



Lichtflimmern: Theorie und Messung

Technische Angaben und Qualitätskriterien von Lampen

- Angaben auf der Verpackung
- Wie kann man Sie prüfen

Lichtflimmern

- Theorie und Berechnung
- Vergleichsmessungen
- Messgerät Lichtmeter LM10
- Lichtflimmer-Messgerät LiFli

Messung an Leuchtmitteln

- Lichtflimmern





EU-Ökodesign-Verordnung

VERORDNUNG (EU) Nr. 1194/2012 DER KOMMISSION vom 12. Dezember 2012 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lampen mit gebündeltem Licht, LED-Lampen und dazugehörigen Geräten

Die Verordnung gibt vor:

- Energieeffizienzanforderungen
- Anforderungen an die Betriebseigenschaften
- Anforderungen an die Produktinformationen
- Nachprüfungsverfahren

For personal use only



Produktinformationen auf Lampen und deren Verpackung

Informationen gemäß EU-Verordnung auf der Verpackung :

- Betriebsspannung (V), Leistung (W)
- Nomineller Nutzlichtstrom (lm)
- **Farbtemperatur (K)**
- **Farbwiedergabe CRI/Ra**
- Nomineller Halbwertswinkel in Grad
- Nennlebensdauer der Lampe in Stunden
- Anlaufzeit bis zur Erreichung von 60 % der Helligkeit
- Warnhinweis, wenn eine Lichtstromsteuerung der Lampe nicht oder nur mit bestimmten Dimmern möglich ist
- Abmessungen (Länge und größter Durchmesser)

Folgende Informationen müssen nicht angegeben werden:

- **Lichtspektrum**
- **Flimmeranteil, Flimmerfrequenz**

(Angabe betrifft Lichtqualität)

Keine Angaben auf der Verpackung → Nur eine Messung bringt Gewissheit



Messgeräte zur Vermessung von Lampen und Leuchtmitteln

Ulbrichtkugel

- Lichtstrom (Lumen lm)

Leistungsmessgerät

- Leistung (Watt W)

Spektrometer, Spektroskop

- Lichtspektrum
- Farbtemperatur (Kelvin)
- Farbwiedergabe CRI

Flimmermessgerät

- Flimmeranteil (%)
- Flimmerfrequenz (Hz)





Flimmern: Theorie und Berechnung

Begriff: Flimmern, Flicker, Flackern, Welligkeit, Lichtschwankungen, Lichtmodulation

Definition: zeitabhängige periodische Schwankungen des Lichtstromes

Ursachen:

- Betrieb der Leuchtmittel mit Wechselstrom (50 Hz). Führt bei Leuchtstofflampen mit KVG und LEDs ohne Treiberschaltung zu Flimmeranteilen von meist 100 %.
- LED-Leuchtmittel benötigen für den optimalen Betrieb eine elektronische Treiberschaltung. Schlecht konstruierte oder billige Schaltungen führen ebenfalls zu Flimmeranteil von bis zu 100 %.
- Elektronische Vorschaltgeräte (EVG) für Leuchtstofflampen, "Energiesparlampen"

Gesundheitliche Folgen:

- Müdigkeit, verminderte Sehfähigkeit, Augenschmerzen
- Stress, Nervosität, Schlafstörungen
- Kopfschmerzen, Migräne
- Epilepsie



Flimmern: Wahrnehmung und Messung

Bewusste Wahrnehmung:

Ein wichtiger Faktor für die Wahrnehmung des Flackerns ist die Flimmerverschmelzungsfrequenz. Dieser Frequenzwert lässt erkennen, ab wann Licht unterbrechungsfrei wahrgenommen werden kann. Die Wahrnehmung des Flimmers ist bei verschiedenen Personen sehr unterschiedlich und zudem von mehreren Größen abhängig:

- Frequenz der Lichtmodulation
- Amplitude der Lichtmodulation
- durchschnittliche Lichtintensität
- Wellenlänge
- Position des auftreffenden Lichts im Auge
- Hell-/Dunkelanpassung des Auges

Unbewusste Wahrnehmung:

Menschen können Frequenzen bis ca. 85 Hz bewusst registrieren. Unter speziellen Konstellationen (z. B. bei PC-Monitoren) nehmen Menschen unbewusst Lichtflimmerfrequenzen bis 2000 Hz wahr.

Flimmer oberhalb der Verschmelzungsfrequenz hat einen negativen Einfluss auf die Sehleistung und führt zu Sehermüdung und verminderter Arbeitsproduktivität.

Stroboskopeffekt/Perlschnureffekt:

Hervorgerufen durch flimmerndes Licht an bewegten Objekten, bzw. wenn sich eine flimmernde Leuchtquelle bewegt.



Flimmern: Theorie und Berechnung

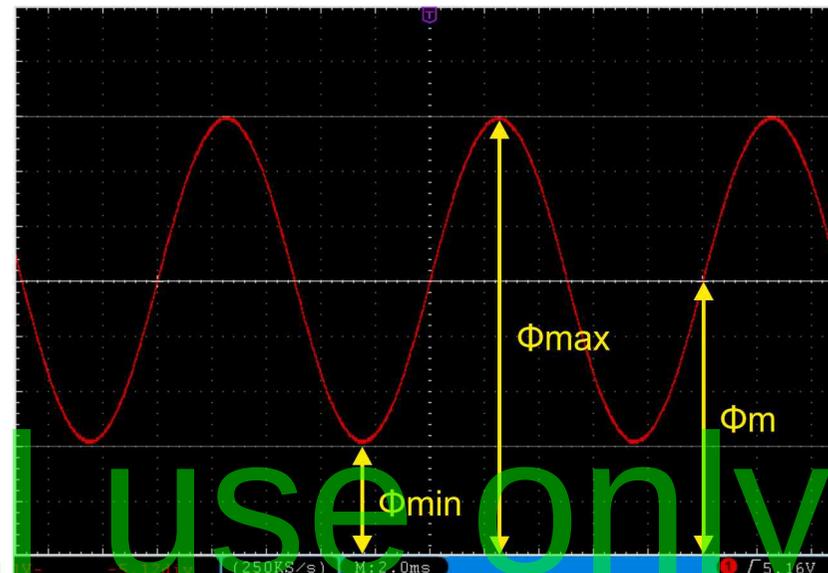
Berechnung:

Welligkeit
$$W = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{\max}} * 100 \%$$

Lichtstrom ϕ in Lumen (lm)

Entsprechend dem **Standard der
baubiologischen Messtechnik SBM-2015.**

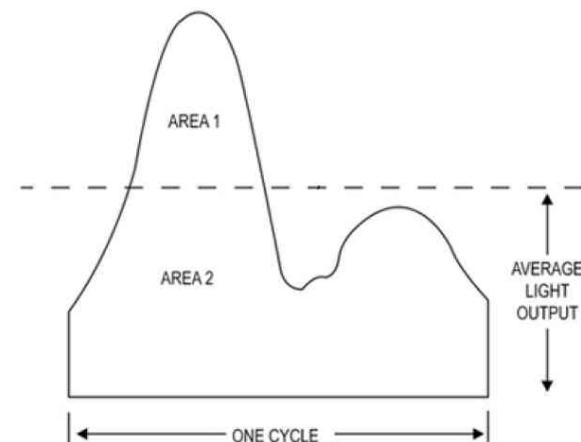
For personal use only



Flimmer %
$$fp = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{\max} + \Phi_{\min}} * 100 \%$$

Flimmerindex
$$fi = \frac{\text{Area 1}}{\text{Area 1} + \text{Area 2}} * 100 \%$$

**IES (Illuminating Engineering Society)
Lighting Handbook**



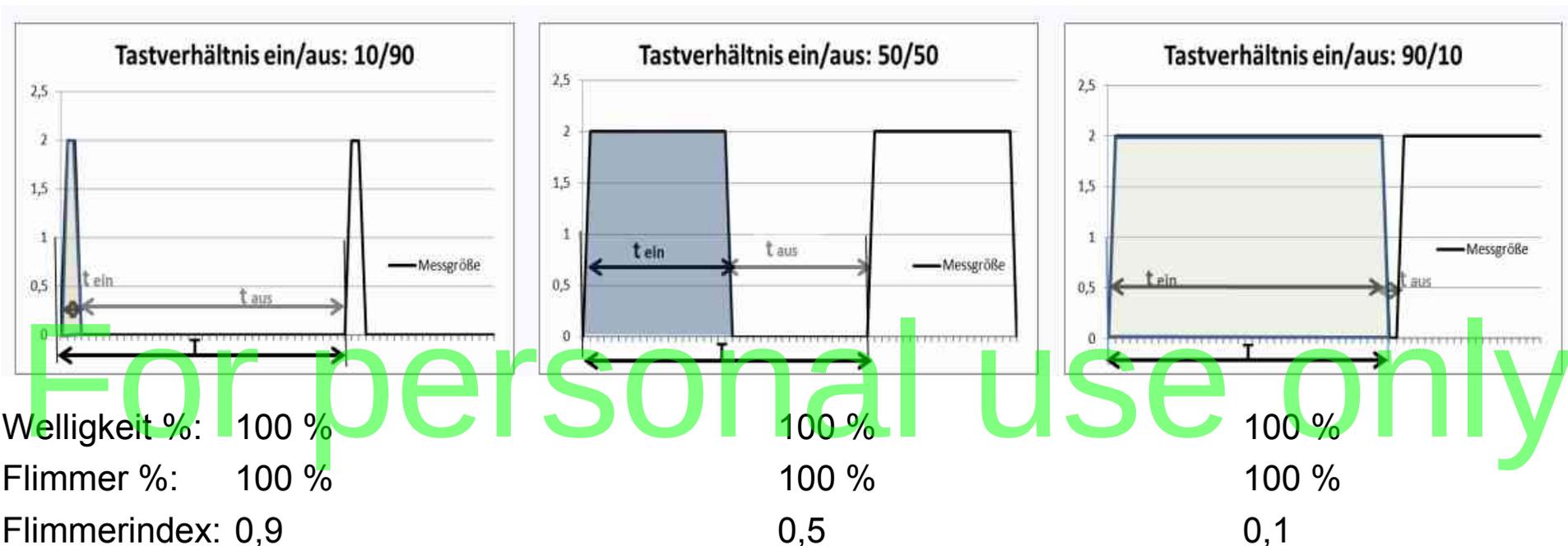


Flimmern: Theorie und Berechnung - Vergleichsmessungen

Lampe	Welligkeit % f 50 Hz.. 400 kHz	Flimmer % f 5 Hz.. 200 Hz	Flimmerindex f 5 Hz.. 200 Hz
Osram 60 W Glühlampe	24 % 100 Hz	13 % 100 Hz	0,04 100 Hz
Flair 12 W KLL	26 % 84 Khz	10 % 100 Hz	0,03 100 Hz
Ikea Spot 5W LED	100 % 100 Hz	100 % 100 Hz	0,45 100 Hz
Osram Parathom CL 5 W LED	100 % 49 kHz	14 % ~ 162 Hz	0,02 ~ 162 Hz
Megaman Classic 7,5 W LED	45 % 32 kHz	2 % 100 Hz	0,01 100 Hz
Lightme 4W LED	82 % 100 Hz	68 % 100 Hz	0,21 100 Hz
Biolicht Pure-Z 10 W LED	1 % ?	2 % 100 Hz	0,01 100 Hz
Tageslicht	0 % ?	1 % verschieden	0,00 verschieden



Flimmern: Theorie und Berechnung - Vergleichsmessungen



- ➔ Welligkeit und Flimmer % ist nur abhängig von Differenz Max-Min, unabhängig von Wellenform
- ➔ Flimmerindex ist hauptsächlich abhängig von Wellenform; wenig abhängig von Differenz Max-Min



Flimmern: Theorie und Berechnung- Frequenzgewichtet

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Std 1789-2015:

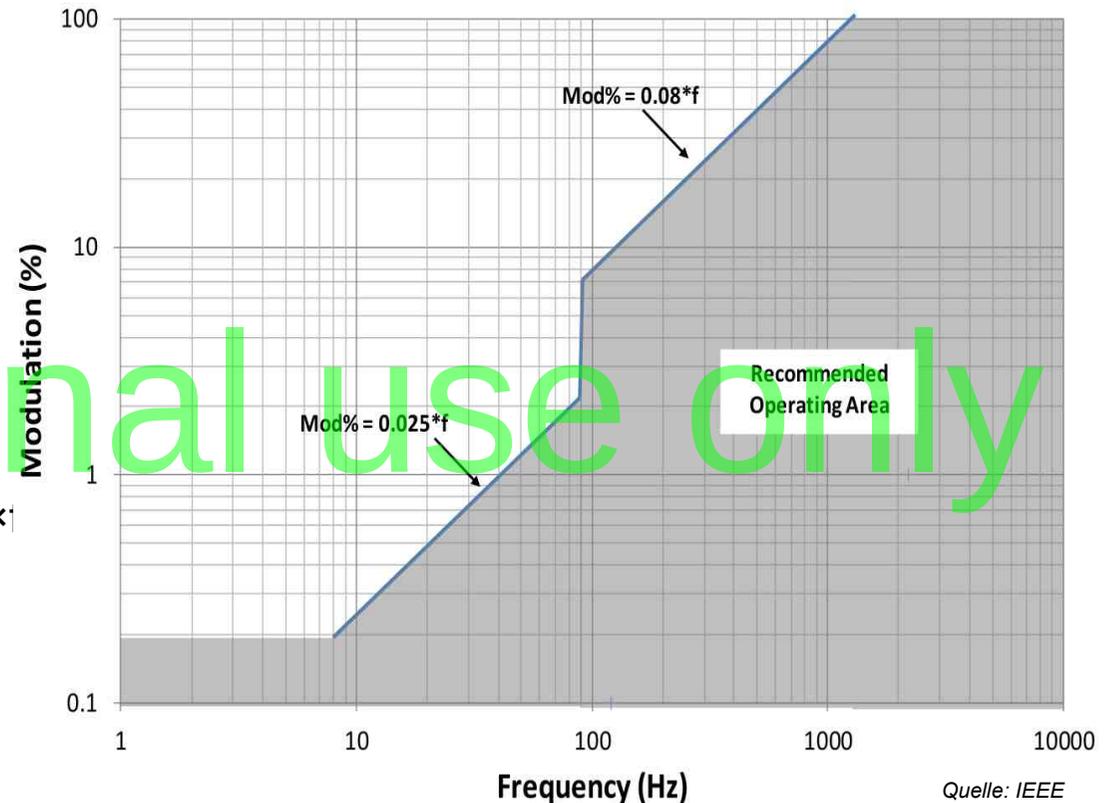
Messverfahren:

- Messen der Flimmerfrequenz
- Messen der Modulation (Flicker%)

$$\text{Modulation (\%)} = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{\max} + \Phi_{\min}} * 100\%$$

Bewertung:

- Unter 90 Hz, Modulation (%) < 0.025*f
- 90 Hz bis 1250 Hz, Modulation (%) < 0.08*f
- Über 1250 Hz keine Beschränkung





Flimmern: Theorie und Berechnung- Frequenzgewichtet

CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) TN 006 2016:

SVM Stroboscopic Visibility Measure

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

Messverfahren und Bewertung:

- Gemessen wird das Lichtflimmern im Frequenzbereich von 80 Hz bis 2000 Hz
- Das gemessene Lichtsignal wird in Frequenzkomponenten zerlegt
- Die Frequenzkomponenten werden anhand einer Empfindlichkeitskurve bewertet

$$T_v(f) = \frac{1}{1 + e^{-a(f-b)}} + 20 e^{-f/10 \text{ Hz}}$$

$$a = 0,00518 \text{ s}, b = 306,6 \text{ Hz.}$$

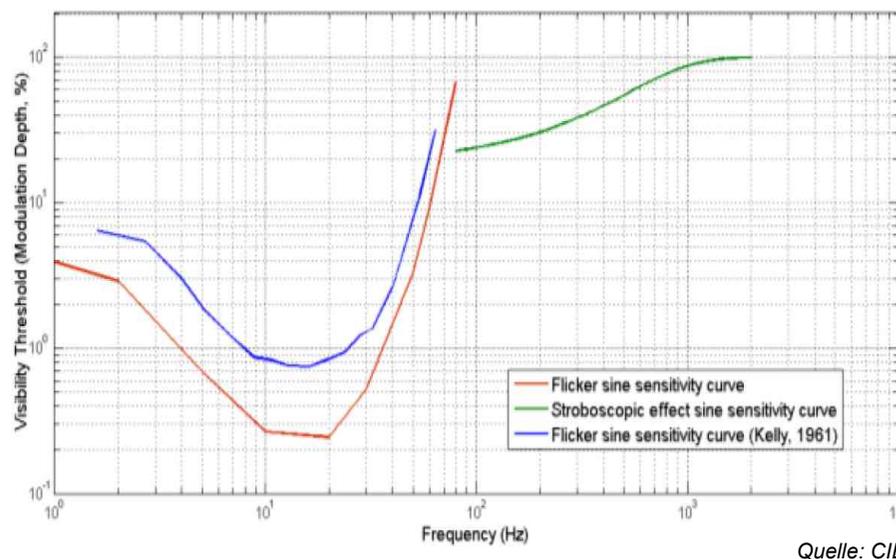
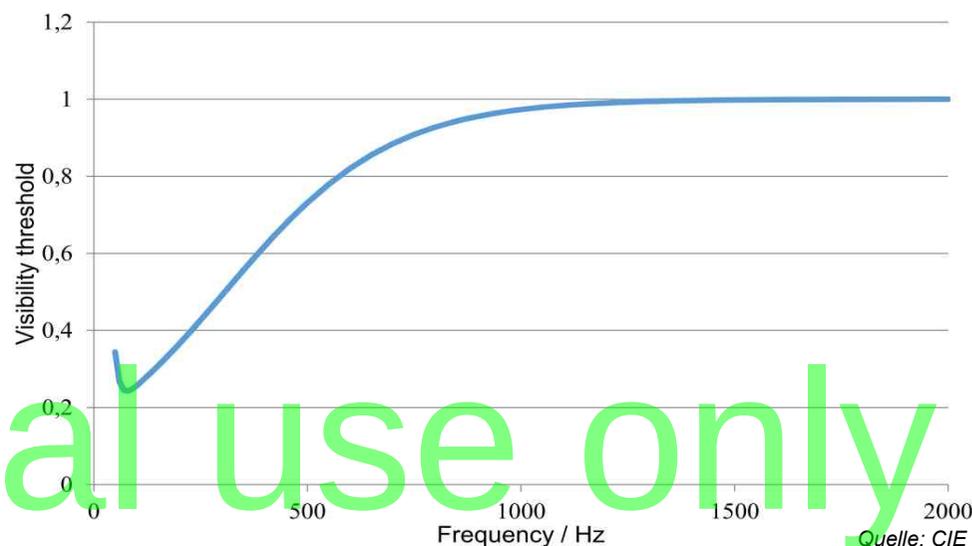
SVM = 1 steht für die Sichtbarkeitsschwelle

Noch keine Grenzwerte festgelegt

Weitere Verfahren:

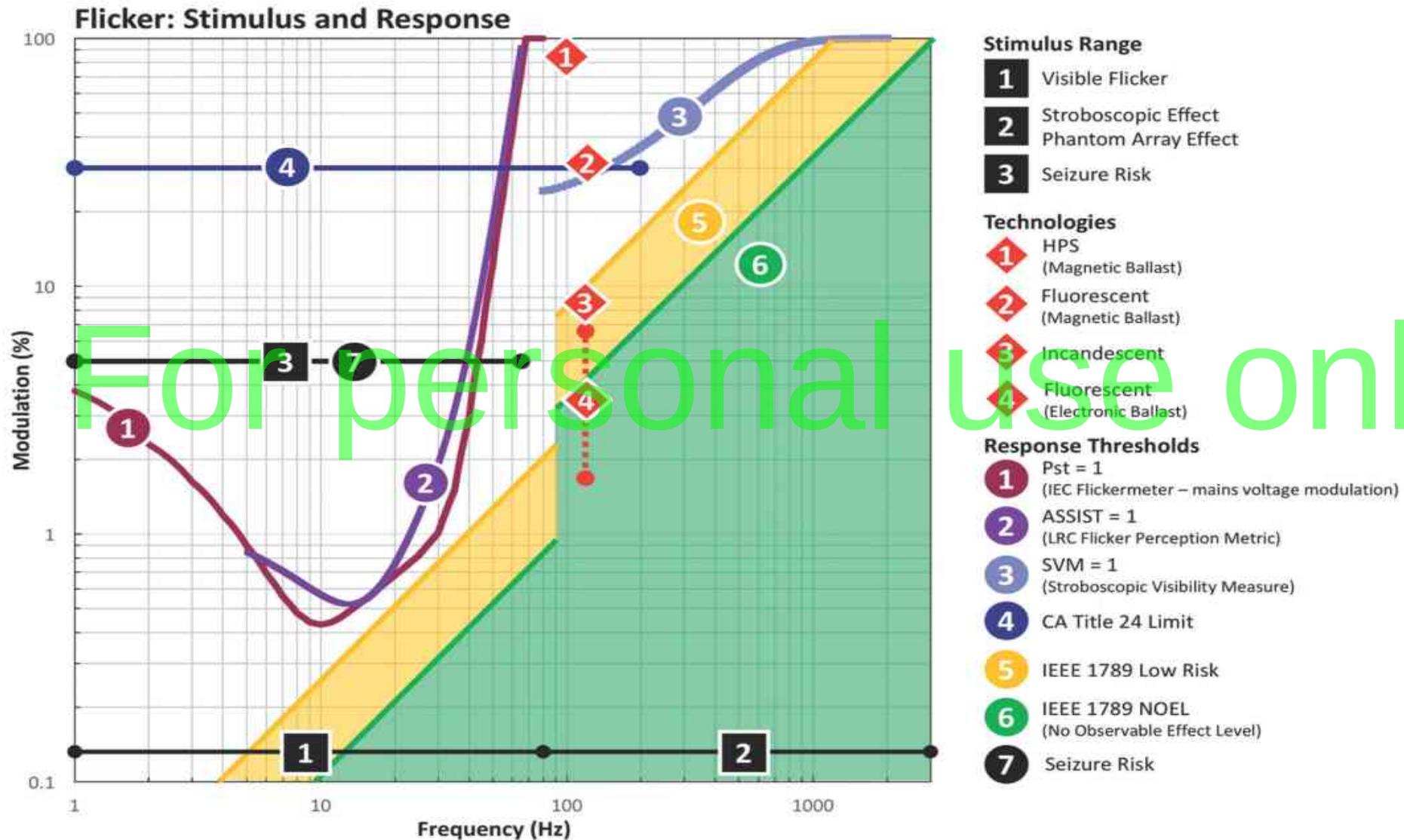
FVM: Flicker visibility measure

Pst: short-term flicker severity





Flimmern: Verschiedene Bewertungsverfahren im Überblick



Quelle: U.S. Department of Energy



Flimmern: Theorie und Berechnung

Vorsicht beim Vergleich von Flimmermessgeräten und deren Messergebnisse:

Hardware/ Sensor:

- Erfasster Frequenzbereich des Flimmerns (f_{\min} , f_{\max})
- Empfindlichkeit bei unterschiedlichen Frequenzen, Frequenzkompensation
- Spektrale Empfindlichkeit, z.B. Anpassung $V(\lambda)$

Software/ Fimmerberechnung:

- Verwendetes Berechnungsverfahren

- Verschiedene Messgeräte zeigen teils stark abweichende Ergebnisse
- Daher stets Messgerätetyp sowie Spezifikation und Einheit angeben

For personal use only



Flimmern: Empfehlungen und Grenzwerte

Standard der baubiologischen Messtechnik SBM-2015 A9:

Richtwerte	unauffällig	schwach	stark	extrem
Welligkeit %	< 2	2 - 10	10 - 50	> 50

Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.4:

Flimmern oder Pulsation dürfen nicht zu Unfallgefahren (z. B. durch stroboskopischen Effekt) oder Ermüdungen führen. Dies kann z. B. durch den Einsatz von elektronischen Vorschaltgeräten oder durch Drei-Phasen-Schaltung verhindert werden.

Gesetzliche Unfallversicherung: Sichere und gesundheitsgerechte Gestaltung von Bildschirmarbeitsplätzen

Das auf dem Bildschirm dargestellte Bild muss stabil und frei von Flimmern sein; es darf keine Verzerrungen aufweisen..

Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung - TierSchNutztV):

..., wobei bei Geflügel das künstliche Licht flackerfrei entsprechend dem tierartspezifischen Wahrnehmungsvermögen sein muss.



Flimmern: Durchführen einer Messung

Messung an Leuchtmitteln:

Zur genauen Vermessung eines Leuchtmittels auf Flimmeranteil und Flimmerfrequenz ist der Einfluss anderer Leuchtquellen, auch Tageslicht, auszuschließen. Die Messung sollte daher in einem abgedunkelten Raum oder einer Messbox vorgenommen werden.

Den Sensor des Messgerätes direkt auf das Leuchtmittel auszurichten und sich ihm soweit zu nähern bis die Messwerte von Flimmeranteil und Flimmerfrequenz stabil sind.

Optimal ist eine Beleuchtungsstärke zwischen 1000 lx und 10000 lx.

Übersteuern sowie ruckartige Bewegungen sind zu vermeiden.

Manche Leuchtmittel haben in verschiedenen Abstrahlrichtungen unterschiedliche Flimmeranteile.

```
E 13054 1x DM04  
32% 48kHz Sca
```

LM10-Display mit Anzeige von Beleuchtungsstärke, Flimmeranteil und Hauptflimmerfrequenz

Messung an Monitoren:

Der Flimmeranteil schwankt je nach Einstellung (Energieverwaltung) sehr stark. Energiesparmodi regeln die Helligkeit abhängig von Bild und Netz/Akku-Betrieb .

Das geringste Flimmern wird meist bei 100% Helligkeit erreicht.

Zur Messung eine weiße Fläche erzeugen (leeres Textdokument).



Flimmern: Durchführen einer Messung

Vorsicht bei Flickermessung mit Luxmetern:

Wird der Analogausgang eines Luxmeters in Verbindung mit einem Oszilloskop zur Flickermessung genutzt ist unbedingt Spezifikation des Ausgang (Frequenzbereich) zu prüfen.

Unterschiede auch bei gleichen Leuchtmitteln:

Auch bei Leuchtmitteln des gleichen Typs gibt es bedingt durch unterschiedliche Chargen oder andere Teilelieferanten Unterschiede im Flimmern.

Helligkeitsregelung und Farbeinstellung:

Ist Helligkeit (Dimmen) oder Lichtfarbe einstellbar geht dies meist mit starkem Flimmer einher.

For personal use only



Messgeräte und Technik zur Messung von Lichtflimmern

Lichtflimmer-Messgerät LiFli

- Vereinfachte Messung und Anzeige
- Akustische Wiedergabe des Flimmerns
- Auswertung des Messsignals mittels Oszilloskop und Spektrumanalyse



Lichtmeter LM10

- Verschiedene Sensoren und Gerätefunktionen
- Akustische Wiedergabe des Flimmerns
- Aufzeichnung mittels Loggerfunktion
- Spannungsausgang



Flicker-Sensor LiSens

- Datenübertragung über USB
- Software *Flicker Measurement Studio*
- Bewertung von Flicker nach verschiedenen Berechnungsverfahren





LiFli - Gerätefunktionen

- Handliches Messgerät zur schnellen Beurteilung von Leuchtmitteln
- Anzeige der Welligkeit/ Flicker% im Bereich 0...100 %
- Mehrfarbige Balkenanzeige mit 18 hellen LEDs
- Spektrale Empfindlichkeit entspricht dem menschliche Auge
- Spektralbereich ($\lambda_{0.5}$) 420..675 nm
- Erfasst das Flimmern/Flackern im Bereich von 50 Hz bis 400 kHz
- Akustische Wiedergabe des Flimmerns im hörbaren und im Bereich von 20 kHz..400 kHz
- Kraftvoller Lautsprecher für eindrucksvollen Sound
- Spannungsausgang zur Analyse des Messsignals mittels Oszilloskop oder Spektrumanalysator
- Lithium-Ionen-Akku, aufladbar mit Standard-USB-Ladegerät





Gerätefunktionen Lichtmeter LM10

Verschiedene Sensoren:

- Sichtbares Spektrum VL, IR, UV, Ultraschall

Anzeige:

- Beleuchtungsstärke lx
- Welligkeit, Flicker%
- Flimmerfrequenz Hz

Akustische Wiedergabe:

- hörbarer Bereich von 50 Hz..20 kHz
- Bereich von 20 kHz..400 kHz

Ausgänge:

- Messsignal (AC+DC, AC)
- Audio-Ausgang

Optional Datenlogger

- Daueraufzeichnung und Einzelpunktmessung
- Auswertesoftware FM-Data





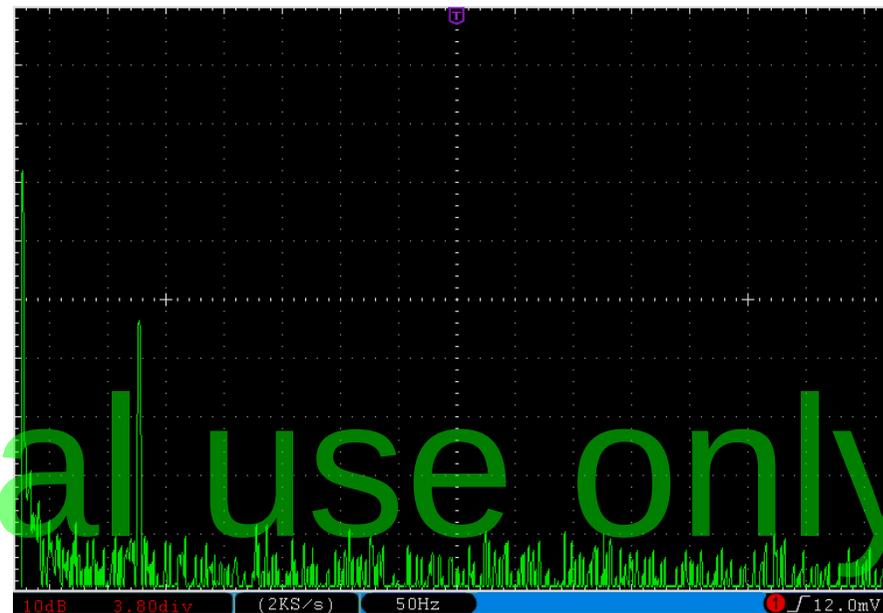
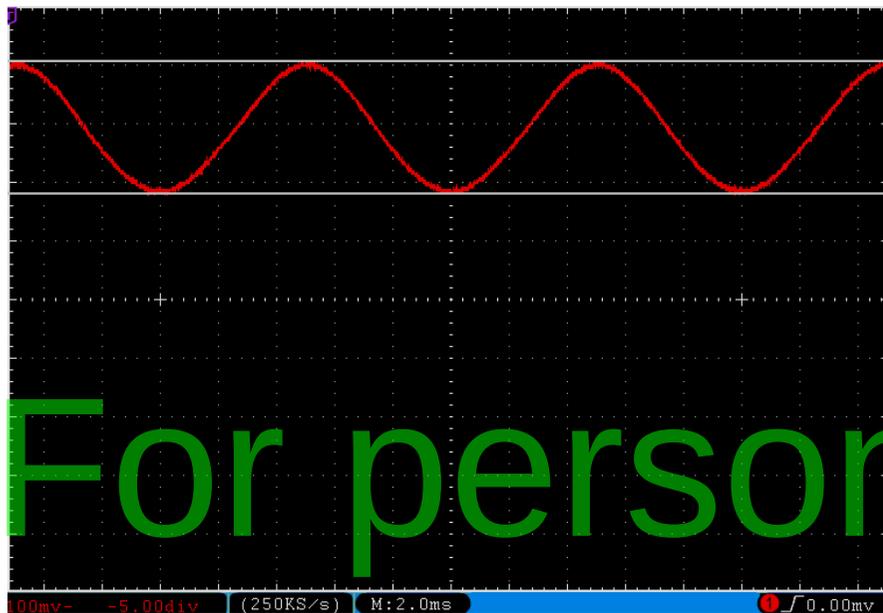
Flicker-Sensor LiSens mit USB-Anschluss

- Professionelles Flicker-Messgerät für Entwicklung, Prüffeld und Messung vor Ort
- Geeignet für Leuchtenhersteller, Lichtplaner, Endanwender u.a.
- Sensor LiSens mit spektraler Empfindlichkeit gemäß $V(\lambda)$
- Datenübertragung und Spannungsversorgung über USB
- Stand-Alone-Betrieb mittels integrierten Lilo-Akku und Speicher für 250 Messpunkte
- Inklusive Software *Flicker Measurement Studio* lauffähig unter Windows und Android für Einsatz im Labor oder mobil
- Darstellung des Helligkeitsverlaufs in Oszilloskopform und als Frequenzspektrumsanalyse (FFT)
- Bewertung von Flicker nach verschiedensten Berechnungsverfahren wie Flicker%, Flicker-Index, FVM, SVM, IEEE 1789...
- Protokolldruck zur Dokumentation der Messwerte von Leuchtmitteln
- 100 kHz Samplingrate, 14 Bit Auflösung
- Hochwertiges Aluminiumgehäuse mit Stativgewinde





Flimmern: Beispiel Glühlampe

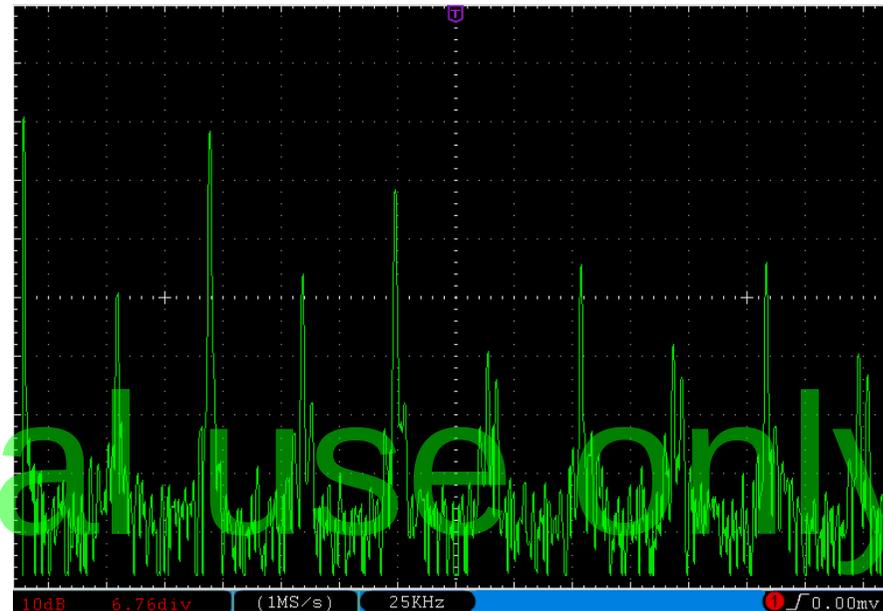
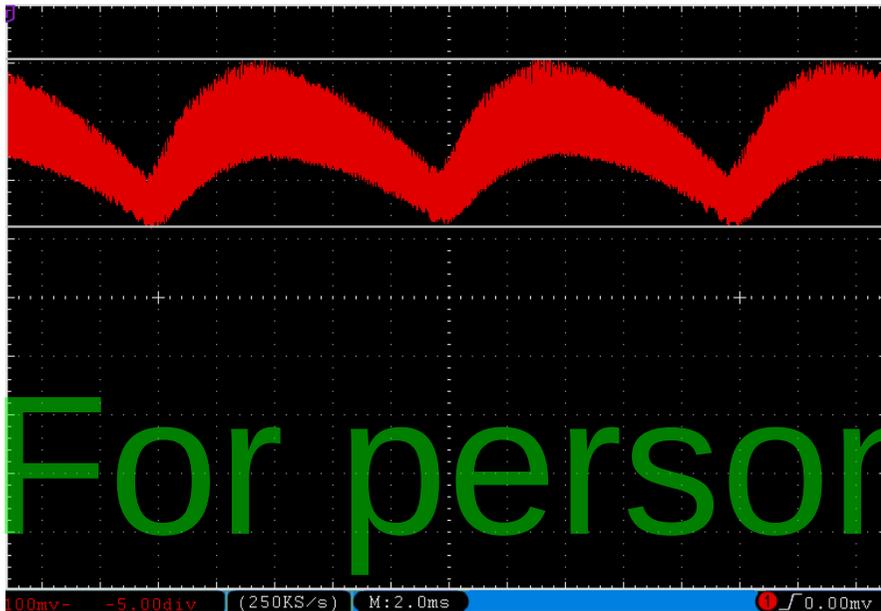


*Helligkeitsverlauf und Frequenzspektrum einer Glühlampe
(Flimmeranteil 23%, Flimmerfrequenz 100 Hz)*

Bei Glüh- und Halogenlampen ist die Flimmerfrequenz stets 100 Hz und der Flimmeranteil liegt bei 15 % bis 25 %. Eine Ausnahme bilden Niedervolt-Halogenlampen mit elektronischen Netzteilen. Die Modulation ist sinusförmig und harmonisch.



Flimmern: Beispiel Kompaktleuchtstofflampe



Helligkeitsverlauf einer Kompaktleuchtstofflampe (Flimmeranteil 31%, Flimmerfrequenz 49 kHz)

Kompaktleuchtstofflampen, auch Energiesparlampen genannt, verfügen wegen der eingebauten elektronischen Vorschaltgeräte über eine Flimmerfrequenz im Bereich von ca. 20 kHz bis 150 kHz. Der Flimmeranteil ist typischerweise 20% bis 40%.

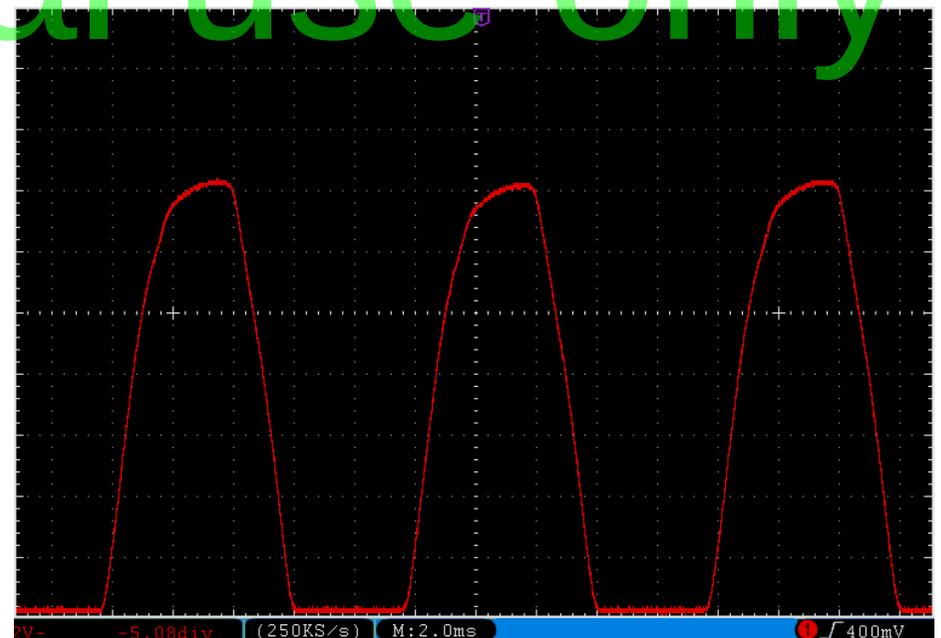
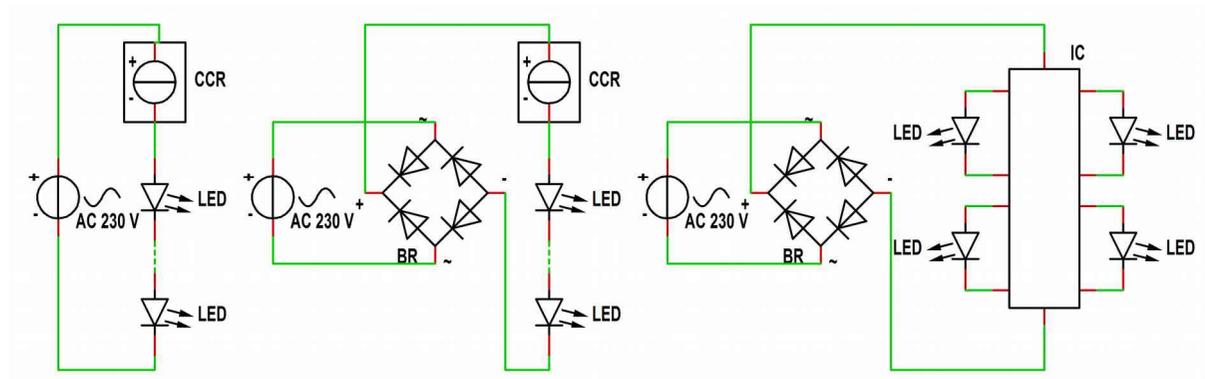


Flimmern: Beispiel LED-Leuchtmittel I

AC-Direktansteuerung:

LEDs werden über eine Strombegrenzung mittels einer Reglerschaltung direkt an Wechselspannung betrieben.

- + Einfacher Aufbau
- + Kleine Bauform
- + Kostenreduzierung
- + Unkritisch bei EMV
- + Keine ausfallkritischen Bauteile (Elektrolytkondensatoren)
- + Lange Lebensdauer
- Flimmern 100% bei 100 Hz
- Wird häufig als flimmerfrei angepriesen, da Flimmerfrequenz oberhalb der Flimmererschmelzungsfrequenz (85 Hz)
- Geringerer Wirkungsgrad





Flimmern: Beispiel LED-Leuchtmittel II

Versorgung mittels Schaltnetzteil:

LEDs werden über ein getaktetes Schaltnetzteil (AC/DC-Converter) mit Strom versorgt. Schaltfrequenz üblicherweise zwischen 10 kHz und 1 MHz.

+ Schaltung kann flimmerfrei ausgelegt werden

+ Guter Wirkungsgrad

- Komplexerer Aufbau

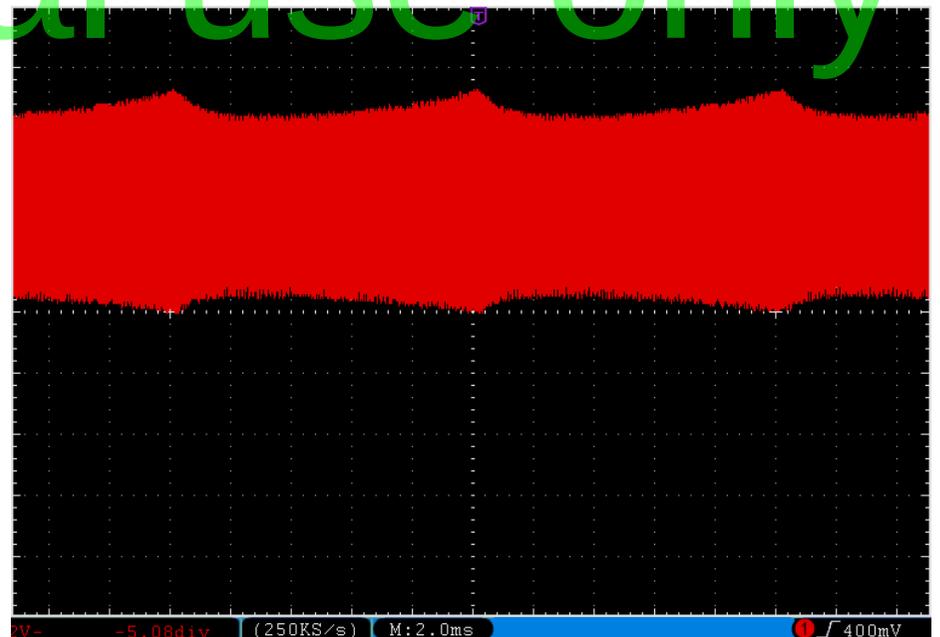
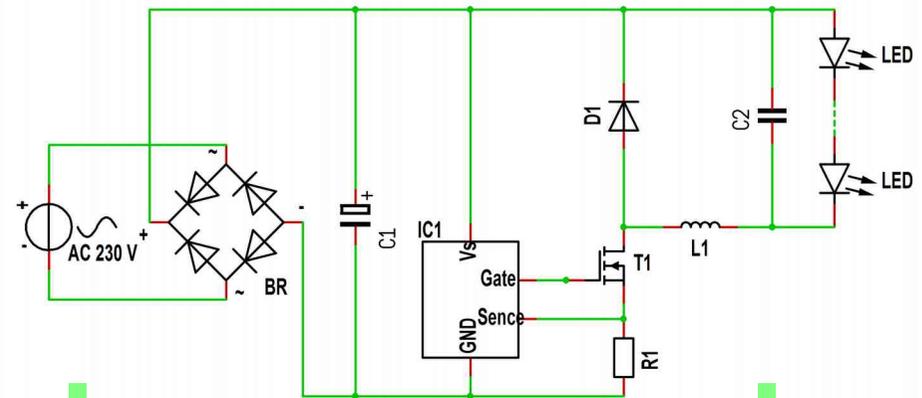
- Größere Bauform

- Kostenintensiver

- EMV beachten

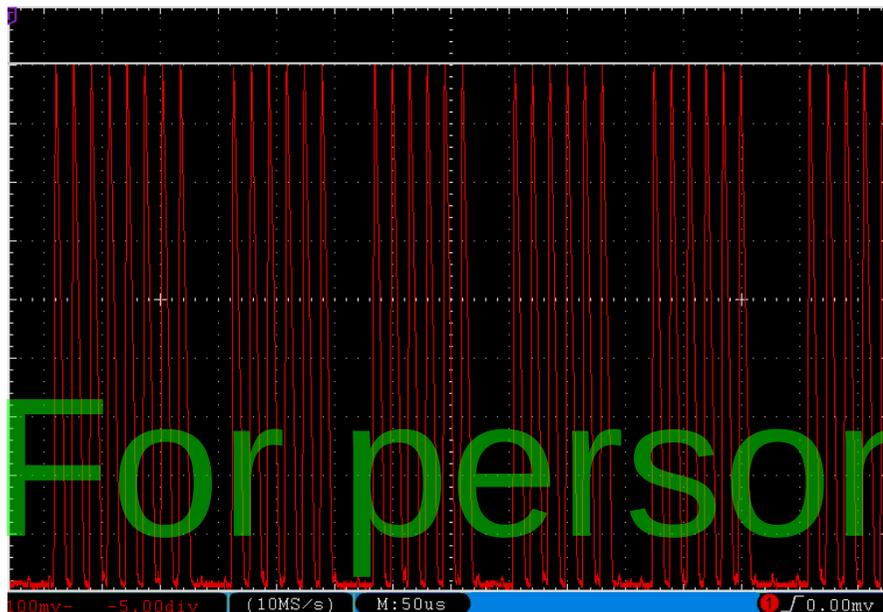
- Ausfallkritische Bauteile
(Elektrolytkondensatoren)

- Flimmerfrequenzen von 100 Hz und der Schaltfrequenz können vorhanden sein





Flimmern: Beispiel LED-Leuchtmittel III



Helligkeitsverlauf eines LED-Leuchtmittels (Flimmeranteil 100%, Flimmerfrequenz 49 kHz)

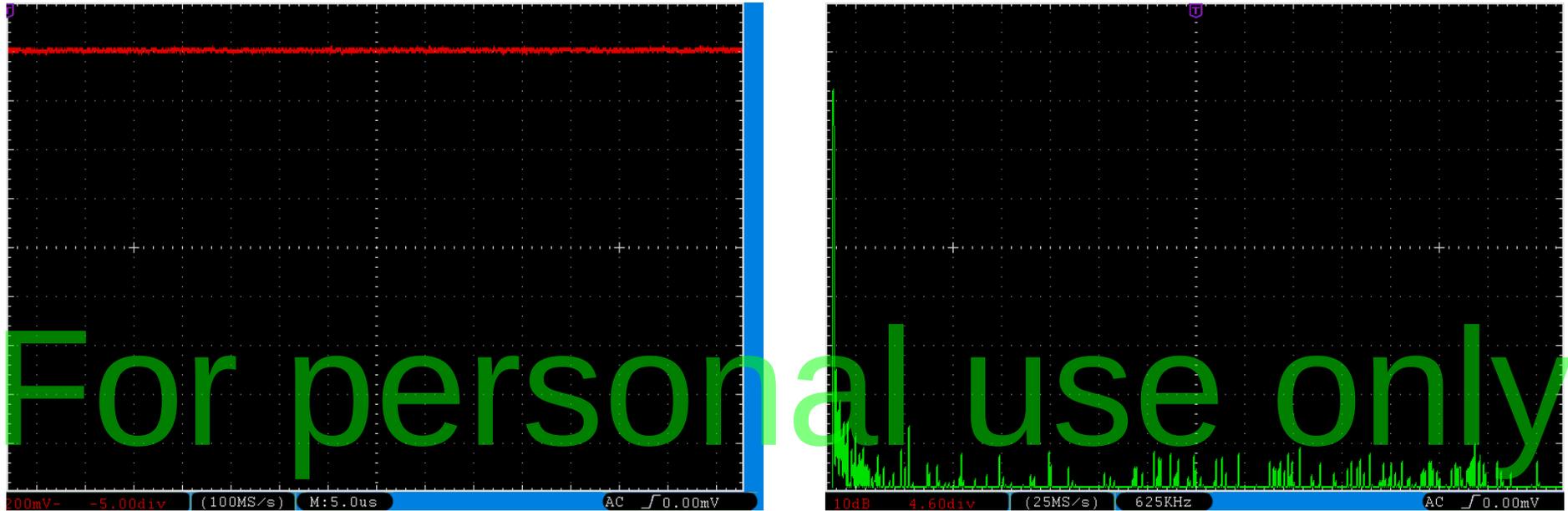
Da die Helligkeit einer LED nahezu verzögerungsfrei auf ihren Betriebsstrom reagiert, ist eine generelle Aussage über Flimmeranteil und Flimmerfrequenz bei diesen Leuchtmitteln nicht möglich.

Der Flimmeranteil kann zwischen 0% bis 100% liegen, je nach verwendeter Spannungsquelle (Netzteil). Es sind Flimmerfrequenzen von 50 Hz bis zu einigen hundert Kilohertz möglich.

Bei LED-Leuchtmitteln ist die Qualität der Spannungsquelle also von größter Wichtigkeit.



Flimmern: Beispiel LED-Leuchtmittel IV



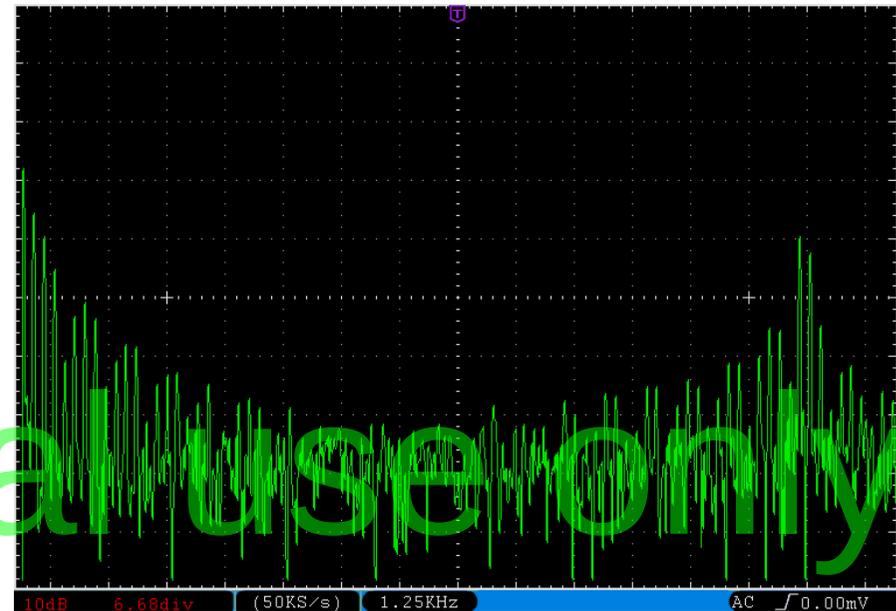
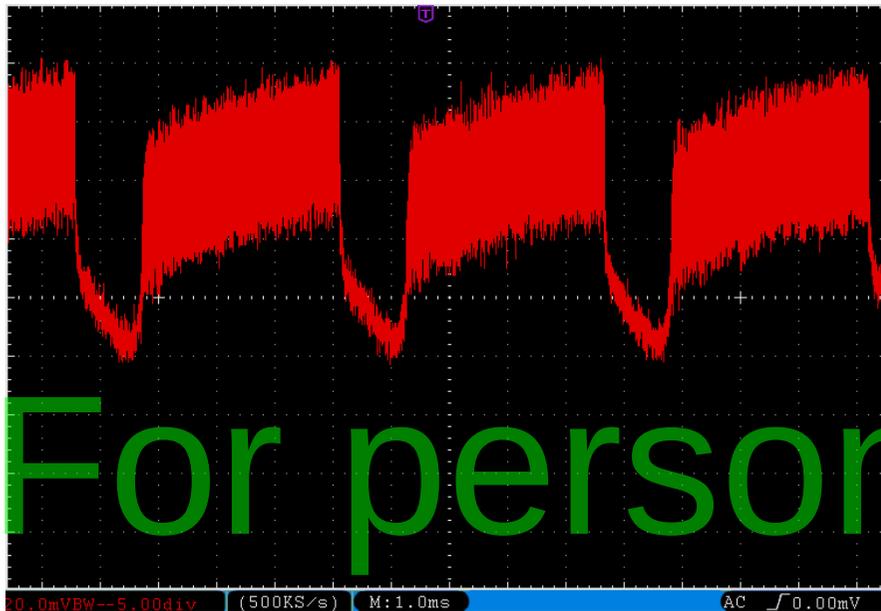
Helligkeitsverlauf eines LED-Leuchtmittels (Flimmeranteil <1%, keine Flimmerfrequenz)

LED-Leuchtmittel stellen eine Alternative zur Glühlampe dar, diese sollten jedoch messtechnisch auf ihren Flimmeranteil geprüft werden. Auch bei Leuchtmitteln des selben Typs kann es produktionsbedingt zu Unterschieden kommen.

Verschiedene Hersteller bieten spezielle flimmerarme Leuchtmittel und Lampen an.



Flimmern: Beispiel Monitor mit LED-Hintergrundbeleuchtung



Helligkeitsverlauf eines Monitor bei 80% Helligkeit (Flimmeranteil 62%, Flimmerfrequenz 220 Hz)

Bei Monitoren mit LED-Hintergrundbeleuchtung wird die Helligkeit über Pulsweitenmodulation geregelt. Wenn dann die Helligkeit auf Werte unter 100% eingestellt ist, kann dies einen Flimmeranteil von bis zu 100% zur Folge haben.

Wird die Helligkeit auf Maximum gestellt sinkt das Flimmer meist auf wenige Prozent.

Das selbe gilt auch für Fernseher mit mit LED-Hintergrundbeleuchtung.



Dimmen von LED-Leuchtmitteln

PWM-Dimmen (Pulsweitenmodulation):

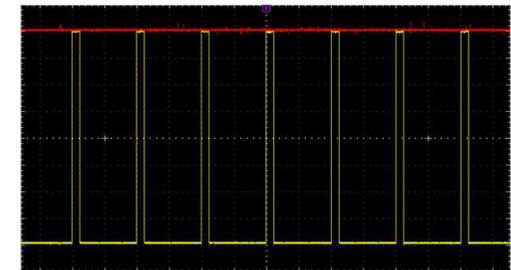
- Regelung durch Variation der An/Aus-Schaltzeiten
- Taktfrequenz meist im Bereich von 100 Hz um die Anzahl der Schaltvorgänge gering zu halten (Kapazitäten)
- LED wird mit vollem Betriebsstrom betrieben, daher keine Verschiebung des Farbortes
- 100 % Flimmern

Linear-Dimmen:

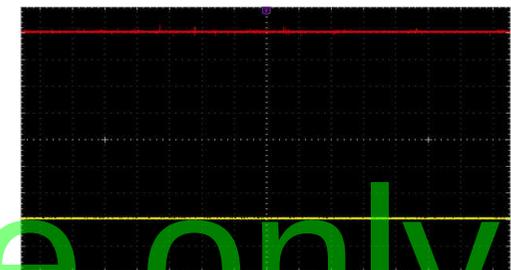
- Der Strom durch die LED wird reduziert
- Bei LEDs treten bei niedrigem Betriebsstrom die Toleranzen bei Farbort und Vorwärtsspannung (Helligkeit) deutlich hervor
- Selektion und Feintuning von LED-Treiber und LEDs erforderlich
- geringes Flimmern

Vorteile durch Kombinationslösungen:

- Bis zu einer geringen Helligkeit findet lineares Dimmen statt
- Bei geringer Helligkeit PWM-Dimmen (auch mit wechselnden, hohen Frequenzen)
- Im weiten Bereich geringes Flimmern, Unterschiede bei Farbort und Helligkeit werden vermieden



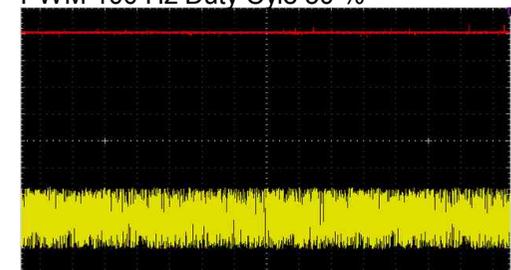
PWM 100 Hz Duty Cycle 12,5%



Linear gedimmt 12,5 %



Linear gedimmt 25 %
PWM 100 Hz Duty Cycle 50 %



Linear gedimmt 25 %
Random PWM 50 %



EMV-Problematik durch LED-Leuchtmittel

- Ursache: Im Netzteil verbaute Schaltregler erzeugen Oberwellen bis in den MHz-Bereich
- Lichtflicker im oberen kHz-Bereich verursachen meist auch EMV-Probleme
- Lange Leitungen zwischen Netzteil und Leuchtmittel führen zu verstärkter Abstrahlung
- Minderwertige Schaltnetzteile können Störspannungen in das Stromnetz einkoppeln
- Importprodukte aus Fernost erfüllen oft die EMV-Vorgaben nicht
- Politik zeigt wenig Interesse die EU-Richtlinie (2014/30/EU) umzusetzen und nicht EMVG-konforme Produkte aus dem Verkehr zu ziehen.
- Ehm. Wirtschaftsminister Gabriel: "..., dass es keinen Rechtsanspruch auf ungestörten Rundfunkempfang gebe"
- Störung von: Radioempfang und Funkamateuren, Funkfernsteuerungen (z.B. Garagentor)
- Bayerische Rundfunk: „LED-Lampen sind stromsparende Lichtquellen und finden daher immer breitere Anwendung. Sie sind jedoch häufig auch die Ursache von Funkstörungen, unter anderem bei DAB+ -Programmen."
- Auch LED-bestückte Verkehrsampeln können zu Empfangsaussetzern bei DAB+ -Autoradios führen



Allgemeine Informationen zum Licht:

www.licht.de

Infos zu Leuchtmitteln:

www.ledclusive.de/blog

www.led-profi.org

www.fastvoice.net

Organisationen:

IES (Illuminating Engineering Society)

www.ies.org

IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)

www.ieee.org

CIE (Commission Internationale de l'Eclairage)

www.cie.co.at

For personal use only