



## Lichtflimmern: Theorie und Messung

### Technische Angaben und Qualitätskriterien von Lampen

- Angaben auf der Verpackung

### Lichtflimmern

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

### Messung an Leuchtmitteln

- Lichtflimmern





## 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**



### 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

For personal use only



# 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. Er ist von sechs 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

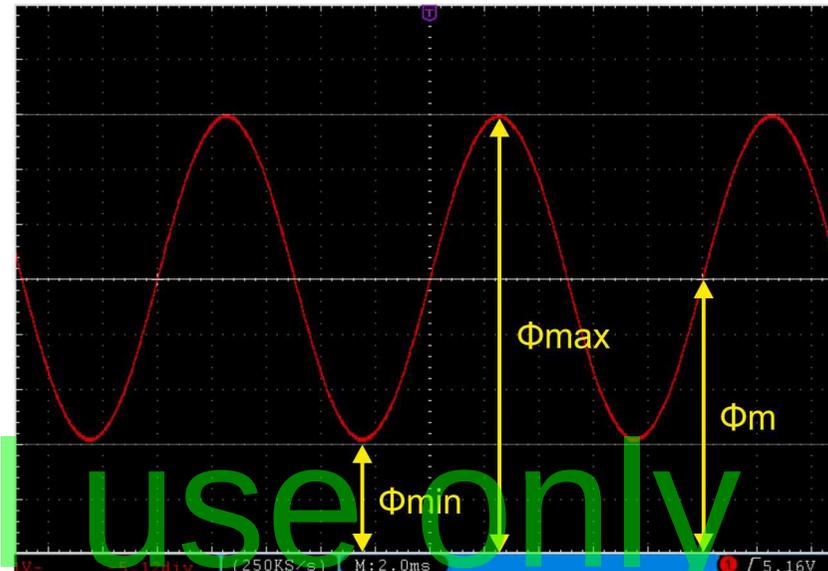
Berechnung:

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

Lichtstrom  $\phi$  in Lumen (lm)

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

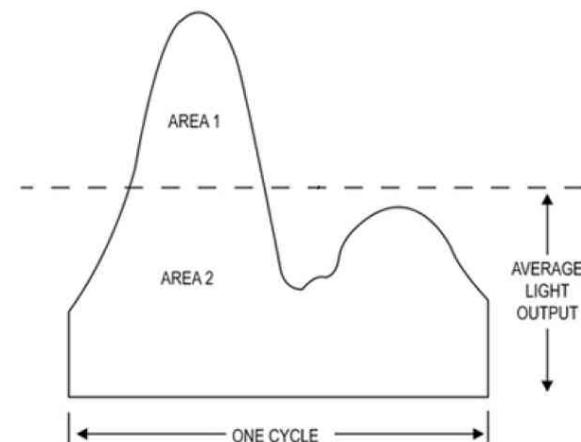
For personal use only



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- 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

For personal use only



## 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: Theorie und Berechnung

**Vorsicht beim Vergleich von Flimmermessgeräten und deren Messergebnissen:**

### **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 lx 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**

#### **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

### Lichtmeter LM10

- Gerätefunktionen und Sensoren
- Durchführen einer Messung
- Akustische Wiedergabe des Flimmerns
- Aufzeichnung mittels Loggerfunktion
- Spannungsausgang



For personal use only

### Lichtflimmer-Messgerät LiFli

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





## 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





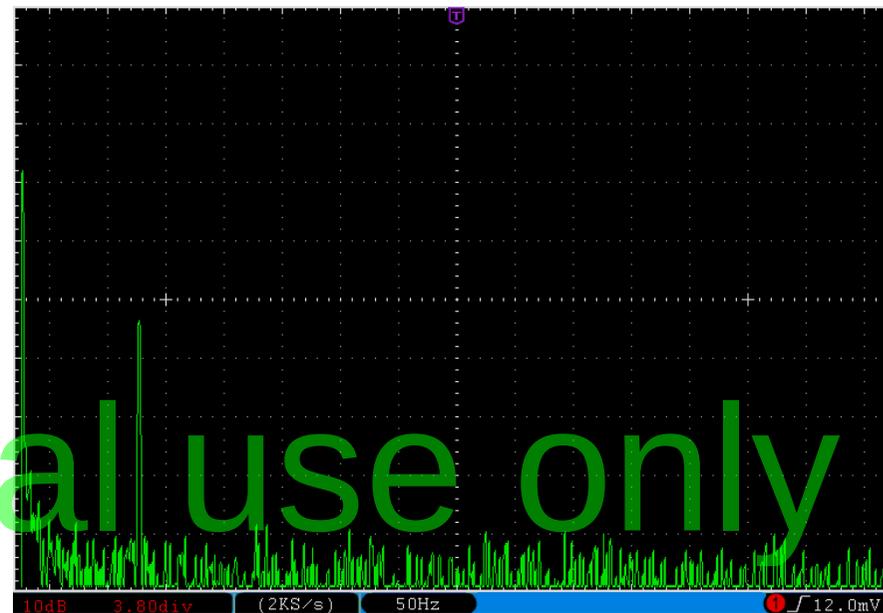
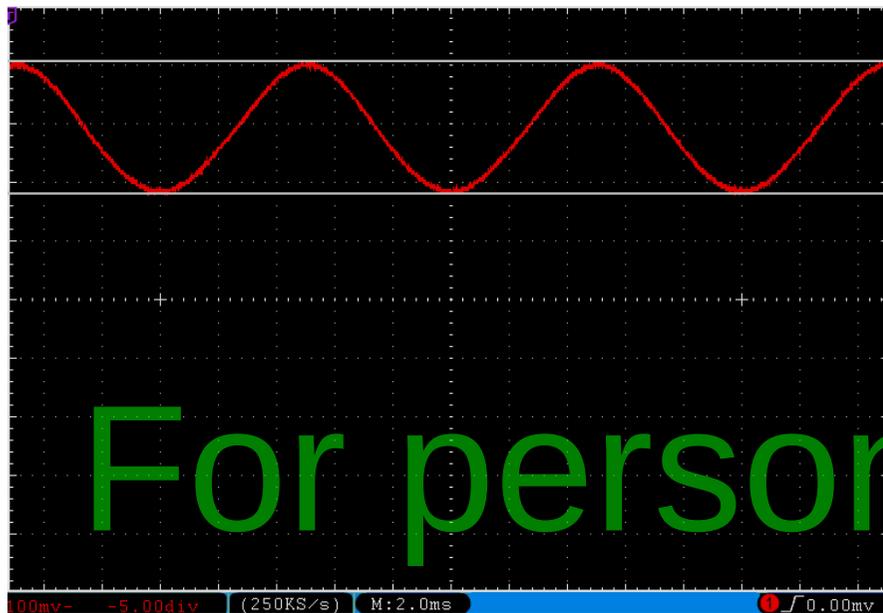
## LiFli - Gerätefunktionen

- 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





## Flimmern: Beispiel Glühlampe

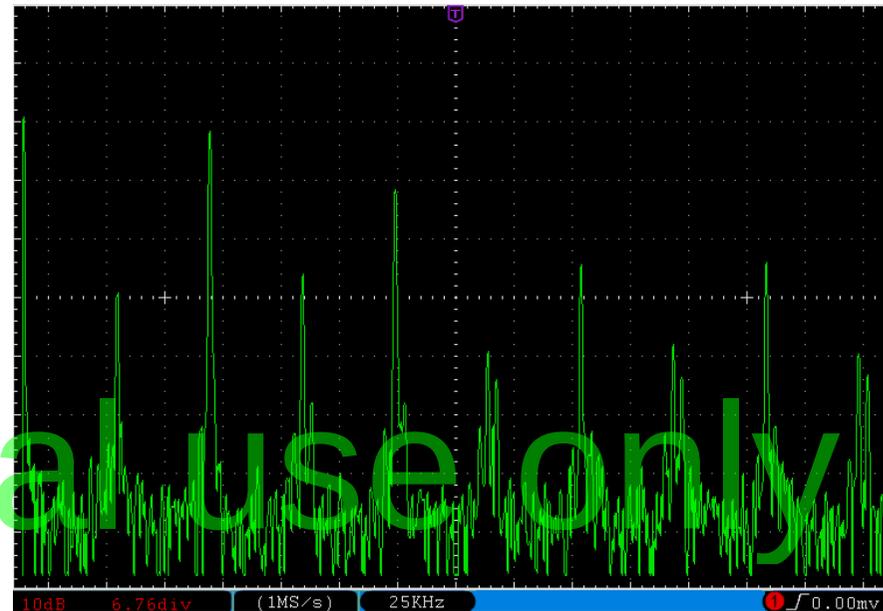
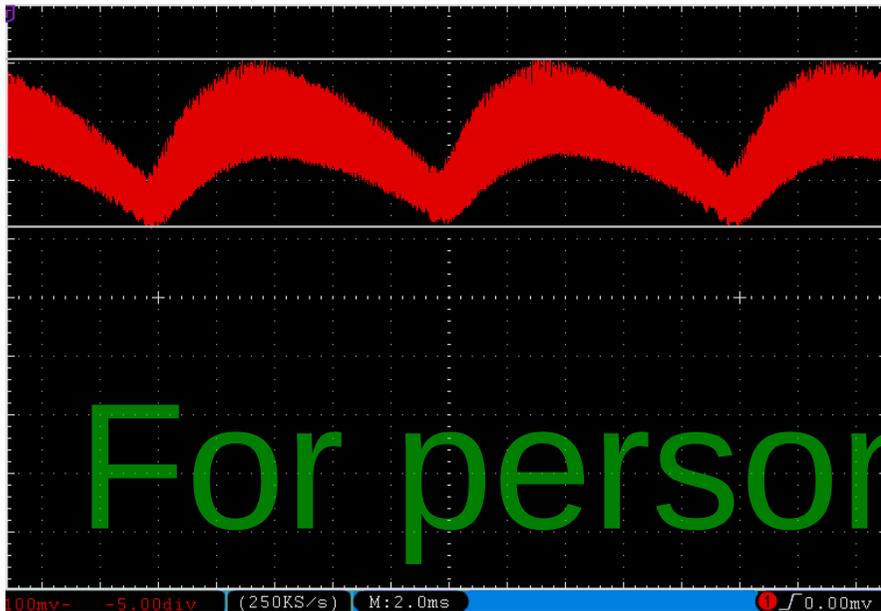


*Helligkeitsverlauf und Frequenzspektrum einer Glühlampe  
(Flimmeranteil 23%, Flimmerfrequenz 100 Hz)*

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%.

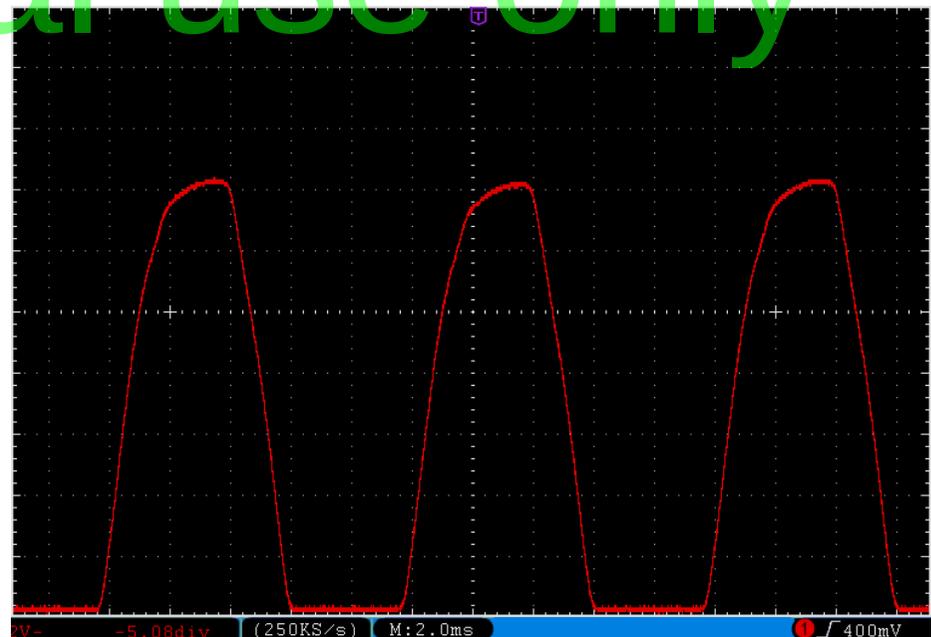
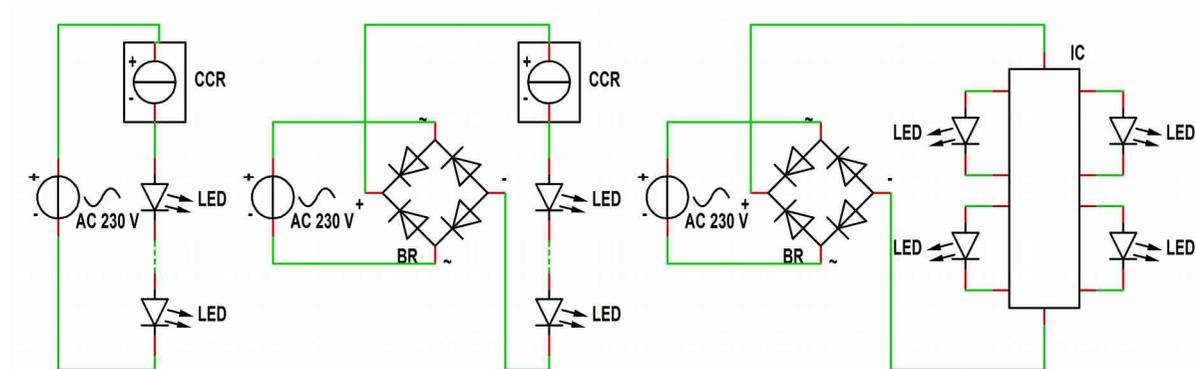


## Flimmern: Beispiel LED-Leuchtmittel I

### 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 Flimmerverschmelzungsfrequenz (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

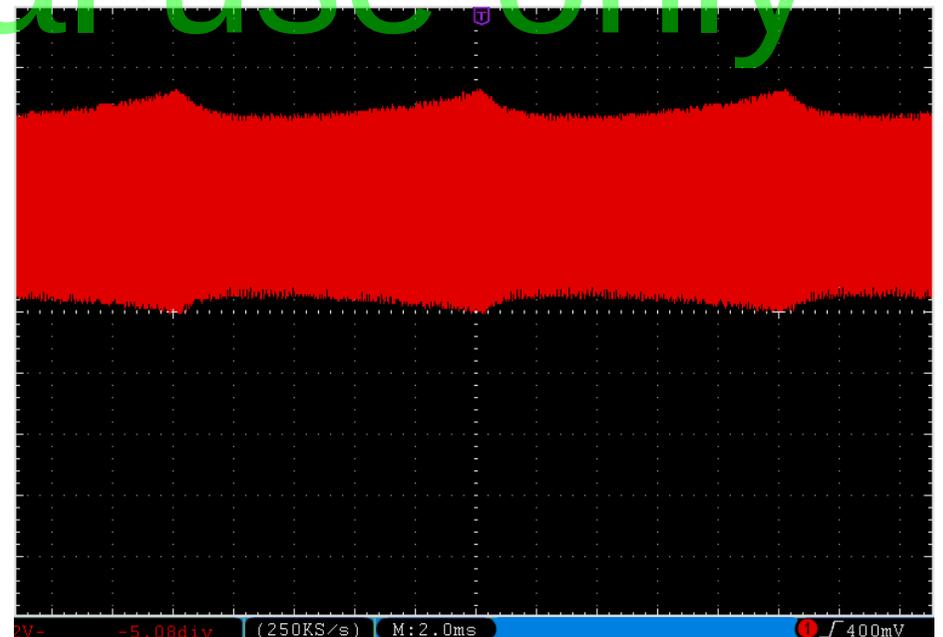
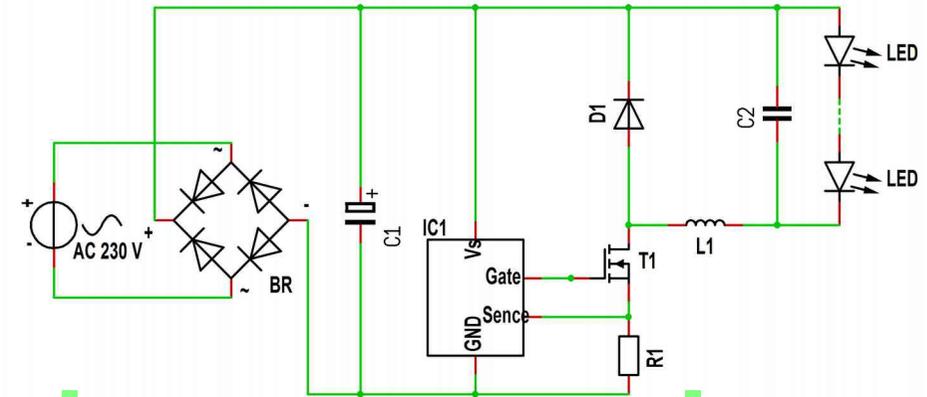
- Größere Bauform

- Kostenintensiver

- EMV beachten

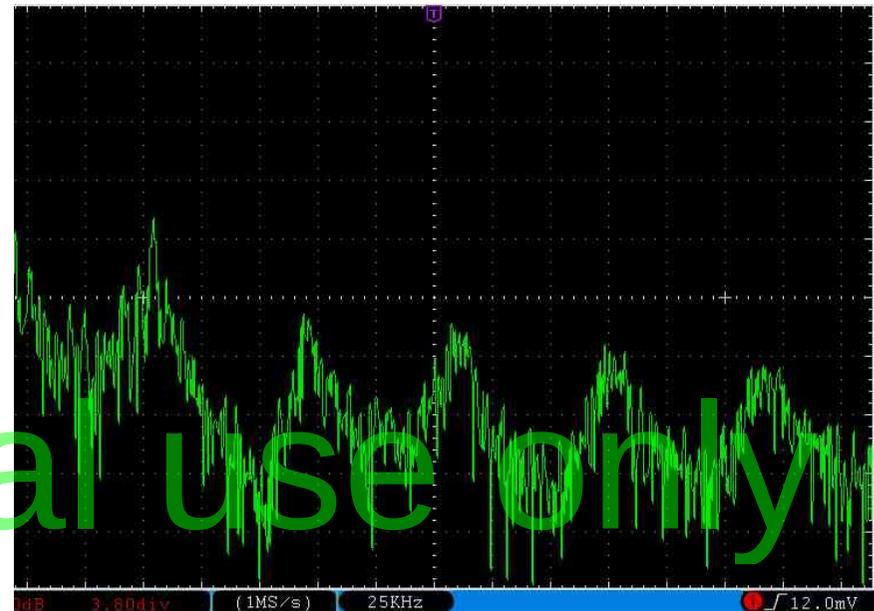
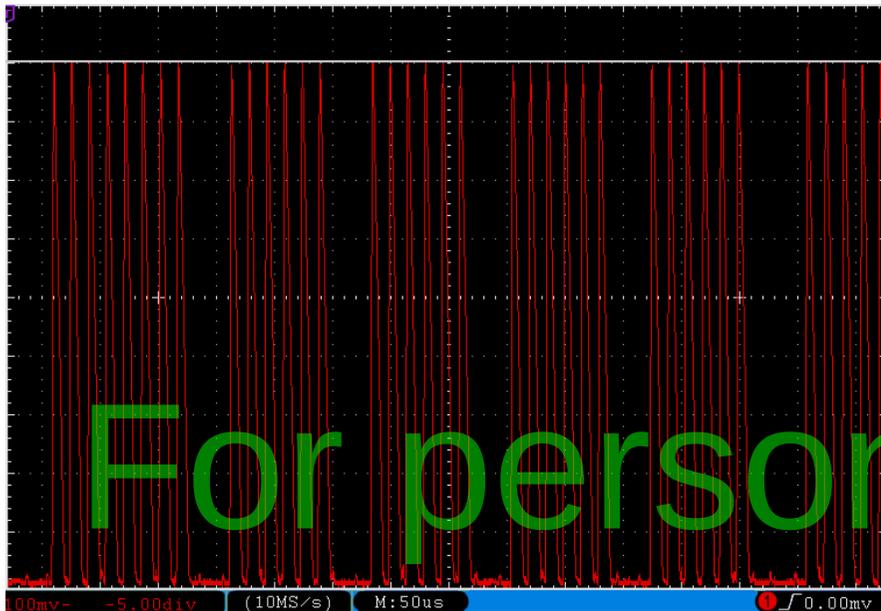
- Ausfallkritische Bauteile  
(Elektrolytkondensatoren)

- Flimmerfrequenzen von 100 Hz und der Schaltfrequenz können vorhanden sein





## Flimmern: Beispiel LED-Leuchtmittel III

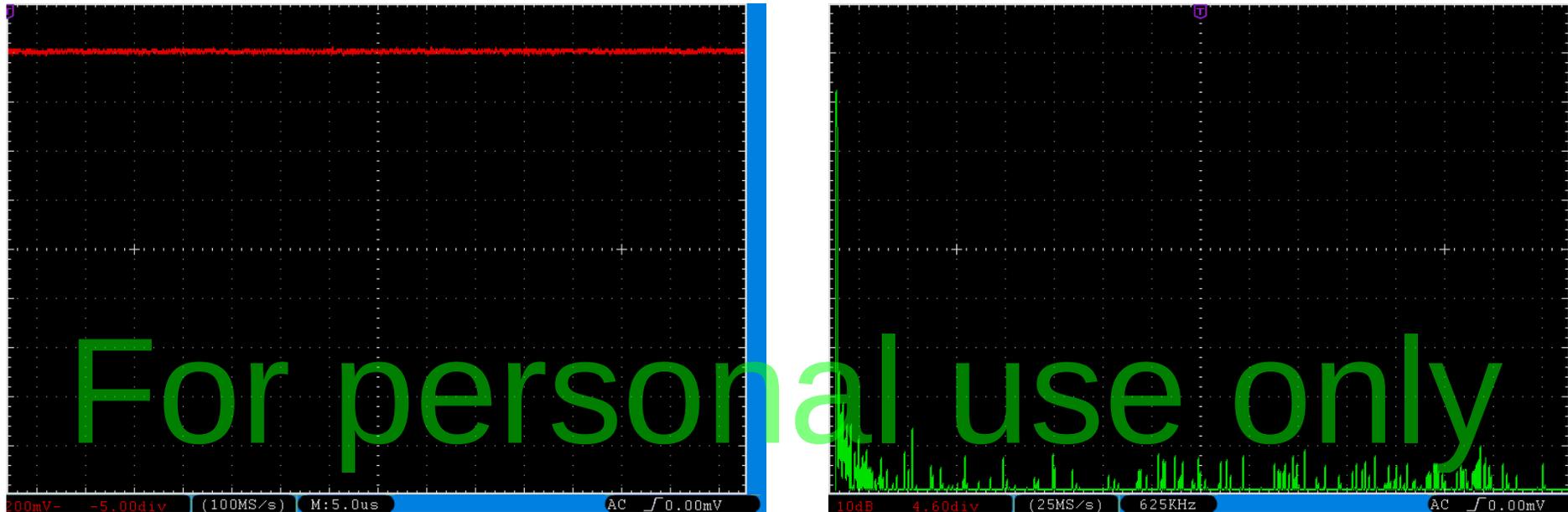


*Helligkeitsverlauf eines LED-Leuchtmittels (Flimmeranteil 100%, Flimmerfrequenz 49 kHz)*

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



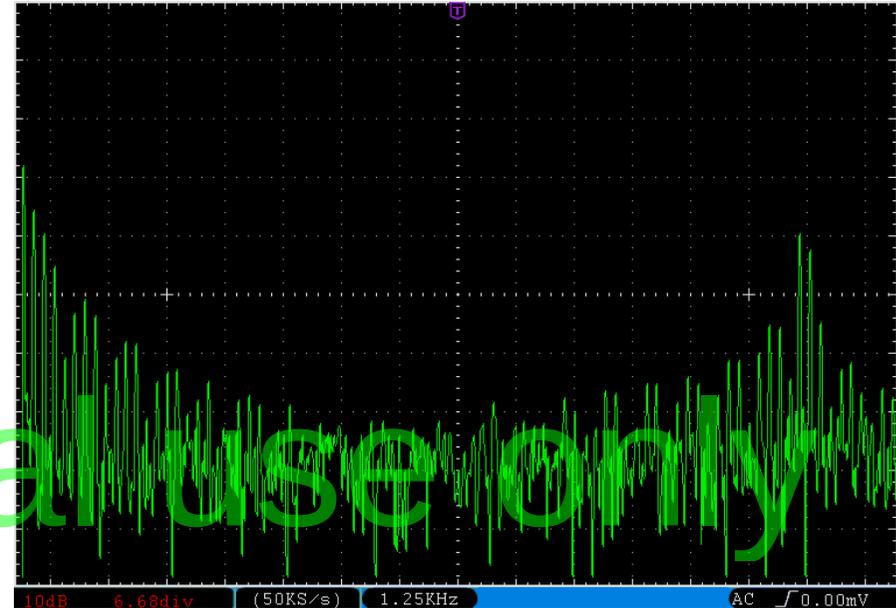
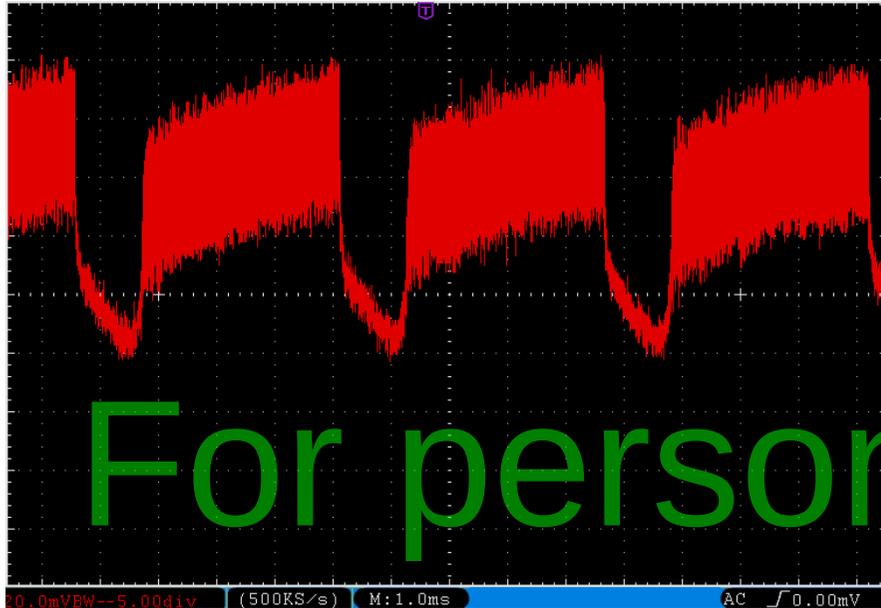
*Helligkeitsverlauf eines LED-Leuchtmittels (Flimmeranteil <1%, keine Flimmerfrequenz)*

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.



### Allgemeine Informationen zum Licht:

[www.licht.de](http://www.licht.de)

### Infos zu Leuchtmitteln:

[www.ledclusive.de/blog](http://www.ledclusive.de/blog)

[www.led-profi.org](http://www.led-profi.org)

[www.fastvoice.net](http://www.fastvoice.net)

### Organisationen:

IES (Illuminating Engineering Society)

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

IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)

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

CIE (Commission Internationale de l'Eclairage)

[www.cie.co.at](http://www.cie.co.at)

For personal use only