

## LED-Leuchtmittel in der Praxis



### Geplanter Inhalt (Dauer 75 Minuten)

- Bauformen
- Schaltungstechnik
- Technische Daten
- Dimmbarkeit
- Störpotential
- Messtechnik

### Beschränkung auf Kernthema:

- 230-Volt-Retrofit Bauformen
- Drei ausgewählte Schaltungen aus drei Anwendungsbereichen
  - Aufbau und Funktion, Unterschiede, Gemeinsamkeiten
  - Oszillogramme und Spektren
  - nötige EMV-Maßnahmen
- Technische Eigenschaften
- Messtechnik

Hartwig Harm DH2MIC

März 2018

1

Anhand der Schaltungen von drei LED-Leuchtmitteln (E27-„Birne“, 120-cm-LED-Röhre und dimmbare E14-Kerze) beschreibe ich, welche Störmechanismen diesen Schaltungen eigen sind und was man gegen die Ausbreitung tun kann, wenn der Hersteller beim Design entsprechende Maßnahmen versäumt hat. Die zum EMV-Messung erforderlichen Messmittel sind in mehreren DIN-EN-Normen festgelegt. Da diese aber nicht allgemein zugänglich sind, folgen dazu am Ende nähere Angaben.

## LED-Leuchtmittel in der Praxis Schaltungstechnik von 3 Beispielen



Hartwig Harm DH2MIC

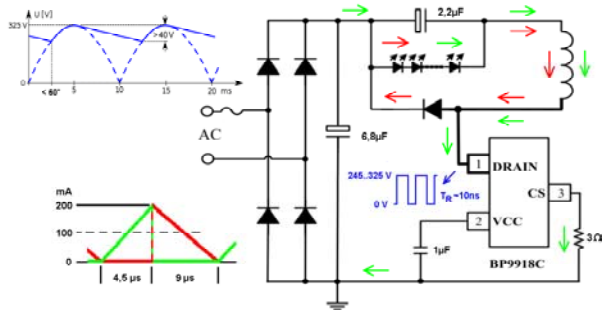
März 2018

E14 Kerze

2

Die E27-Birne gab nach 500h als eine von 6 weiteren (von insgesamt 20 Stück) den Geist auf. Ursache war der Ausfall einer EMV-Drossel; bei den anderen waren LEDs verbrannt. Die LED-Röhre von OSRAM „starb“ durch Störimpulse, die mein Bandschleifer beim Abschalten abgab. Ich konnte sie reparieren, da „nur“ die interne 200-mA-Sicherung ausgelöst hatte. Die dimmbare LED-Kerze gab schon nach 15 Minuten auf, da ich sie an einem konventionellen Dimmer betrieben hatte. Das Vergleichsstück an einem LED-Dimmer funktioniert weiterhin.

## LED-Leuchtmittel in der Praxis Schaltungstechnik eines E27 Retrofit 10-W-Leuchtmittels



Hartwig Harm DH2MIC

März 2018

3

Am Kernstück der - an Einfachheit nicht mehr zu überbietenden Schaltung aus dem Datenblatt des IC-Herstellers - sieht man den Stromfluss beim Laden der Speicher-Induktivität (grün) und beim Entladen (rot). Hier fließen beide Ströme durch die LEDs bzw. den 3,3-µF-Siebelko. Der Eingangselko versorgt die Schaltung auch in den Ladepausen zwischen den Halbwellen der Netzspannung, die dabei aber nicht unter die Ausgangsgleichspannung von 100 Volt absinken darf. Der Pluspol der Ausgangsspannung liegt am Pluspol der Eingangsspannung.

## LED-Leuchtmittel in der Praxis Schaltungstechnik eines E27 Retrofit 10-W-Leuchtmittels

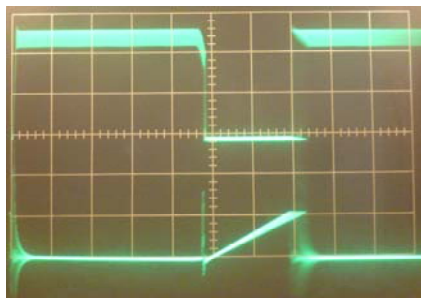


### Oszillogramme:

Drainspannung  
280..325 Volt

Zeit = 2 µs/cm

Ladestrom  
0..200 mA  
gemessen am  
3-Ohm-Widerst.



Hartwig Harm DH2MIC

März 2018

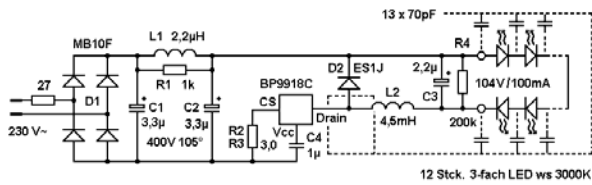
4

Im oberen Oszillogramm der gleichgerichteten Netzspannung sieht man, dass das „Entladen“ der Speicherdrossel eine konstante Dauer von 9 µs hat, während die Ladedauer mit der Eingangsgleichspannung schwankt. Der Ladestrom (unteres Oszillogramm) steigt linear von Null auf den doppelten Wert des mittleren LED-Stromes an. Zu Beginn der Ladephase entsteht ein kurzer Spike von ca. 30 ns Dauer durch das Aufladen der Eigenkapazität der Ladespule.

## LED-Leuchtmittel in der Praxis



### Schaltungstechnik eines E27 Retrofit 10-W-Leuchtmittels



LED Leuchte Segmüller E27 10W 3000K 83mA 806 Im - 07-2016-78 DH2MIC Okt. 2017  
 Hersteller/Importeur: Reality Leuchten GmbH, 69823 Arnberg, Typ A989-90, www.reality-leuchten.de

Hartwig Harm DH2MIC

März 2018

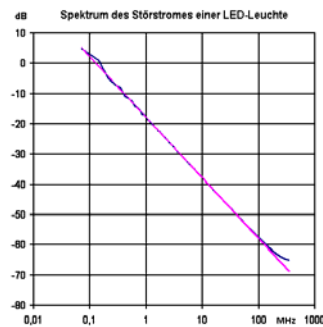
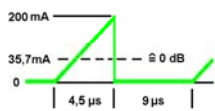
5

Die komplette Schaltung enthält einen Schutzwiderstand von 27 Ohm, der den Ladestrom von C1+C2 begrenzt, falls beim Spannungsmaximum des 50-Hz-Sinus eingeschaltet wird. Die 2,2- $\mu$ H-Drossel zwischen den beiden Elkos reduziert Störströme ins Netz. Bei hohen Frequenzen wird aus dem Tiefpass ein Hochpass: Zwischen den Serieninduktivitäten der Elkos liegt das Eigen-C der EMV-Spule. Der Aluminiumbecher dient der Wärmeabfuhr. Er umschließt die Bauteile mit hoher Impulsspannung und wird durch die Leitungskapazitäten der LEDs „geerdet“.

## LED-Leuchtmittel in der Praxis



### Spektrum des Eingangsstroms der E27-10W-LED



Hartwig Harm DH2MIC

März 2018

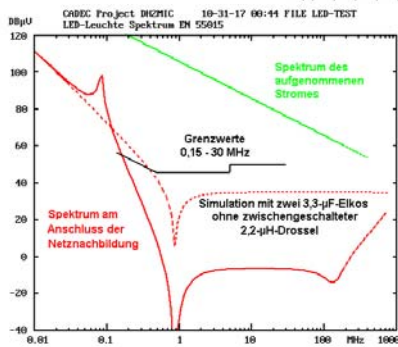
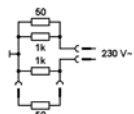
6

Das Spektrum des dreieckförmig ansteigenden Ladestromes besitzt ein mit 6 dB/Oktave abfallendes Spektrum, das bei der Simulation im Ersatzschaltbild durch eine Stromquelle mit hohem Innenwiderstand und RC-förmig abfallender EMK angenähert werden kann (rosa Kurve). Dieser erzeugt im Stromversorgungsnetz eine Störspannung, deren Höhe sowohl von der Filterung durch die Elkos und die EMV-Drossel als auch von der Impedanz des Stromversorgungsnetzes abhängig ist. Bei der Messung nach Norm beträgt diese Impedanz 2x50 Ohm.

## LED-Leuchtmittel in der Praxis



### Berechnete Störpektren der E27 - 10W Retrofit-LED-Leuchte an einer AMN-Ersatzschaltung



Hartwig Harm DH2MIC

März 2018

7

Die an der Netznachbildung (an einem der beiden in Serie liegenden 50-Ohm-Widerstände) zulässige Spannung zwischen 150 kHz und 30 MHz (schwarze Kurve) wäre ohne Elkos und EMV-Drossel überschritten (grüne Kurve). Bei der gestrichelten roten Kurve sind nur die Elkos wirksam. Den Einbruch bei 1 MHz verursacht die Serieninduktivität der Elkos. Oberhalb 1 MHz hebt diese Induktivität das Störpektrum auf einen konstanten Wert an. Mit EMV-Drossel gibt es eine Resonanz des Tiefpasses bei 80 kHz und einen steileren Abfall bis zur Resonanz der Drossel bei 140 MHz.

## LED-Leuchtmittel in der Praxis



### Eingangsstrom des E27 Retrofit 10-W-Leuchtmittels

#### Oszillogramm und Daten



Farbtemperatur = 3000 K  
 Wirkleistung = 10,8 W  
 $\cos \phi = 0,96$  (kapazitiv)  
 Leistungsfaktor = 0,36

Hz	dB	-50	-40	-30	-20	-10	0
50	0.0	*****	*****	*****	*****	*****	*****
150	-1.5	*****#	*****	*****	*****	*****	*****
250	-4.5	*****#	*****	*****	*****	*****	*****
350	-7.8	*****#	*****	*****	*****	*****	*****
450	-9.5	*****#	*****	*****	*****	*****	*****
550	-10.5	*****#	*****	*****	*****	*****	*****
650	-13.0	*****#	*****	*****	*****	*****	*****
750	-17.3	*****#	*****	*****	*****	*****	*****
850	-21.9	*****#	*****	*****	*****	*****	*****
950	-24.9	*****#	*****	*****	*****	*****	*****
1050	-29.3	*****#	*****	*****	*****	*****	*****
1150	-34.5	*****#	*****	*****	*****	*****	*****
1250	-31.7	*****#	*****	*****	*****	*****	*****
1350	-31.8	*****#	*****	*****	*****	*****	*****
1450	-36.5	*****#	*****	*****	*****	*****	*****

Hartwig Harm DH2MIC

März 2018

8

Die EN 61000-3-2 schreibt vor, dass der Stromfluss für Leuchtmittel <25 W spätestens bei 60 Grad beginnen und vor 65 Grad sein Maximum erreicht haben muss. Die 3. und 5. Harmonische dürfen höchstens das 0,86-fache bzw. das 0,51-fache der 50-Hz-Grundwelle betragen (#-Zeichen im Spektrum). Bei Leuchten ab 25 Watt gelten die mit dem #-Symbol markierten Grenzen (0,30 bzw. 0,10), was einen näherungsweise sinusförmigen Stromverlauf – wie bei einem Widerstand – erfordert. Erklärungen zum Leistungsfaktor: siehe nächste Folie.

## LED-Leuchtmittel in der Praxis



### Power Factor / Leistungsfaktor / THD / Klirrfaktor

Leistungsfaktor =  $\cos \varphi$  der LED-Beleuchtungstechnik

Klirrfaktor = Leistung der Oberwellen / Gesamtsignal

THD = Leistung der Oberwellen / Grundwellenleistung

PF = 50-Hz-Nutzleistung / Scheinleistung

Scheinleistung = Nutzleistung + Blindleistung

Blindleistung = 50-Hz-Blindleistung + ...  
... Oberwellenleistung

Hartwig Harm DH2MIC

März 2018

9

Der Leistungsfaktor (engl. Power Factor) ist aus meiner Sicht der „ $\cos-\varphi$  der LED-Beleuchtungstechnik“, denn er beschreibt das Verhältnis der Nutzleistung zur aufgenommenen Gesamtleistung. Dazu tragen bei Gleichrichterschaltungen insbesondere die Oberwellen des 50-Hz-Stromes bei.

## LED-Leuchtmittel in der Praxis



### Power Factor / Leistungsfaktor / THD / Klirrfaktor

Die **Oberwellenleistung** ist das Produkt aus der 230-Volt-Netzspannung und dem Total Harmonic Current THC, der Wurzel aus der Summe aller Oberwellenströme<sup>2</sup>

Besonders kritisch ist die 3. Harmonische (150 Hz), weil sie besonders hoch ist und sich die Ströme der durch 3 teilbaren Harmonischen im Nullleiter des Drehstromsystems summieren statt aufzuheben.

DIN EN 61000-3-2 fordert sowohl bei Lampen < 25 W als auch > 25 W die Einhaltung bestimmter Grenzwerte der Oberwellenströme und damit Leistungsfaktorkorrekturen.

Hartwig Harm DH2MIC

März 2018

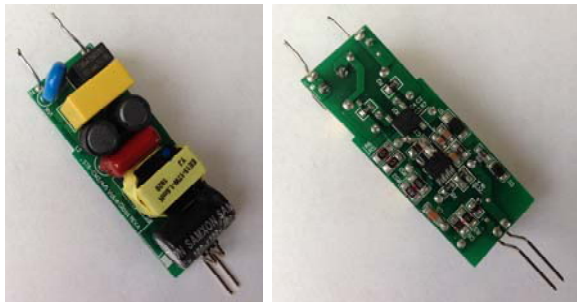
10

Erschwerend kommt hinzu, dass die EVUs ein Interesse daran haben, dass die durch 3 teilbaren Harmonischen bestimmte Grenzwerte deswegen nicht überschreiten, weil sich die Ströme dieser Oberschwingungen im Nullleiter des Drehstromsystems summieren und dieser nicht für größere Ströme ausgelegt ist.

## LED-Leuchtmittel in der Praxis



### Schaltungstechnik einer 18W-120-cm-OSRAM-LED-Röhre



Hartwig Harm DH2MIC

März 2018

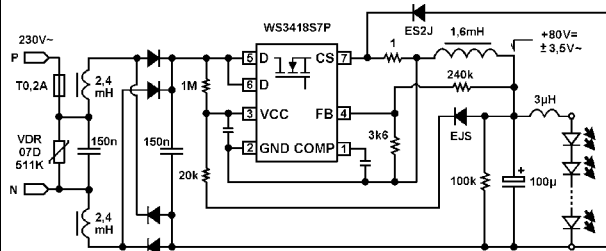
11

Die Schaltung der OSRAM LED-Röhre ist ein Beispiel für ein EVG mit nahezu sinusförmigem Stromverlauf. Der Ausgangselko (unten im Bild) muss sehr groß sein, weil der Eingangsstrom ja periodisch mit 100 Hz schwankt. Parallel zum Elko ist ein SMD-C vorgesehen, aber nicht bestückt. Der blaue VDR-Widerstand (links oben) hat die eingelötete 200-mA-Sicherung bei einer Impulsspannung von >700 Volt bei zwei LED-Röhren in meiner Werkstatt ausgelöst, ohne dass die Schaltung selbst Schaden nahm. Daher war eine Reparatur erfolgreich.

## LED-Leuchtmittel in der Praxis



### Schaltungstechnik einer 18W-120-cm-OSRAM-LED-Röhre



Hartwig Harm DH2MIC

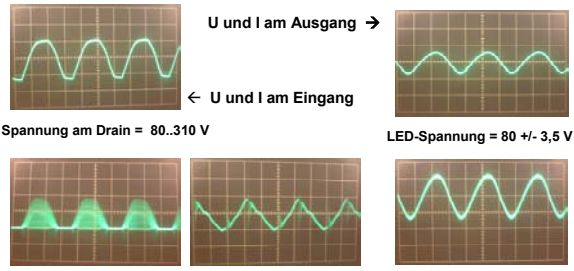
März 2018

12

Im Gegensatz zur vorigen Schaltung sind hier die Minuspole von Eingang und Ausgang miteinander verbunden. Das Eingangsfilter hat eine niedrigere Grenzfrequenz als bei der E27-„Birne“. Über den Spannungsabfall am 1-Ω-Widerstand zwischen CS und GND kann das IC den Lade- und Entladestrom überwachen. Weil der Ausgangselko oberhalb von 30 kHz hochfrequent wird (Serien-L) muss die 3-µH-SMD-Drossel hochfrequente Ströme über die LED-Kette klein halten. Sie liegt im Strombauch des möglichen Strahlers und hat im VHF-Bereich ein Z von 4 kΩ.

### LED-Leuchtmittel in der Praxis

#### Oszillogramme der 18W-120-cm-OSRAM-LED-Röhre



U und I am Ausgang →  
← U und I am Eingang

Spannung am Drain = 80..310 V  
LED-Spannung = 80 +/- 3,5 V

(3,3 ms/cm) Strom durch L (500 mA/cm) (10 µs/cm) LED-Strom = 140..260 mA


Hartwig Harm DH2MIC März 2018 13

Die gleichgerichtete Spannung am Ladekondensator (150 nF) folgt der Eingangsspannung, kann aber nicht unter die Ausgangsspannung von 80 Volt absinken (links oben). Zwischen -80 und +80 Volt fließt kein Eingangsstrom (links unten). Die Spannung am 1-Ω-Widerstand (mitte) steuert das IC. Trotz des großen Ausgangselkos von 100 µF schwankt die Gleichspannung von 80 Volt um +/- 3,5 V und der LED-Strom zwischen 140 mA und 260 mA, was zu einem Modulationsgrad der Helligkeit von 30 % führt.

### LED-Leuchtmittel in der Praxis

#### Eingangsstrom der 18W-120-cm-OSRAM-LED-Röhre

#### Oszillogramm und Daten



Hz	dB	-50	-40	-30	-20	-10	0	
50	0,0	*****						
150	-21,9	*****						# : \$ :
250	-19,9	*****						# : \$ :
350	-24,8	*****						# : \$ :
450	-26,0	*****						# : \$ :
550	-31,9	*****						# : \$ :
650	-38,5	*****						# : \$ :
750	-37,8	*****						# : \$ :
850	-39,2	*****						# : \$ :
950	-39,4	*****						# : \$ :
1050	-43,5	*****						# : \$ :
1150	-61,9	*****						# : \$ :
1250	-52,7	*****						# : \$ :
1350	-47,0	*****						# : \$ :
1450	-44,2	*****						# : \$ :

Grenzwert EN 61000-3-2: # >25 W - \$ <25 W


Farbtemperatur = 4000 K  
Wirkleistung = 23,7 W  
 $\cos \phi = 0,95$  (kapazitiv)  
Leistungsfaktor = 0,89

Hartwig Harm DH2MIC März 2018 14

Der aus dem Netz aufgenommene Strom weist einen näherungsweise sinusförmigen Verlauf auf und der Leistungsfaktor ist mit 0,89 sehr gut. Die beiden stromlosen Abschnitte sind durch den Blindstrom des 150-nF-X-Kondensators auf der Netzseite vertikal versetzt. Der X-Kondensator ist auch Bestandteil des EMV-Filters. Auch wenn die Röhre nur 18 Watt aufnimmt, sind die Forderungen der Norm für >25 W erfüllt und die Schaltung somit auch für Röhren von 150 cm und 180 cm geeignet.

### LED-Leuchtmittel in der Praxis

#### Höhere 3. Harmonische durch die Vorschalt-drossel



18W-120cm-Retrofit-LED-Röhre (Firma OSRAM) **ohne** und **mit** dem vorhandenen KVG (430 mH) (Maßstab 50 mA/cm)

Unverändert:  
 $\cos \phi$ : 0,953 (kap.) -> 0,98 (kap.)  
PF: 0,887 -> 0,894

Erhöht:  
THD: 2,4 % -> 7,5 %  
3. Harmonische: -22 dB -> -17 dB bei Sollwert < -11 dB


**Aber: es unterdrückt externe Spikes!**

Hartwig Harm DH2MIC März 2018 15

Weil ich bei meinem Umbau auf LED die bisherige Vorschalt-drossel der Leuchtstoffröhre entfernt hatte, konnten die Spikes meines Bandschleifers ungehindert die VDR-Schutzschaltung erreichen. Mit Vorschalt-drossel passiert das nicht mehr und auch die hochfrequenten Stromreste des Eingangstromes sind verschwunden. Dafür steigt die 3. Harmonische um 5 dB an, liegt aber immer noch weit unterhalb des Grenzwertes. Mein Rat: Drossel beim Umbau nicht entfernen!

### LED-Leuchtmittel in der Praxis

#### Leistungsfaktorverbesserung durch Vorschalt-drossel



10W-60cm-Retrofit-LED-Röhre (Firma V-TAC) **ohne** und **mit** dem vorhandenen KVG (660 mH) (Maßstab 50 mA/cm)

Das KVG **reduziert** die **Oberwellen** sowie die **Reste der Schaltfrequenz**

$\cos \phi$ : 0,85 (kap.) -> 0,97 (kap.)  
THD: 134 % -> 37 %  
3. Harmonische: -2,1 dB -> -5,3 dB  
PF: 0,29 -> 0,69 !!!

Und es unterdrückt externe Spikes!

Hartwig Harm DH2MIC März 2018 16

Auch bei dieser 60-cm-LED-Röhre mit einem hohen Gehalt an Oberwellen im gepulsten Eingangstrom wirkt die Drossel wahre Wunder: Der Leistungsfaktor verbessert sich von 0,29 auf 0,69 und die 150 Hz sinken von -2,1 dB auf -5,3 dB bei Verbesserung des THD (total harmonic distortion) von 134% auf nur noch 37%. Also auch hier: Drossel nicht entfernen! Dass die im Oszillogramm des Eingangstromes deutlich sichtbaren „Reste“ der gepulsten Ströme auch unterdrückt werden, ist ein angenehmer Nebeneffekt.

### LED-Leuchtmittel in der Praxis

Schaltung einer dimmbaren 5,5-W-Retrofit-LED-Leuchte

LED-Kerze E14 dimmbar  
iGlow 5,5W 38mA 2700K  
220-240V 50Hz 470 lm

Müller-Licht International GmbH, 28865 Lilienthal, Goebelstr. 61/63

Febr. 2018 - DH2MIC

Hartwig Harm DH2MIC März 2018 17

Bei der dimmbaren LED-Kerze liegt der Minuspol der Ausgangsspannung am Pluspol der (pulsierenden) Eingangsspannung, so dass hier ein Step-up-Wandler vorliegt. Nur die Entladeströme der Ladespule fließen in die LEDs und es gibt keine Rückkopplung von der Ausgangsspannung zum Regel-IC. Das IC kann also am Pin 2 messen, wann vom Dimmer Spannung anliegt und in dieser Zeit einen möglichst konstanten Strom aus dem Netz aufnehmen. Die veränderliche Puls-Dauer-Modulation des LED-Lichtes mit 100 Hz nimmt das Auge nicht wahr.

### LED-Leuchtmittel in der Praxis

Eingangsstrom der dimmbaren 5,5-W-Retrofit-LED-Leuchte

Hz	dB	-50	-40	-30	-20	-10	0
50	0.0	*****					
150	-7.2	*****	§				
250	-12.2	*****					
350	-19.0	*****					
450	-17.3	*****					
550	-25.6	*****					
650	-23.6	*****					
750	-23.3	*****					
850	-27.4	*****					
950	-22.8	*****					
1050	-31.9	*****					
1150	-26.2	*****					
1250	-33.0	*****					
1350	-31.0	*****					
1450	-33.8	*****					

Farbtemperatur = 2700 K  
Wirkleistung = 5,9 W  
cos φ = 0,99 (kapazitiv)  
Leistungsfaktor = 0,75  
THD = 31%

Grenzwert EN 61000-3-2 : # >25 W - § <25 W

Hartwig Harm DH2MIC März 2018 18

Der Eingangsstrom ist während jeder Halbwelle fast konstant und wirkt quasi entlastend für die sonst übliche hohe Stromaufnahme während der Spitze des Sinus. Leistungsfaktor und Oberwellen erfüllen die Forderungen der Norm mit großer Sicherheit. Oberwellenreste sind kaum sichtbar, was dem Eingangsfilter aus 4,7µH, 33nH und 100 nH (siehe voriges Bild) zu verdanken ist. Das keramische SMD-IC nach dem Gleichrichter dämpft Frequenzen oberhalb des Kurzwellenbereiches.

### LED-Leuchtmittel in der Praxis

„BUSCH- JÄGER“ R,L,C-Dimmer für LED-Leuchtmittel

Phasen-Anschnitt (oben) und Phasen-Abschnitt (unten) in 6 Einstellungen zwischen Maximum (links) und Minimum (rechts).

Vorteil der Phasen-Abschnittsteuerung: Kein hartes Einschalten sondern Einschalten im Nulldurchgang und störungsarmes weiches Abschalten – allerdings mit Verlusten im Dimmer!

Hartwig Harm DH2MIC März 2018 19

Der untersuchte LED-Dimmer lässt sich von der bisher üblichen Phasenanschnitt-Steuerung auf die für viele (?) dimmbare LED-Leuchtmittel günstigere Phasenabschnitt-Steuerung mit gesteuerten Feldeffekttransistoren umschalten. Der sanfte Spannungsabfall beim Öffnen der FETs hat Verluste im Dimmer zur Folge. Im Phasenanschnittbetrieb haben die steilen Anstiege bei hoher Eingangsspannung eines meiner beiden Muster schon nach wenigen Minuten gekillt! Bei 100 Impulsen/sek. sind die zulässigen 20000 Einschaltvorgänge schnell erreicht.

### LED-Leuchtmittel in der Praxis

„BUSCH- JÄGER“ LED-Dimmer & dimmbare LED-Leuchte

Bei Phasenanschnittsteuerung treten im Strom sehr hohe Spitzen auf, so dass die LED-Kerze sehr schnell sk machte !

max.                      halb                      min.

Der Stromverlauf bei Phasenabschnittsdimmung folgt exakt dem Verlauf ohne Dimmung bei verkürztem Stromflusswinkel.

Die maximale Helligkeit ohne Dimmer wird aber nicht erreicht

Hartwig Harm DH2MIC März 2018 20

Hier sieht man, dass die Elektronik erkennt, wann die Spannung einsetzt und dann für die Dauer der anliegenden Netzspannung einen nahezu konstanten Strom aufnimmt. Messungen mit Phasenanschnitt habe ich nicht mehr gemacht, nachdem ja eines meiner beiden Exemplare dabei den Geist aufgegeben hatte.

## LED-Leuchtmittel in der Praxis Schaltungstechnik von 3 Beispielen



	10-W-Birne	18-W-Röhre	5,5-W-Kerze
Wandler	step-down	step-down	step-up
DC-Lage	+out an +in	- out an -in	- out an +in
U-DC	100 V	80 V	120 V
Power Factor	0,36	0,9	0,75
Eingangs-Filter	ja	ja	ja
Ausgangs-Filter	nein	ja	nein
EMV >30MHz	unbekannt	ok	unbekannt
Vertrieb	RL	OSRAM	Müller

Hartwig Harm DH2MIC

März 2018

21

Die Zusammenstellung einiger Eigenschaften der drei untersuchten Schaltungen kann nur sehr unvollständig sein. Wichtigste Erkenntnis:

- für die Störströme, die mit einer Netznachbildung gemessen werden, ist immer der dreieckförmig gepulste Strom am Netzeingang verantwortlich.
- Die hohe Schaltspannung am Schalttransistor des Spannungswandlers erscheint mir eher harmlos.
- Bei abgesetzten LEDs muss auch am Ausgang des Wandlers ein Tiefpass-Filter vorhanden sein.

## LED-Leuchtmittel in der Praxis



### Störpotential von LED-Leuchten und -Leuchtmitteln

Hochfrequenzenergie kann eine Leuchte oder eine Kombination aus SMPS (switch mode power supply) und LED-Lichtquelle auf zwei Arten verlassen:

- Über das Lichtnetz (geführte Störenergieübertragung) oder
- über Abstrahlung durch leitende Strukturen

**Abhilfen:** Netzfilter gegen symmetrische Netz-Störungen und Gleichtaktfilter beiderseits der Störquelle gegen Abstrahlung

Retrofit LED-Leuchtmittel können wegen des fehlenden Dipols fast keine Abstrahlung haben. Gefährlich sind LED-Leuchten mit eingebautem - aber abgesetztem - EVG: 230 V und 12 V

Hartwig Harm DH2MIC

März 2018

22

Jeder Wandler gibt symmetrische Störströme an das Lichtnetz ab, wenn diese nicht am Ort des Entstehens abgefiltert werden. Zur Abstrahlung von Hochfrequenz kann es durch unsymmetrische Ströme kommen, wenn außer der Netzleitung noch eine zweiter Dipol-Ast vorhanden ist. Das ist immer der Fall, wenn die LEDs und der Wandler keine körperliche Einheit bilden.

## LED-Leuchtmittel in der Praxis



### Entstörung von LED-Leuchten (Quelle: Trilux GmbH)



**Mantelwellensperre** gegen Gleichtaktstörungen durch **Abstrahlung** → bei Abstand zwischen EVG und LEDs von 1,6 m bis max. 2,0 Metern



Unterdrückung von **Leitungsgebundenen Störungen** durch **Spulen** in einer oder beiden **Zuleitungen** → gegen Ströme auf den Netzleitungen

Hartwig Harm DH2MIC

März 2018

23

Die Hersteller wissen um das Problem der Abstrahlung. Die beiden Beispiele stammen von einem deutschen Lampen- oder Leuchten-Hersteller, denn bei den modernen LED-Leuchten mit fest eingebauten LEDs ist fast immer ein Abstand zwischen Lichtquelle und Stromwandler vorhanden. Die Angabe dass der Abstand 1,6 Meter nicht übersteigen soll, aber keinesfalls über 2 Meter liegen darf, zeigt, welchen Respekt die Hersteller vor den vielen „Hobbyfunkern“ und „ewigen Störenfriedern“ haben. 2,5 Meter wären schließlich  $\lambda/4$  im 10-Meter-Bereich.

## LED-Leuchtmittel in der Praxis EMV-Messmittel nach DIN EN 55015 und DIN EN 55016-1-2 und DIN EN 55016-1-4



- **Messempfänger** oder **Spektrumanalysator**
- **Netznachbildung / AMN (Artificial Mains Network)**  
→ irreführender Begriff, denn es handelt sich nur um eine **Frequenzweiche** zur Auskopplung der **leitungsgeführten** Störenergie an den Messempfänger bei gleichzeitiger Unterdrückung von Störungen aus dem Netz

- **Messschleife** zum definierten Empfang **abgestrahlter** Störenergie und Messung mit dem Messempfänger

- **Trenntrafo** verhindert hohe Ableitungsströme und erhöht die eigene Sicherheit

Hartwig Harm DH2MIC

März 2018

24

Zwei weitere Normen beschreiben die zur Messung erforderlichen Messempfänger und die zur Auskopplung der Störungen dienende Netznachbildung im Bereich 150 kHz bis 30 MHz. Zur Messung von Abstrahlungen im gleichen Frequenzbereich dient eine aufwändige Messschleife. Nicht nur aus Sicherheitserwägungen ist ein Trenntrafo bei der Messung unverzichtbar. Orientierende „Messungen“ ermöglicht ein tragbares AM-Radio (150 kHz bis 30 MHz) sowie ein batteriebetriebenes UKW/DAB+ Radio mit Anzeige von RF-Pegel und Fehlerrate.

### LED-Leuchtmittel in der Praxis

#### 50-Ohm-Netznachbildung aus EN 55015

Hartwig Harm DH2MIC März 2018 25

Dies ist das Schaltbild der Netznachbildung mit den Bauteilwerten für die Messung von Leuchtmitteln und Leuchten aus der Norm EN 55015. Der linke Teil unterdrückt Störungen aus dem Lichtnetz, wobei die 50-µH-Drosseln keine Eigenresonanzen haben dürfen. Der Auskoppelpfad läuft über zwei 0,25 µF Kondensatoren auf je 50 Ohm gegen einen künstlichen Mittelpunkt. Problematisch sind die hohen Ableitströme des Tiefpasssteiles, die jeden Fehlerstromschalter ansprechen lassen und einen Trenntrafo zwingend erforderlich machen.

### LED-Leuchtmittel in der Praxis

#### Professionelle Netznachbildung

##### HF - Teil R.F. Section

Hartwig Harm DH2MIC März 2018 26

Alle Bauteile aus der Norm findet man auch in diesem Schaltbild einer käuflichen Netznachbildung wieder. Der Hersteller ist mir unbekannt. Am Anschluss für den Messempfänger sind zusätzliche Schutzmaßnahmen erkennbar, damit eventuelle Überspannungen den Empfänger keinesfalls beschädigen. Es wird immer wieder darauf hingewiesen, den Empfänger erst dann anzuschließen, wenn der Prüfling bereits eingeschaltet ist.

### LED-Leuchtmittel in der Praxis

#### Netznachbildung zum Selbstbau nach FA 02/2018 S.135

Hartwig Harm DH2MIC März 2018 27

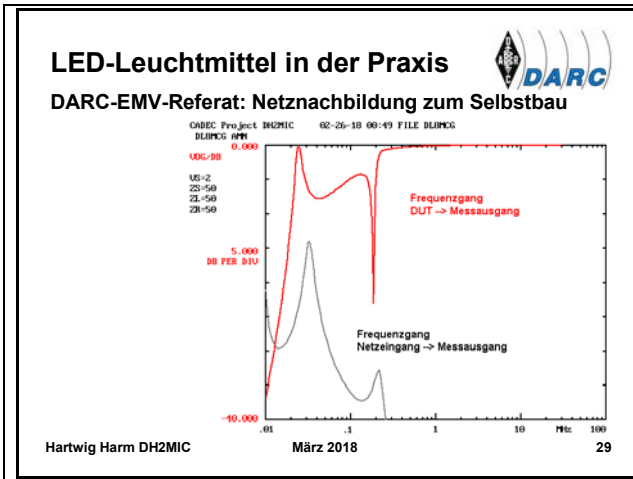
Diese Netznachbildung erschien gerade im Februarheft des FUNKMATEUR. Die Abweichungen von den vorgeschriebenen Bauelementewerten betreffen einerseits den Tiefpasssteil, was aber unkritisch ist, wenn das eigene Stromnetz genügend störrarm ist. Außerdem ist ja noch ein käufliches Filter vorgeschaltet. Der Koppelkondensator zum Messzweig fällt mit 0,1 µF etwas kleiner aus. Das reicht aber für unsere Genauigkeitsanforderungen vollkommen aus.

### LED-Leuchtmittel in der Praxis

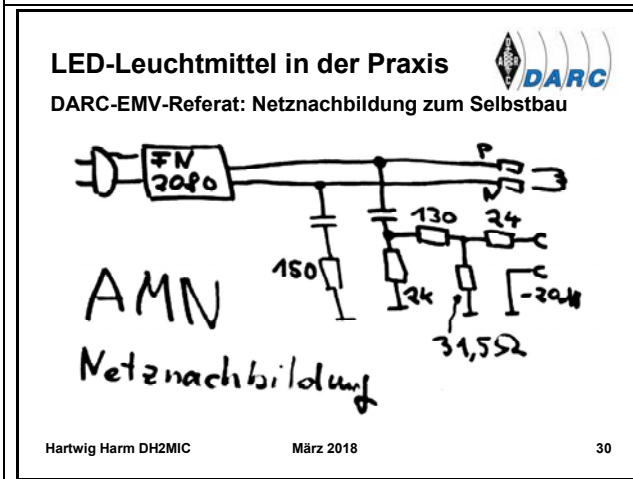
#### DARC-EMV-Referat: Netznachbildung zum Selbstbau

Hartwig Harm DH2MIC März 2018 28

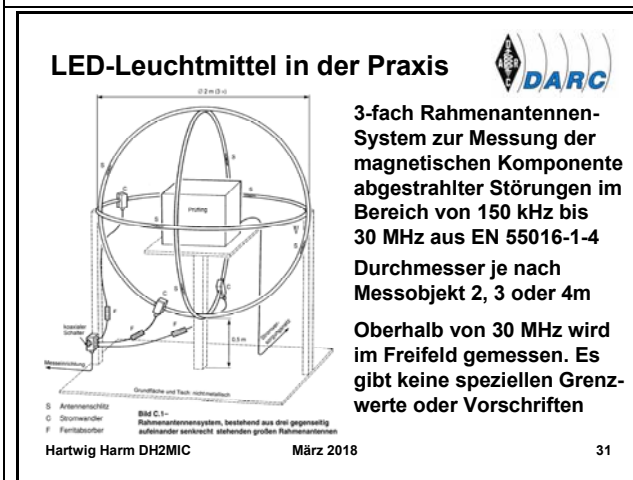
Diese Selbstbau-Netznachbildung hat DL8MCG auf der Seite des DARC-EMV-Referates bereit gestellt. Sie verwendet nur ein einfaches käufliches Netzfilter und vermeidet daher die hohen Ableitströme nach Norm. Da auch der Hochpasssteil mit deutlich abweichender Dimensionierung arbeitet, ist dieses AMN nur für orientierende Messungen geeignet. Das ist aber auch völlig ausreichend, wenn es nur darum geht festzustellen, ob ein „strahlender“ Prüfling mit Erfolgsaussicht bei der BnetA zur Anzeige gebracht werden kann.




Die berechneten Übertragungsfunktionen der DL8MCG-AMN zeigen, dass diese Lösung im Amateurfunkbereich ab 1 MHz erfolgreich eingesetzt werden kann. Dass die Unterdrückung des Tiefpasses unterhalb von 1 MHz nicht berauschend ist, lässt sich verschmerzen, weil man eventuelle Störungen aus dem Stromnetz durch orientierende Messungen ohne Prüfling vor der eigentlichen Beurteilung ausschließen kann.



Was mich bei der Vorbereitung meiner Berechnungen der ersten Schaltung völlig „aus der Bahn“ geworfen hat, ist diese 150-Ω-Netznachbildung. Thilo Kootz DL9KCE stellt sie in einer 6-teiligen Videoserie im Rahmen von Messungen an LED-Leuchtmitteln auf der DARC Homepage vor. Es gibt zwar in der Norm auch eine 150-Ω-AMN, aber für Messungen an Leuchten und Leuchtmitteln ist ausschließlich die 50-Ω-50-μH-5-Ω-Version vorgeschrieben. Das fand ich erst heraus, als ich die Normen im Rahmen einer Recherche beim Deutschen Patentamt eingesehen habe.



Abstrahlungen eines Prüflings im Frequenzbereich 150 kHz bis 30 MHz werden mit diesem 3-fach Rahmenantennensystem ermittelt, das in der Norm auf 9 Seiten in allen Einzelheiten dokumentiert ist. Es ist aber nur in diesem Frequenzbereich einsetzbar. Oberhalb von 30 MHz muss im Freifeld gemessen werden, was aber bei Leuchten und Leuchtmitteln nicht passiert, denn für diese Produkte gibt es in der DIN EN 55015 gar keine Anforderungen! Angeblich (Quelle BR und EBU) ist dazu eine Änderung in Arbeit. Aber bis wann?

**LED-Leuchtmittel in der Praxis** 

**Vielen Dank für Eure Aufmerksamkeit**

... und falls es noch Fragen gibt:  
Jetzt ist der richtige Zeitpunkt ...  
auch wenn meine Zeit vermutlich schon um ist ?!

Hartwig Harm DH2MIC März 2018 32

Bis dahin werden wir unter zunehmenden Störungen zu leiden haben. Es kommt mir vor wie bei den Herzschrittmachern: erst als es eine Norm gab, konnten die Grenzwerte fallen.



IEC DIN EN 55015 (VDE 0875-15-1) - (IEC/CISPR 15)  
Grenzwerte und Messverfahren für Funkstörungen von elektrischen  
Beleuchtungseinrichtungen und ähnlichen Elektrogeräten

IEC DIN EN 55016-1-1 (VDE 0876-16-1-1) - (CISPR 16-1-1)  
Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der  
Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung  
(Funkstörungen) und Störfestigkeit –  
Teil 1-1: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten  
Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Messgeräte

IEC DIN EN 55016-1-2 (VDE 0876-16-1-2) - (CISPR 16-1-2)  
Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der  
Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung  
(Funkstörungen) und Störfestigkeit -  
Teil 1-2: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten  
Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit -  
Zusatz-/Hilfseinrichtungen - Leitungsgeführte Störaussendung

IEC DIN EN 55016-1-4 (VDE 0876-16-1-4) – (CISPR 16-1-4)  
Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der  
Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung  
(Funkstörungen) und Störfestigkeit –  
Teil 1-4: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten  
Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit –  
Zusatz-/Hilfseinrichtungen – Gestrahlte Störaussendung

IEC DIN EN 61000-2-2 (VDE 0839-2-2)  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)  
Teil 2-2: Umgebungsbedingungen – Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungs-  
geführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen

IEC DIN EN 61000-3-2 (VDE 0838-2)  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)  
Teil 3-2: Grenzwerte – Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Geräte-Eingangs-  
strom  $\leq 16$  A je Leiter)

IEC DIN EN 61000-4-7 (VDE 0847-4-7)  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)  
Teil 4-7: Prüf- und Messverfahren – Allgemeiner Leitfadens für Verfahren und  
Geräte zur Messung von Oberschwingungen und Zwischenharmonischen in  
Stromversorgungsnetzen und angeschlossenen Geräten

## **Literatur**

[1] DARC EMV-Referat: „Unsichtbare Umweltverschmutzung scheint kein Thema“,  
[https://www.darc.de/fileadmin/filemounts/gs/oeffentlichkeitsarbeit/Pressemitteilungen/170907\\_PM\\_EMV.doc](https://www.darc.de/fileadmin/filemounts/gs/oeffentlichkeitsarbeit/Pressemitteilungen/170907_PM_EMV.doc)

[2] Anleitung zur Meldung von Funkstörungen an BNetzA und DARC  
<https://www.darc.de/der-club/referate/emv/emv-abhilfemassnahmen/#c155539>

[3] Funkstörungsmeldung von DM5HR Rainer Herzog, bei Sparkasse Markt am Inn (12-Volt-LED-  
Leuchtmittel)  
<https://www.darc.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=298095&token=06d674bb45778f583e4b706ffb6ea38476095391>

[4] DARC-EMV-Referat: LED Leuchtmittel: Messergebnisse, Literatur / Vorträge / Videos  
<https://www.darc.de/der-club/referate/emv/konformitaetsmessungen/#c201092>

[5] Eine sehr übersichtliche Darstellung der Norm EN 55015  
<https://www.trilux.com/de/beleuchtungspraxis/beleuchtungstechnik/leuchten/elektromagnetische-sicherheit/en-55015/>

[6] Thilo Kootz DL9KCE, youtube Video LED Leuchtmittel (3) Messaufbau (aus [4]): AMN mit 2 x 150 Ohm in Serie, weil das Netz (angeblich) einen Wellenwiderstand von 150 Ohm hat? hw? Das Z müsste dann ja wohl 300 Ohm betragen!  
<https://m.youtube.com/watch?v=a0rXhMcmD54>

[7] Selbstbau AMN von Hans Schlecht, DL8MCG (2x 50-Ohm-AMN)  
<https://www.darc.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=293052&token=091d9cbac960964540258e84d0b853630a6852cc>

[8a] Rohde&Schwarz, Drehstrom Netznachbildung, ENV432, Kurzanleitung  
[https://www.rohde-schwarz.com/de/produkt/env432-produkt-startseite\\_63493-77637.html?rusprivacypolicy=0](https://www.rohde-schwarz.com/de/produkt/env432-produkt-startseite_63493-77637.html?rusprivacypolicy=0)

[8b] ENV432 Bedienungsanleitung  
[https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_manuels/gb\\_1/e/env432\\_1/ENV432\\_UserManual\\_de\\_02.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuels/gb_1/e/env432_1/ENV432_UserManual_de_02.pdf)

[9] LED-Lampen: Zu Risiken und Nebenwirkungen fragen Sie besser nicht. Von Christoph Jehle. Das politisch gewünschte digitale Radio DAB+ verträgt sich nicht mit vielen LED-Lampen und anderen Stromverbrauchern im Haushalt (April 2017)  
<https://www.heise.de/tp/features/LED-Lampen-Zu-Risiken-und-Nebenwirkungen-fragen-Sie-besser-nicht-3672830.html?seite=all>

[10] BR, Störungen durch LED Leuchtmittel  
<http://www.br.de/unternehmen/inhalt/technik/emv-normung-led-leuchtmittel-100.html>  
Darin wird behauptet, dass Elektronische Trafos für 12-Volt-Halogenlampen bei Belastung mit 12-Volt-LED-Leuchtmitteln Störstrahlung produzieren, die mit Halogenlampen nicht auftritt.

[11] European Broadcasting Union, EBU, Electromagnetic Interference and Compatibility  
<https://tech.ebu.ch/groups/eic>

[12] EBU-Video: LED Interference  
<https://tech.ebu.ch/LEDinterference>

[13] EBU Technology Fact Sheet, LED Lighting Interference - Good Installation Practice for Professionals (Stand: 2014)  
[https://tech.ebu.ch/docs/factsheets/ebu\\_tech\\_fs\\_ledinterference.pdf](https://tech.ebu.ch/docs/factsheets/ebu_tech_fs_ledinterference.pdf)

[14] Elektromagnetische Sicherheit  
<https://www.trilux.com/de/beleuchtungspraxis/leuchten/elektromagnetische-sicherheit/>

[15] Die Besonderheiten von elektronischen Halogentrafos: Hochfrequente Abstrahlungen nicht ausgeschlossen  
<http://www.licht-light.de/Tips/Elektronische-Trafos>

[16] Hartwig Harm, DH2MIC, Transmission Line Calculator -Wellenwiderstand, Induktivitäts- und Kapazitätsbelag ungewöhnlicher Strukturen  
<http://dh2mic.darc.de/tlc/tlc.htm>

## Datenblätter

[17] Bright Power Semiconductor, BP9918C Datenblatt und Applikationsschrift  
[http://www.bpsemi.com/en/product\\_result1.php?id=126](http://www.bpsemi.com/en/product_result1.php?id=126)

[18] Datenblatt WS3418S7P, Winsemi Microelectronics Co. Ltd.  
[http://www.winsemi.com/en/upload/20160322030052\\_2023.pdf](http://www.winsemi.com/en/upload/20160322030052_2023.pdf)

[19] Pollin Elektronik, 10W 60cm LED-Röhre von V-TAC  
<https://www.pollin.de/p/led-roehre-vt-6085-high-lumen-eek-a-10-w-1200-lm-g13-3000-k-60-cm-534834>

[20] V-TAC LED Röhre T8 10W - 60 cm - Nano Kunststoff - Nicht Drehbar - Natürlich Weiß 4000K - VT-6085  
<https://v-tac.at/led-beleuchtung/beleuchtung2/led-röhren-t8/8-led-roehren-60cm/led-roehre-t8-10w---60-cm-nano-kunststoff-nicht-drehend-4000k-detail.html>

[21] Datenblatt der OSRAM 120cm LED-Röhre bei led.de  
<https://www.led.de/led-roehren/led-roehren-t8-kvg-mit-starter/120-cm-led-roehren-t8-kvg-mit-starter/osram-led-roehre-st8v-em-19-w/840-1200-mm-em-ersatz-fuer-36-watt-neutral-weiss>

## Power Factor Control

[22] LED-Netzteil 17W mit PFC, Datenblatt  
<https://www.led-konzept.de/mediafiles//Datasheets/PLD-16-spec.pdf>

[23] Schaltungspraxis – LED-Treiber: PFC-Sperrwandler versorgt LEDs  
<http://www.elektroniknet.de/elektronik/power/pfc-sperrwandler-versorgt-leds-139814.html>

[24] 200W Natural Interleaving Transition-Mode PFC Flyback LED Driver Reference Design  
<http://www.ti.com/tool/PMP10116>

[25] Wikipedia: Leistungsfaktorkorrektur ab 75 Watt nötig seit 2001, alle durch 3 teilbaren Harmonischen erzeugen einen Sternpunktstrom  
<https://de.m.wikipedia.org/wiki/Leistungsfaktorkorrekturfilter>

[26] Dipl. Ing. Jörg Rehrmann: Web-Buch, Passive und aktive Netzfilter / Leistungskorrekturfilter  
[http://www.joretronik.de/Web\\_NT\\_Buch/Kap12/Kapitel12.html](http://www.joretronik.de/Web_NT_Buch/Kap12/Kapitel12.html)

## Dimmen von LED-Leuchtmitteln

[27] US Department of Energy, 63 Folien zum Thema: LED-Dimming: What you need to know  
[https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/dimming\\_webcast\\_12-10-2012.pdf](https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/dimming_webcast_12-10-2012.pdf)

[28] Wir sind heller: Grundlagen von Dimmverfahren  
<https://www.wirsindheller.de/Dimmen-von-LEDs-Grundlagen-der-Dimmverfahren.91.0.html>

[29] Silergy Corp. SSSL5301T Dimmable LED driver IC Datasheet, Application Note, EMC tutorial, Design Rules, Standards in US and EU  
<http://www.silergy.com/productsview/SSL5301T>

[30] Texas Instruments: Application Note on LED Light Dimmig Technology using LM3406 and LM3409  
<http://www.ti.com/lit/an/snva605/snva605.pdf>

[31] Dimmer Schalter - Alle Infos zum Thema Lichtdimmer  
<http://www.dimmer-schalter.com>

[32] Verschiedene Arten von Dimmern und deren Einsatz  
<https://dein-elektriker-info.de/lichtdimmer/>

[33] Fa. Kopp: Unterschiede der verschiedenen Dimmer  
<https://www.kopp.eu/de/service/praktische-tipps/informationen-zu-dimmern-und-der-last-kennzeichnung>

[34] ZVEI-Schrift zum Dimmen von LED-Leuchtmitteln  
[http://www.licht.de/fileadmin/Publikationen\\_Downloads/ZVEI-Schriften/1410\\_ZVEI\\_Schrift\\_LED\\_Dimmen.pdf](http://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/ZVEI-Schriften/1410_ZVEI_Schrift_LED_Dimmen.pdf)

### **Begleitinformationen zum Dimmen von Gruppen**

[35] Grafik Phasenabschnittsteuerung  
[https://de.m.wikipedia.org/wiki/Phasenabschnittsteuerung#/media/Datei:3APhasenabschnitt\\_Beispiel.svg](https://de.m.wikipedia.org/wiki/Phasenabschnittsteuerung#/media/Datei:3APhasenabschnitt_Beispiel.svg)

[36] DLT - Digital Light Transformation (IEC 62756-1:2015 Digital load side transmission lighting control (DLT) - Part 1: Basic requirements  
[http://www.enlight-project.eu/user/files/insta\\_ledotron-article\\_25\\_09\\_2013.pdf](http://www.enlight-project.eu/user/files/insta_ledotron-article_25_09_2013.pdf)

[37] DALI - Digital Addressable Lighting Interface (IEC 62386 and IEC 60929) Zweidraht Kontroll-Standard, erdfrei mit Pegeln von -4,5 bis +4,5 V (Low) bis 16 +/- 6,5 V (high)  
[https://en.m.wikipedia.org/wiki/Digital\\_Addressable\\_Lighting\\_Interface](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Digital_Addressable_Lighting_Interface)

[38] DALI-2 - What does it mean to you  
<https://www.helvar.com/en/news/dali-2-what-does-it-mean-you/>

[39] Digital Illumination Interface Alliance (DIIA)  
<http://www.dali-ag.org/>

[40] 1-10V Lighting Control -> zunehmend ersetzt durch DSI -> DALI -> DALI-2  
[https://en.m.wikipedia.org/wiki/0-10\\_V\\_lighting\\_control](https://en.m.wikipedia.org/wiki/0-10_V_lighting_control)

[41] Electrical Ballast: Gerät zwischen Power und Lichtquelle  
[https://en.m.wikipedia.org/wiki/Electrical\\_ballast](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Electrical_ballast)