte

Abbildung 2 ist erstellt aus einem Dokument der U. S. Department Of Energy [9], die CFD-Angaben sind diesem hinzugefügt worden. Die Grafik stellt folgende Bewertungsgrenzen der Modulation über der Frequenz dar:

- P_{st}LM (1): 50%ige Wahrscheinlichkeit der durchschnittlichen Wahrnehmung.
- ASSIST (2): 50%ige Wahrscheinlichkeit der durchschnittlichen Wahrnehmung.
- SVM (3): Wie P_{st}LM, Grenzwert aber noch nicht endgültig festgelegt.
- CEC Title 24 JA 10 (4): Frequenzen ≤200 Hz und einer Modulation >30 %: „High flicker“
- Nach IEEE 1789: (5): RP1: „Geringes Risiko“, (6): RP2: „Kein Einfluss“
- Compact Flicker Degree (8): CFD<12,5 %: „flimmerarm“ (nicht wahrnehmbar)

3.4. DIN EN 12464-1

Nach DIN EN 12464-1 [15] (nicht in der Grafik) ist an Arbeitsplätzen in Innenräumen netzfrequenzabhängiges Stroboskoplicht zu vermeiden. Lichtquellen, die dem in dieser Norm entsprechenden Absatz nicht genügen, müssten eigentlich heute schon eine Einschränkung der Verwendbarkeit anzeigen: „Zum Arbeiten nicht geeignet“.

Das hat die EU-Kommission bei der Produktkennzeichnung bisher versäumt. Die Zahl der bereits auf dem Endverbrauchermarkt befindlichen stroboskopartig flimmernden Leuchtmittel ist hoch. Somit ist es nur eine Frage der Zeit, wann sich z. B. der erste Werkstatt-Unfall ereignet, weil weder der Arbeiter noch der Betreiber der Werkstatt vom Stroboskoplicht der Lichanlage Kenntnis haben.

3.5. IES: RP-16-10

Abgesehen von der Nichtberücksichtigung der Frequenzanteile (s. Kap. 2.1), liefert dieses primitive, verbreitete Verfahren (nicht in der Grafik) die zwei Werte %Flicker (Modulationsgrad) und Flicker Index, was jedoch schwierig zu vermitteln ist. Dazu ist nicht definiert, wie sie gemeinsam zu einer Bewertung führen könnten.

3.6. CIE: P_{st}LM / SVM

Hier ergeben sich zwei Messwerte für die prinzipiell eine Messung der Modulationsgrade verschiedener Frequenzen, was schwierig zu vermitteln ist.

Problematisch ist auch die Lücke im Übergang von P_{st}LM zu SVM. Wollte man sie schließen, dann ergibt sich die Problematik der Steigung beider Kurven im Schnittpunkt (untere Punktlinie in Bild 1). Das ließe sich umgehen, indem man auf das P_{st}LM- und SVM-Ergebnis jeder Einzelfrequenz die Vektor-p-Norm mit $p = 1,5$ vor der Minkowski-Summierung anwendet (obere Punktlinie). Der Effekt ist Tabelle 2 Bild 6 gut erkennbar.

Die Anwendung der Vektor-p-Norm mit $p = 3,7$ führt dazu, dass ähnlich wie bei IEEE 1789, die Wellenform weniger berücksichtigt wird; Oberwellenanteile verlieren an Bedeutung. Dies wird deutlich, wenn man die Ergebnisse z. B. Sinus mit 100 % Modulationsgrad in Tabelle 2, Bild 15 gegenüber einem Stroboskoplicht mit 1,2 % Gleichanteil in Tabelle 2, Bild 16 betrachtet. Der SVM-Wert unterscheidet sich zu wenig.

3.7. CEC Title 24 JA10

Der simple Definition für „flimmerarm“ bei einer Modulation von ≤ 30 % für Frequenzen ≤ 200 Hz führt zu einer starken Unterbewertung (mindestens Faktor 50) für Frequenzanteile zwischen 5 Hz und 35 Hz, wodurch fälschlicherweise ein deutlich sichtbares Flackern mit dem Prädikat „flimmerarm“ versehen wird.

Eine große Diskrepanz (Faktor 60) stellt sich auch gegenüber IEEE 1789 RP1 dar, die bei 20 Hz den Modulationsgrenzwert von 0,5 % festlegt.

3.8. IEEE 1789

Nach IEEE 1789 [16] RP1 wird die Modulation der Einzelfrequenz bewertet, die den-Bereich „wenig riskant“ am weitesten überschreitet. Das Gleiche gilt auch für RP2 („ohne Einfluss“). Liegen Frequenzgemische vor (das ist der Regelfall), fehlt jedoch die Berechnungsgrundlage. Die Wellenform spielt nach IEEE 1789 für das Messergebnis keine Rolle, wenn der Energiegehalt der Grundfrequenz jeweils die gleiche ist (z. B. Sinus mit 100 % Modulationsgrad in Tabelle 2, Bild 15 gegenüber einem Stroboskoplicht mit 1,2 % Gleichanteil in Tabelle 2, Bild 16).

Das Licht einer europäischen Glühlampe gilt nach IEEE 1789 schon als risikoreich, obwohl 100 Jahre Erfahrung zeigen, dass kein Risiko besteht. Die in Bild 2 gezeigte Modulation bezieht sich auf eine US-Amerikanische Glühlampe, die jedoch aufgrund des viel stärkeren Glühfadens (120V-Betrieb) und der höheren Netzfrequenz von 60 Hz eine um den Faktor 2 geringere Modulation aufweist. Das hat man bei der Festlegung der Grenzwerte für die Verträglichkeit offensichtlich nicht berücksichtigt, weswegen die IEEE 1789 in Europa auf Akzeptanzprobleme stößt.

Eine Erklärung nach Plausibilität fehlt für den Qualitätssprung von unter 90 Hz nach über 90 Hz um den Faktor 3,125. Physiologisch betrachtet kann das nicht real sein, der Übergang müsste fließend sein. Leicht unterschiedliche Frequenzen in diesem Bereich führen zu stark unterschiedlichen Ergebnissen.

3.9. CFD

Der Übergang von dem in Ruhe wahrnehmbaren nichtlinearen Frequenzbereich bis ca. 70 Hz zu dem nur unter Bewegung wahrnehmbaren Bereich ist einzig beim CFD fließend (physiologisch plausibel) gestaltet.

Der CFD-Wertebereich kann sich von 0 % bis über 150 % erstrecken, was von der Zahl der signifikanten Einzelfrequenzen bedingt durch die Form der Lichtemissionskurve abhängt. Zum Beispiel haben Nadelimpulse wie in Bild 15 im Gegensatz zu einer Sinuskurve wie in Bild 16 viele Frequenzanteile mit maximaler Amplitude.

Der einzelne CFD-Prozentwert als umfassende Messgröße für modulierte Licht eignet sich zur Deklaration und erlaubt eine Kategorisierung nach einem Ampelsystem:

	0 < CFD < 1 % Flimmerfrei Farbe: Tiefgrün	Praktisch modulationsfrei.
	1 % < CFD < 12,5 % Flimmerarm Farbe: Tiefgrün	Modulation nicht wahrnehmbar.
	12,5 % < CFD < 25 % Akzeptabel Farbe: Gelbgrün	Modulation möglicherweise wahrnehmbar aber akzeptabel, ab 20% für Arbeiten im Büro nicht geeignet.
	25 % < CFD < 50 % Moderat Farbe: Gelb	Modulation wahrnehmbar und bei längerer Exposition Beeinträchtigung des Wohlfühls, höhere Belastung der Augen am Arbeitsplatz.
	50 % < CFD < 75 % Stark betroffen Farbe: Orange	Stroboskopische Effekte durch Netzstromversorgung, sicher von mehr als 50 % der Bevölkerung wahrnehmbar und bei längerer Exposition Beeinträchtigung des Wohlfühls, für das Arbeiten kaum noch geeignet.
	CFD > 75 % Extrem betroffen. Farbe: Rot	Stroboskopeffekte, sicher von mehr als 75 % der Bevölkerung wahrnehmbar, bei längerer Exposition Beeinträchtigung körperlichen Befindens (Kopfschmerzen, Unwohlsein), für die richtige Wahrnehmung von Bewegungsabläufen ungeeignet. Gefährlich für Arbeitsplätze mit rotierenden oder zyklierenden Teilen.

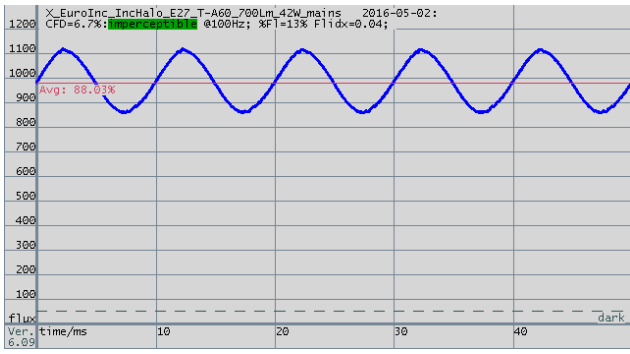
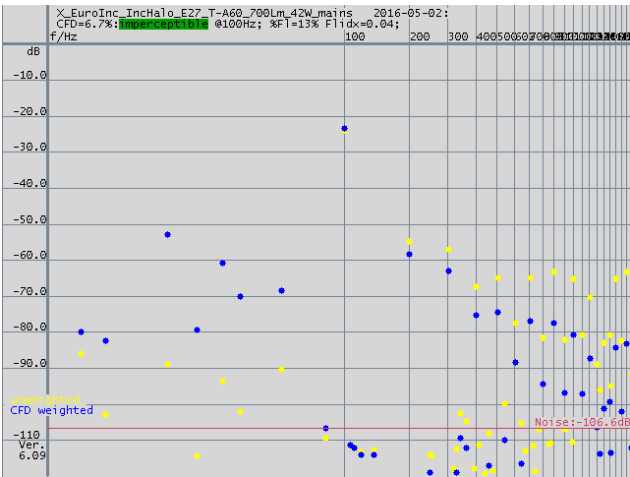
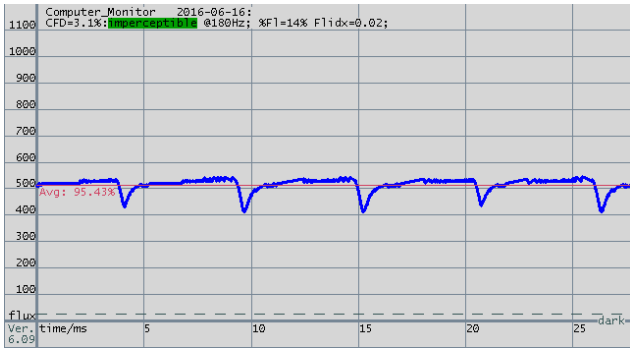
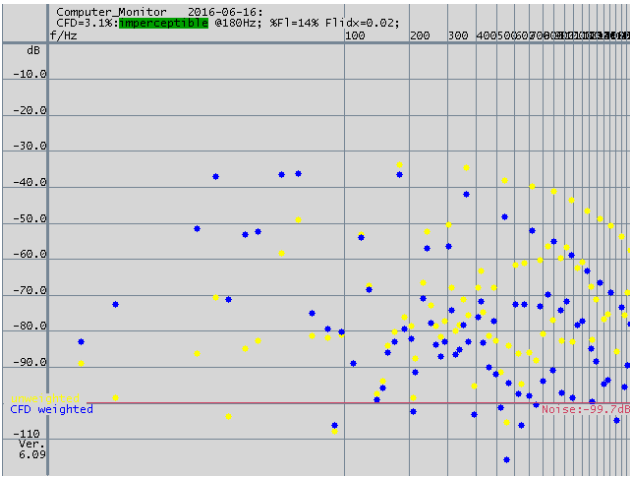
Tabelle 1: CFD-Kategorisierung nach einem Ampelsystem

In der Praxis sind mit dem CFD etwa 1000 käufliche Lichtquellen sowie über 100 technisch erstellte Test-Lichtsignale vermessen und die Messergebnisse außergewöhnlicher Lichtemissionen visuell auf Plausibilität geprüft worden.

4. Beispiele mit Messergebnissen

Der zurzeit am häufigsten auftretende Fall der Lichtmodulation ist das Lichtflimmern bei Leuchtmitteln mit der doppelten Netzfrequenz. Viele der im Markt befindlichen Leuchtmittel (etwa 25 % der billigen LED-Filament-Leuchtmittel) weisen massive Stroboskopeffekte auf: Der Modulationsgrad der Grundfrequenz ist $\geq 100\%$. Die Lichtemissionskurve hat eine große Amplitude und ist meistens nicht sinusförmig, besonders bei gedimmter Ansteuerung.

Die folgenden Bilder zeigen Ausschnitte von Lichtemissionskurven verschiedener Lichtquellen und das zugehörige Frequenzspektrum. Zu diesen sind die Modulationswerte verschiedener Messverfahren angegeben:

<ul style="list-style-type: none"> • Lichtemissionskurve • Ergebnisse der Berechnungen nach verschiedenen Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Zugehörige FFT-Analyse, dargestellt bis 1 kHz: • gelb: ungewichtet, blau: CFD-gewichtet. • Kommentar
 <p>Bild 3: Europäische Glühlampe an 50 Hz Netzspannung: CFD = 7 % IES: Percent flicker = 13.2 % ; Flicker index = 0.040 IEEE 1789: risky with 12.7 % @100Hz (x 1.6) CEC Title 24 JA10: Percent flicker = 12.6 % (pass) LRC Flicker Metric = 0.02; Detection prob. = 0.40 % $P_{stLM} = 0.017$; SVM = 0.494; $P_{stLM\&SVM} = 0.495$</p>	 <p>Einigkeit über geringes Flimmern, außer nach IEEE 1789 liegt diese Glühlampe im Bereich „risky“</p>
 <p>Bild 4: Computermonitor: CFD = 3 % IES: Percent flicker = 13.7 % ; Flicker index = 0.018 IEEE 1789: recmd with 0.7 % @60Hz (x 1.2) CEC Title 24 JA10: Percent flicker = 5.0 % (pass) LRC Flicker Metric = 0.06; Detection prob. = 0.51 % $P_{stLM} = 0.084$; SVM = 0.125; $P_{stLM\&SVM} = 0.132$</p>	 <p>Einigkeit über sehr geringes Flimmern.</p>

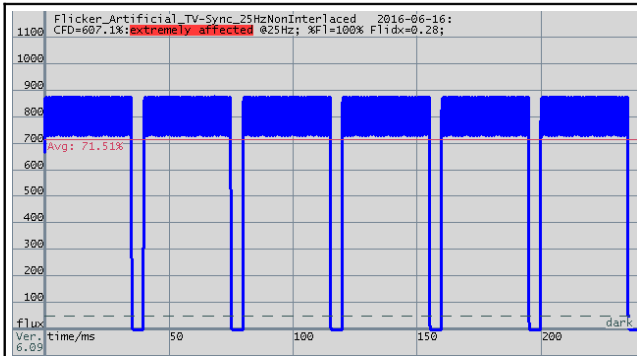


Bild 5: Fernsehbildschirm noninterlaced:

CFD = >150 %

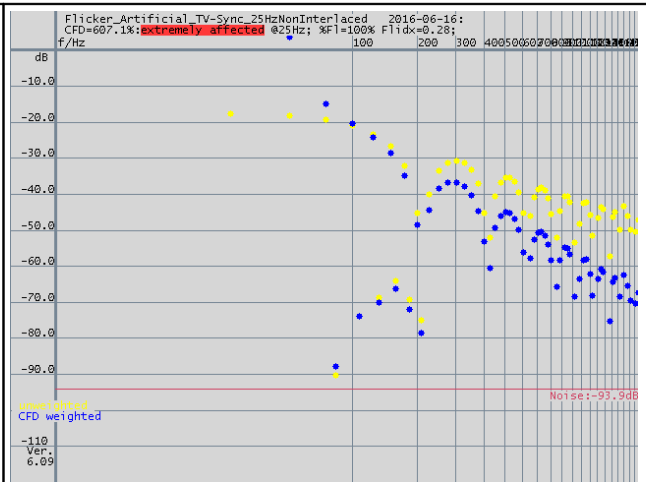
IES: Percent flicker = 100.0 % ; Flicker index = 0.285

IEEE 1789: severe with 26.6% @25Hz (x 5.3)

CEC Title 24 JA10: Percent flicker = 100.0 % (fail)

LRC Flicker Metric = 22.18; Detection prob. = 100.00 %

P_{stLM} = 34.956; SVM = 1.078; $P_{stLM\&SVM}$ = 34.962



Einigkeit über extremes Flimmern.

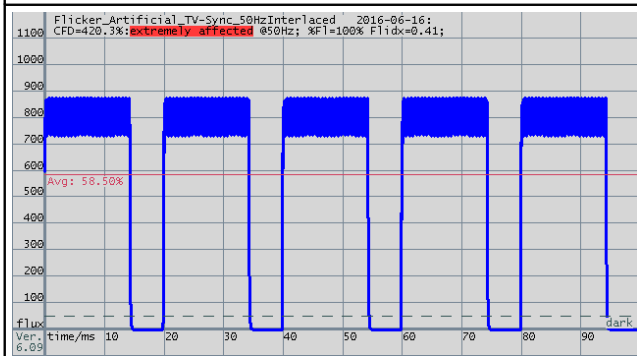


Bild 6: Fernsehbildschirm interlaced:

CFD = >150 %

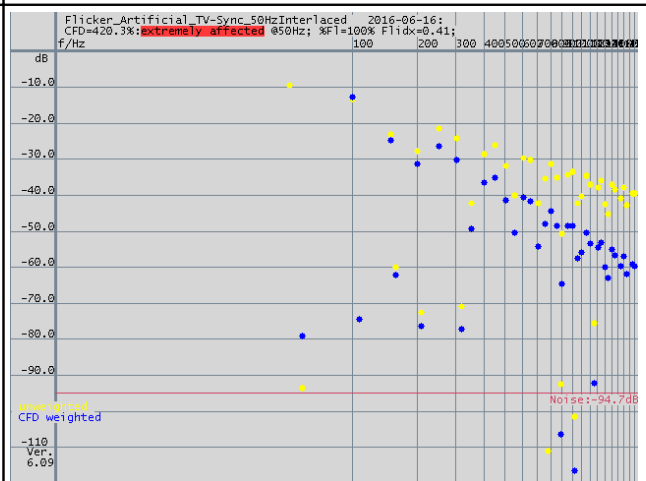
IES: Percent flicker = 100.0 % ; Flicker index = 0.415

IEEE 1789: severe with 68.1% @50Hz (x 13.6)

CEC Title 24 JA10: Percent flicker = 100 % (fail)

LRC Flicker Metric = 3.65; Detection prob. = 100.00 %

P_{stLM} = 5.994; SVM = 2.235; $P_{stLM\&SVM}$ = 6.741



Einigkeit über extremes Flimmern.

Für $P_{stLM\&SVM}$: Anwendung der p-norm mit $p=1,5$

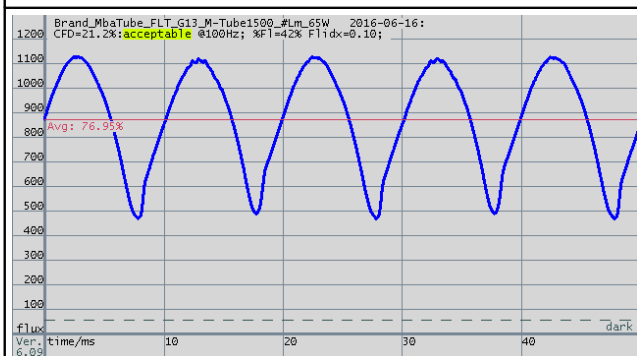


Bild 7: Leuchtstoffröhre mit KVG:

CFD = 21 %

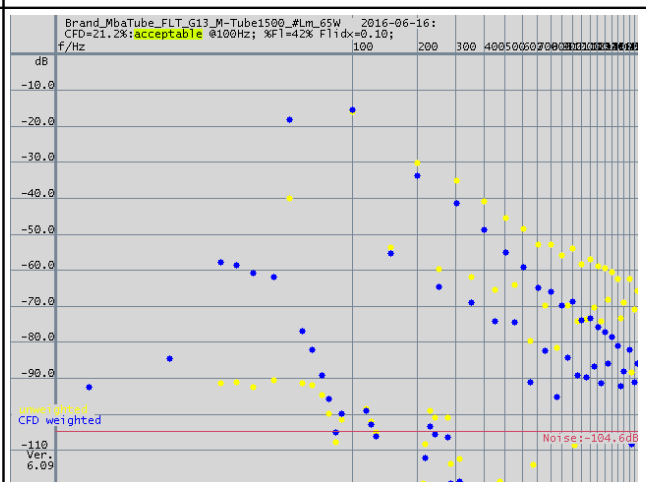
IES: Percent flicker = 41.9 % ; Flicker index = 0.101

IEEE 1789: risky with 32.1 % @100Hz (x 4.0)

CEC Title 24 JA10: Percent flicker = 35.6 % (fail)

LRC Flicker Metric = 0.11; Detection prob. = 0.66 %

P_{stLM} = 0.177; SVM = 1.252; $P_{stLM\&SVM}$ = 1.254



Nach ASSIST wird kein Flimmern erkannt.

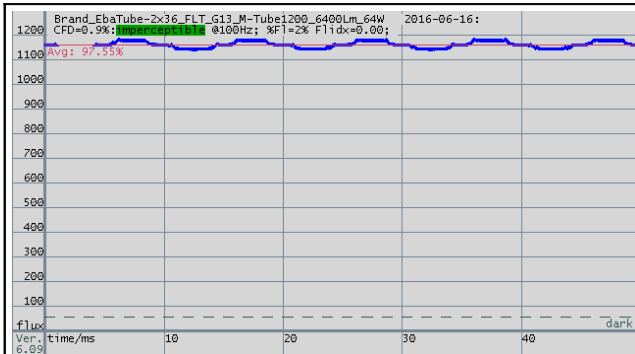
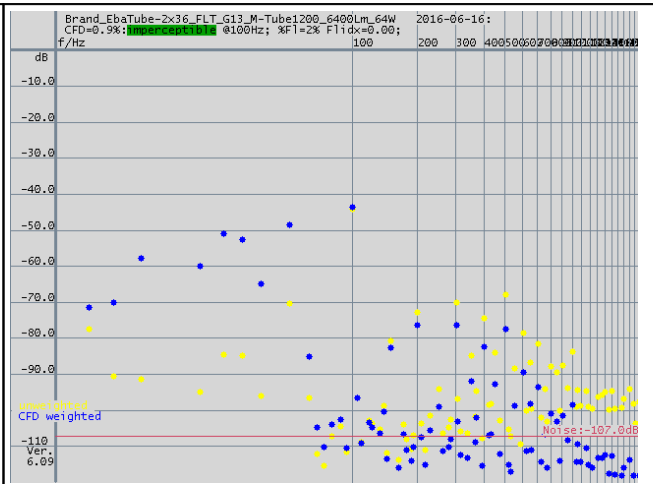


Bild 8: Leuchtstoffröhre mit EVG:
CFD = <1 %
IES: Percent flicker = 2.4 % ; Flicker index = 0.005
IEEE 1789: noel
CEC Title 24 JA10: 1.4 % (pass)
LRC Flicker Metric = 0.03; Detection prob. = 0.43 %
P_{st}LM = 0.020; SVM = 0.049; P_{st}LM&SVM = 0.050



Einigkeit über kein Flimmern.

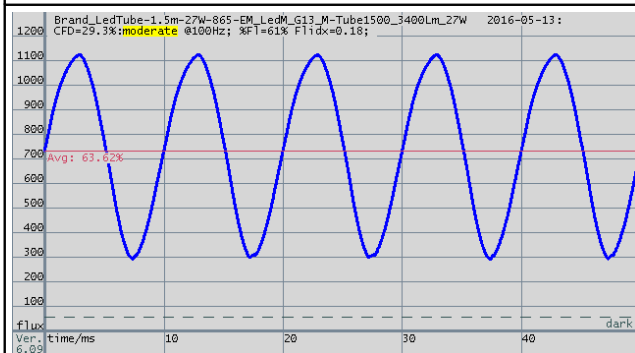
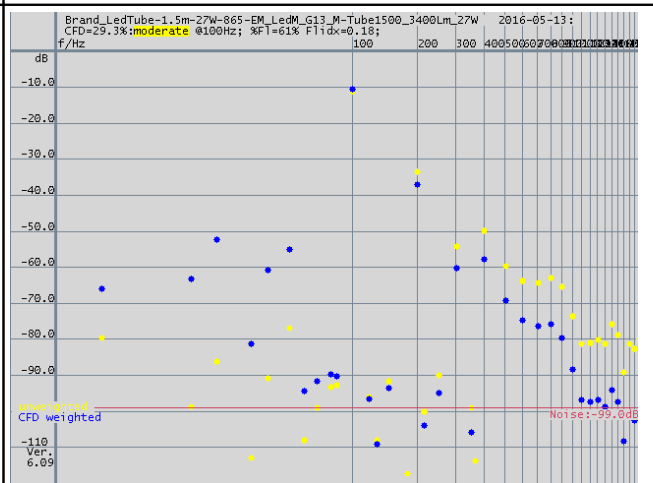


Bild 9: LED-Leuchtmittel mit moderater Vorschaltung:
CFD = 29 %
IES: Percent flicker = 61.0 % ; Flicker index = 0.176
IEEE 1789: risky with 55.3 % @100Hz (x 6.9)
CEC Title 24 JA10: Percent flicker = 57.5 % (fail)
LRC Flicker Metric = **0.05**; Detection prob. = **0.47 %**
P_{st}LM = 0.044; SVM = 2.158; P_{st}LM&SVM = 2.162



Einigkeit über deutliches Flimmern außer ASSIST.

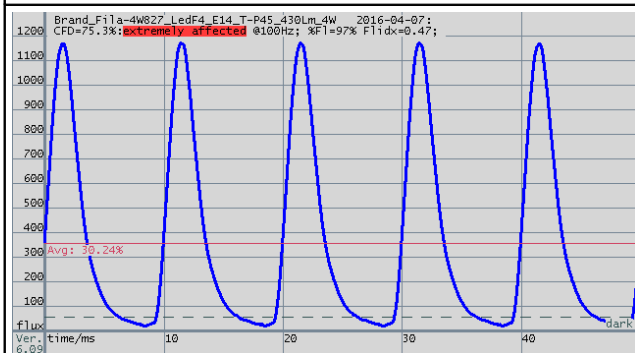
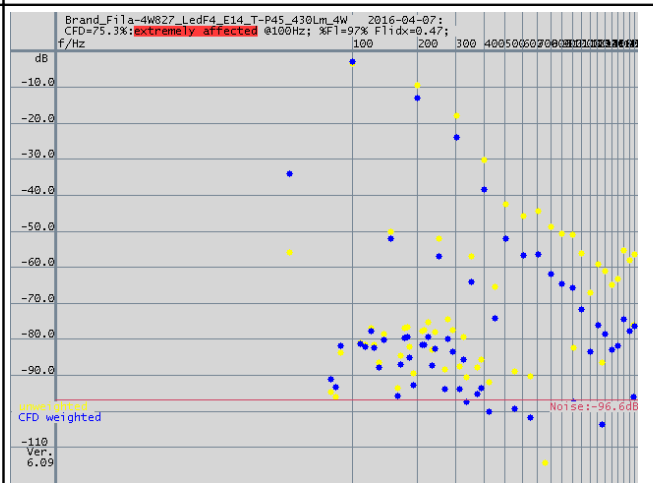


Bild 10: LED-Leuchtmittel mit ungenügender Vorschaltung:
CFD = 75 %
IES: Percent flicker = 96.9 % ; Flicker index = 0.466
IEEE 1789: risky with 100.0 % @100Hz (x 16.9)
CEC Title 24 JA10: Percent flicker = 100.0 % (fail)
LRC Flicker Metric = **0.11**; Detection prob. = **0.65 %**
P_{st}LM = 0.107; SVM = 5.301; P_{st}LM&SVM = 5.310



Einigkeit über starkes Flimmern außer ASSIST.

Lichtflimmern - Bestimmung und Bewertung - Diskussionspapier Okt 2017

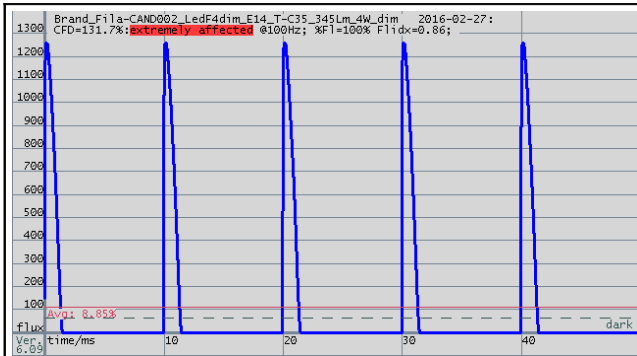
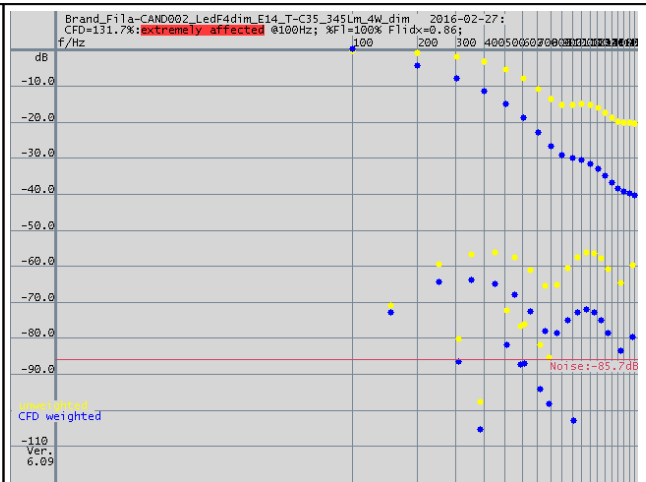


Bild 11: LED-Leuchtmittel mit ungenügender Vorschaltung gedimmt auf 25 %:

CFD = 132 %
 IES: Percent flicker = 100.0 % ; Flicker index = 0.860
 IEEE 1789: risky with 100.0 % @100Hz (x 24.4)
 CEC Title 24 JA10: 100.0 % (fail)
 LRC Flicker Metric = **-0.15**; Detection prob. = **0.83 %**
 $P_{stLM} = 0.154$; SVM = 8.111; $P_{stLM\&SVM} = 8.123$



Einigkeit über sehr starkes Flimmern außer ASSIST.

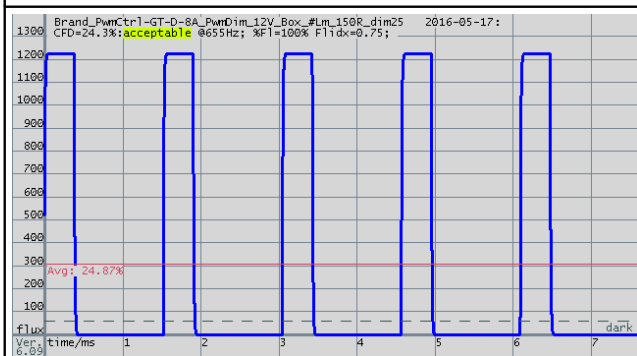
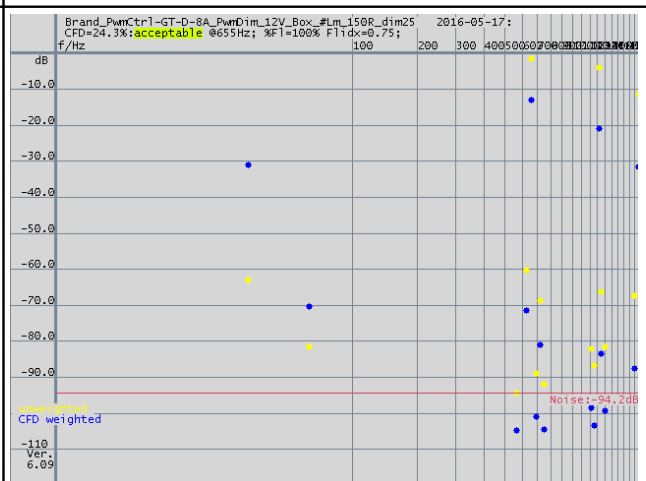


Bild 12: LED ohne Vorschaltung am PWM-Dimmer mit 655 Hz Grundfrequenz:

CFD = 24 %
 IES: Percent flicker = **100.0 %** ; Flicker index = **0.746**
 IEEE 1789: risky with 100.0 % @655Hz (x 3.2)
 CEC Title 24 JA10: Percent flicker = 0.1 % (pass)
 LRC Flicker Metric = 0.07; Detection prob. = 0.52 %
 $P_{stLM} = 0.133$; SVM = 2.060; $P_{stLM\&SVM} = 2.060$



Einigkeit über mäßiges Flimmern. Nur nach IES extreme Werte, weil die Frequenz nicht berücksichtigt wird.

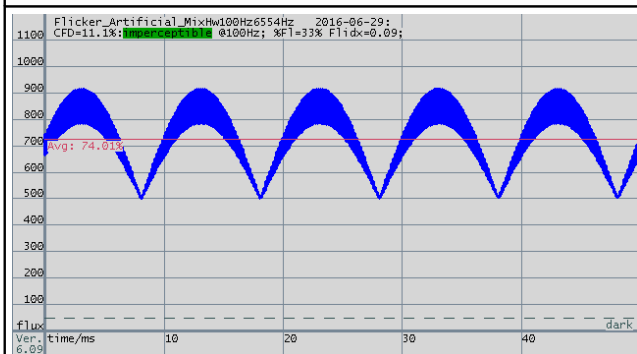
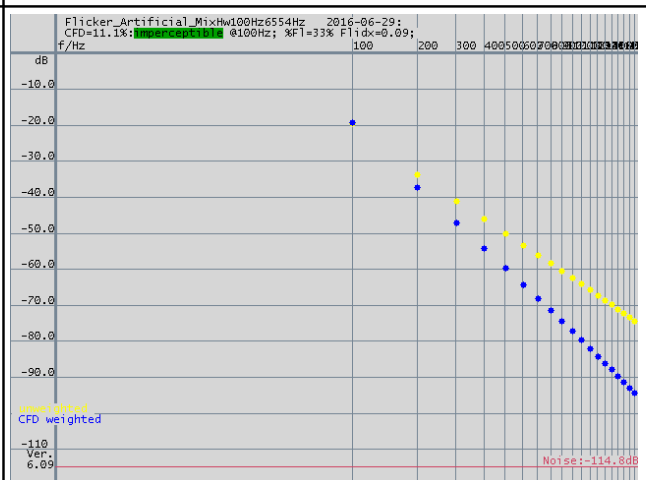


Bild 13: 6554 Hz moduliert mit 100 Hz-Halbwellen:

CFD = 11 %
 IES: Percent flicker = 32.5 % ; Flicker index = 0.087
 IEEE 1789: **risky** with 20.8 % @100Hz (x 2.6)
 CEC Title 24 JA10: Percent flicker = 21.7 % (pass)
 LRC Flicker Metric = 0.02; Detection prob. = 0.40 %
 $P_{stLM} = 0.016$; SVM = 0.811; $P_{stLM\&SVM} = 0.812$



Einigkeit über nicht wahrnehmbares Flimmern, außer nach IEEE 1789.

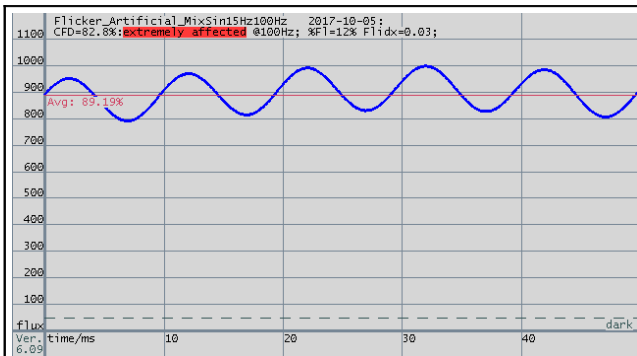


Bild 14: Frequenzgemisch Sinus 2.8 % Mod. @15 Hz + 9.4 % Mod. @100 Hz:

CFD = 83 %

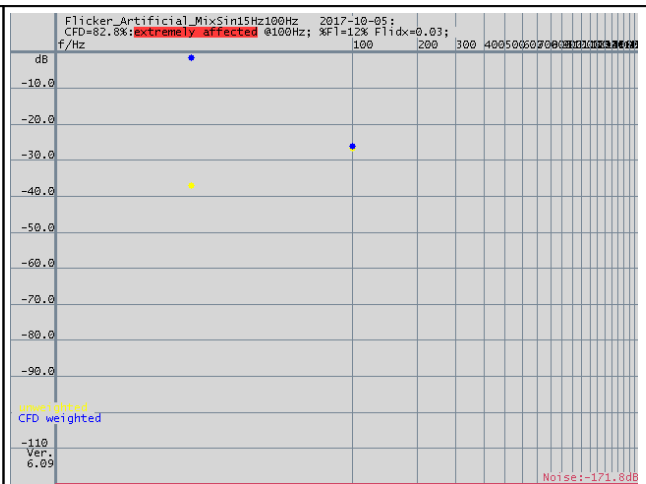
IES: Percent flicker = **12.1 %**; Flicker index = **0.030**

IEEE 1789: risky with 2.8 % @15Hz (x 7.5)

CEC Title 24 JA10: Percent flicker = **12.1 % (pass)**

LRC Flicker Metric = 5.18; Detection prob. = 100.00 %

P_{st}LM = 5.101; SVM = 0.365; P_{st}LM&SVM = 5.102



Einigkeit über starkes Flimmern außer IES und CEC.

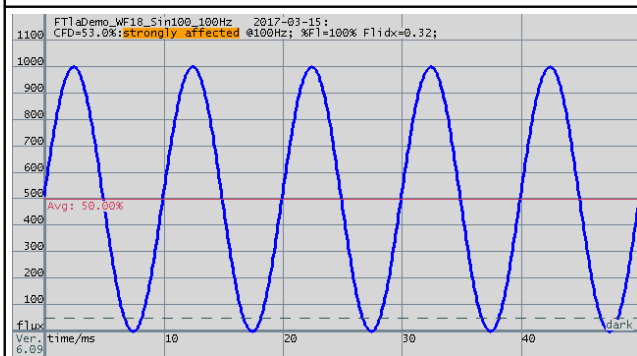


Bild 15: Sinus 100 % Mod. @100 Hz:

CFD = 53 %

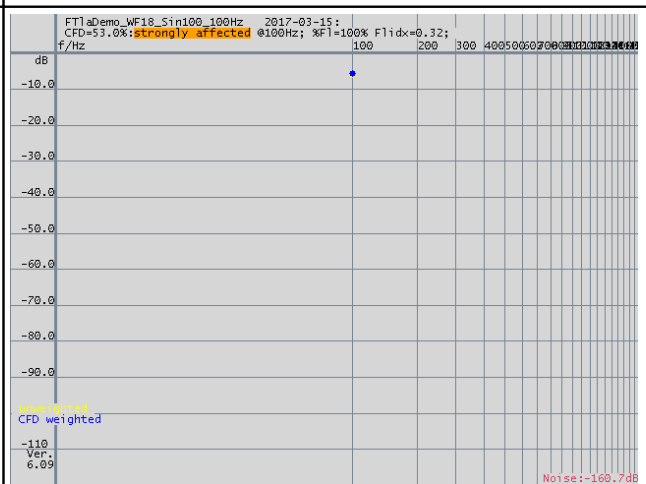
IES: Percent flicker = 100.0 %; Flicker index = 0.318

IEEE 1789: risky with 100.0 % @100Hz (x 12.5)

CEC Title 24 JA10: Percent flicker = 100.0 % (fail)

LRC Flicker Metric = **0.08**; Detection prob. = **0.56 %**

P_{st}LM = 0.079; SVM = **3.902**; P_{st}LM&SVM = 3.909



Einigkeit über starkes Flimmern außer ASSIST.

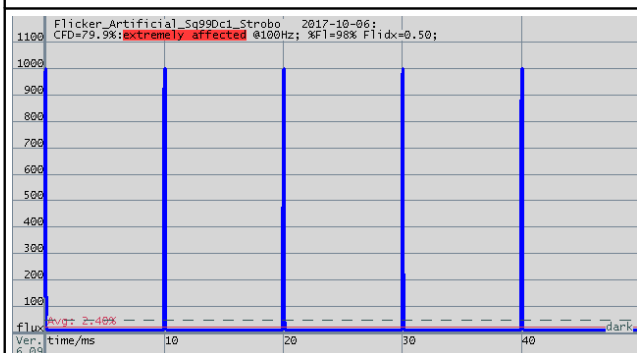


Bild 16: Strobe: Rechteck 97.6 % Mod. @100 Hz
Dutycycle 1/90:

CFD = 80 %

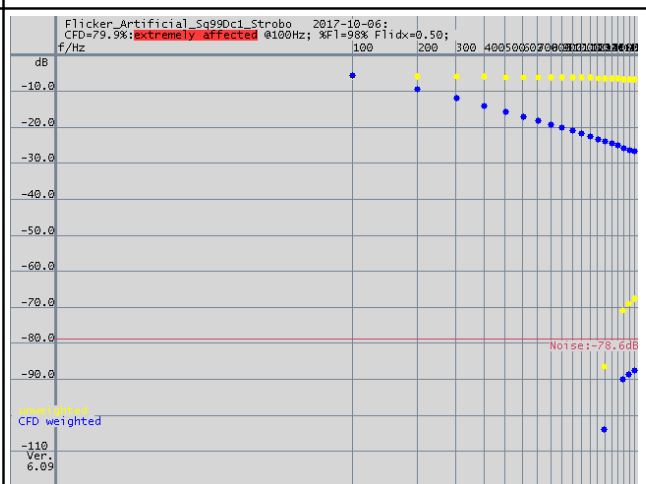
IES: Percent flicker = 97.6 %; Flicker index = 0.496

IEEE 1789: risky with 100.0 % @100Hz (x 12.5)

CEC Title 24 JA10: Percent flicker = 100.0 % (fail)

LRC Flicker Metric = **0.08**; Detection prob. = **0.56 %**

P_{st}LM = 0.079; SVM = **4.357**; P_{st}LM&SVM = 4.363



Einigkeit über sehr starkes Flimmern außer ASSIST.

Nach IEEE 1789 ist das Maß der Grenzwertüberschreitung identisch mit Bild 15.

CIE:SVM: Unterscheidung gegenüber Bild 15 deutlich unterhalb der tatsächlichen Wirkung.

Tabelle 2: Bilder von Lichtemissionskurven

5. Zusammenfassung

Es ist notwendig Licht für Beleuchtung oder statische Information hinsichtlich aller auf den Menschen und andere Wesen wirksamen Modulationen zu bemessen und zu beurteilen. Dazu sind alle Frequenzanteile mindestens bis 2 kHz, besser bis zu 20 kHz in Betracht zu ziehen. Folglich ist die Berechnung nur auf der Frequenzebene möglich, wobei bestenfalls jede Einzelfrequenz gemäß dem Einfluss auf den Menschen gewichtet wird. Dem menschlichen Empfinden entsprechend enthält die Gewichtungskurve weder Definitionslücken noch unstetige Stellen.

Für die Deklaration in den technischen Daten bzw. auf der Verpackung ist ein einzelner Messwert am besten geeignet. Ein Nebenher unterschiedlicher Messwerte für das gleiche Ärgernis - nämlich die Wirkung von Lichtmodulation auf den Menschen - ist schlecht kommunizierbar. Darüber hinaus macht es die Verwendung nur eines einzigen Messwertes auch deutlich einfacher, normativ applikationsabhängige Grenzwerte festzulegen, wie Tabelle 1 zeigt.

In dieser Abhandlung wurden folgende Verfahren hinsichtlich der Eignung analysiert:

- DIN EN 12464-1 [15]:
Der Abschnitt zur Bewertung des Lichtflimmerns betrachtet nur den Zustand netzfrequenzabhängiges Stroboskoplicht „vorhanden“ oder „nicht“ → ungeeignet.
- Kontrastmethoden nach Admesy B.V. [1] und Chroma Ate Inc [2]:
Der aus Amplitudenverhältnissen berechnete Wert kommt der Forderung nach einer frequenzabhängigen Gewichtung nicht nach → ungeeignet.
- IES: RP-16-10 [3]:
Die aus Amplitudenverhältnissen berechneten beiden Werte enthalten keine frequenzabhängige Gewichtung und sind schlecht kommunizierbar → ungeeignet.
- Jeita nach Admesy B.V. [1] und Chroma Ate Inc [2]:
Die Obergrenze von 65 Hz schließt netzfrequenzabhängiges Stroboskopflimmern aus. → ungeeignet.
- CEC Title 24 JA10 [11]:
Die fehlende Gewichtung einzelner Frequenzen verhindern das Erkennen von Flimmern im photosensiblen Frequenzbereich von 5 Hz bis 35 Hz → ungeeignet.
- IEEE 1789 RP1 [16]:
Die Sprungstelle bei 90 Hz in der Gewichtungskurve entbehrt der physiologischen Basis. Die alleinige Bewertung der Grundfrequenz schließt die Berücksichtigung unterschiedlicher Lichtemissionskurven aus → wenig geeignet.
- CIE: P_{st}LM / SVM [8][9]:
Die zwei Messwerte für Bereiche „Flimmern“ und „Stroboskoplicht“ enthalten im Übergangsbereich eine Definitionslücke. Sie erschweren die Kommunizierbarkeit sowie die Festlegung normativer Grenzwerte. Diese Lücke ließe sich rechnerisch schließen und die beiden Werte zu einem zusammen fassen → bedingt geeignet.
- CFD [12][13]:
Für die Messung des gesamten auf den Menschen wirksamen Frequenzbereiches mit frequenzabhängiger Gewichtung ohne Definitionslücken oder Diskontinuitäten wird eine einzelne Prozentangabe bereitgestellt → geeignet.

6. Literaturnachweise

- [1] **Autor:** Admesy B.V., Branskamp 5, 6014 CB Ittervoort, The Netherlands
Titel: Flicker measurement, display & lighting measurement, Jul 2015
Quelle: <http://www.admesy.nl/wp-content/uploads/TechNoteFlicker.pdf>
Seitenanzahl: 14 **Letzter Abruf:** 2016-05-20
- [2] **Autor:** Chroma Ate Inc. Morsestraat 32,NL-6716 AH Ede,The Netherlands
Titel: 7122 Flicker Application Presentation, Nov 2008
Quelle: <http://www.go-gddq.com/down/2014-04/14041612411934.pdf>
Seitenanzahl: 15 **Letzter Abruf:** 2016-05-20
- [3] **Autor:** Mark S. Rea
Titel: IESNA Lighting Handbook : Reference and Application 9th edition, Jahr 2000
Quelle: Buch ISBN 978-0-87995-150-4
Seitenanzahl: 1004
- [4] **Autor:** Lighting Research Center; Rensselaer Polytechnic Institute
Titel: ASSIST: Recommended metric for assessing the direct perception of light source flicker, Volume 11, Issue 3; Jan 2014
Quelle: <http://www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate/assist/pdf/AR-FlickerMetric.pdf>
Seitenanzahl: 18 **Letzter Abruf:** 2016-05-20
- [5] **Autor:** M.Sc. Farhang Ghasemi Afshar
Titel: Electronic Drive for Low Wattage Metal Halide Lamps Focused on Acoustic Resonance in HID Lamps, Jahr 2009, Table 2.1 on page 39 (27)
Quelle: https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/2424/2/Dokument_47.pdf
Seitenanzahl: 198 **Letzter Abruf:** 2016-05-20
- [6] **Autor:** Wolfgang Jaschinski
Titel: Accommodation, convergence, pupil diameter and eye blinks at a CRT display flickering near fusion limit, Feb. 1996
Quelle: https://www.researchgate.net/publication/14354503_Accommodation_...
Seitenanzahl: 135 **Letzter Abruf:** 2016-05-20
- [7] **Autor:** Naomi J. Miller, Brad Lehman
Titel: FLICKER: Understanding the New IEEE Recommended Practice, Mrz 2015
Quelle: http://energy.gov/sites/prod/files/2015/05/f22/miller+lehman_flicker_lightfair2015.pdf
Seitenanzahl: 26 **Letzter Abruf:** 2016-05-20
- [8] **Autor:** CIE: TC 1-83, D. Sekulovski (Chair)
Titel: Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems - Definitions and Measurement Models, Aug 2016
Quelle: http://files.cie.co.at/883_CIE_TN_006-2016.pdf
Seitenanzahl: 23 **Letzter Abruf:** 2017-08-23
- [9] **Autor:** U.S. Department Of Energy
Titel: Addressing Flicker: Guidance, Standards, and Tools, Jahr 2017
Quelle: https://energy.gov/sites/prod/files/2017/05/f34/ssl_flicker_lfi2017-poster.pdf
Seitenanzahl: 1 **Letzter Abruf:** 2017-08-23
- [10] **Autor:** A. J. Wilkins
Titel: Fluorescent lighting, headaches and eyestrain, Okt 1988
Quelle: <https://www1.essex.ac.uk/psychology/overlays/1989-82.pdf>
Seitenanzahl: 8 **Letzter Abruf:** 2017-08-23
-

- [11] **Autor:** California Energy Commission, Edmund G. Brown
Titel: Reference Appendices for the 2016 Building Energy Efficiency Standards Title 24, Part 6, Jun, 2015
Quelle: <http://www.energy.ca.gov/2015publications/CEC-400-2015-038/CEC-400-2015-038-CMF.pdf>
Seitenanzahl: 503 **Letzter Abruf:** 2017-08-23
- [12] **Autor:** [Der Lichtpeter: Peter Erwin](#)
Titel: elektroboerse-smarhouse: Lichtflimmern: Ursache und richtige Vermessung, Feb 2017
Quelle: <http://www.elektroboerse-smarhouse.de/elektroinstallation/beleuchtung/artikel/138700/>
Seitenanzahl: 5 **Letzter Abruf:** 2017-08-23
- [13] **Autor:** [Der Lichtpeter: Peter Erwin](#), [Photoalume: Peter W. Shackle](#)
Titel: LEDs Magazine: Understand a new flicker metric and its application to AC-LED light engines, Apr 2017
Quelle: http://digital.ledsmagazine.com/ledsmagazine/201704?sub_id=2pw63KKId0D0&u1=DA0417
Seitenanzahl: 5 **Letzter Abruf:** 2017-08-23
- [14] **Autor:** Wikipedia
Titel: Lichtflimmern, Okt 2015
Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtflimmern>
Seitenanzahl: n.a. **Letzter Abruf:** 2017-08-23
- [15] **Autor:** Beuth Verlag
Titel: DIN EN 12464-1: Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen, Aug 2011
Quelle: <http://www.beuth.de/de/norm/din-en-12464-1/136885861>
Seitenanzahl: n.a.
- [16] **Autor:** IEEE Standard Association
Titel: IEEE Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers, Mrz 2015
Quelle: http://www.bio-licht.org/02_resources/info_ieee_2015_standards-1789.pdf
Seitenanzahl: 80 **Letzter Abruf:** 2017-08-23
- [17] **Autor:** European Commission, DG Health & Consumers
Titel: Emerging and Newly Identified Health Risks, Light Sensitivity, Sep 2008
Quelle: http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_019.pdf
Seitenanzahl: 38 **Letzter Abruf:** 2017-08-23
- [18] **Autor:** European Commission, DG Health & Consumers
Titel: Emerging and Newly Identified Health Risks, Health Effects of Artificial Light, Mrz 2012
Quelle: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_035.pdf
Seitenanzahl: 118 **Letzter Abruf:** 2017-08-23
- [19] **Autor:** Dr. Dmitrij Polin
Titel: Flimmereffekte von pulsweiten-modulierter LED-Beleuchtung, Mrz 2012
Quelle: http://tu-darmstadt.de/4664/1/Dmitrij_Polin_Flimmereffekte_von_PWM-LED-Beleuchtung
Seitenanzahl: 153 **Letzter Abruf:** 2017-08-23
- [20] **Autor:** European Commission, DG Health and Food Safety
Titel: Preliminary Opinion on Potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs), Jul 2017
Quelle: https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/scientific_committees/scheer/docs/scheer_o_011.pdf
Seitenanzahl: 84 **Letzter Abruf:** 2017-10-29
-