

LED-Treiber in der praktischen Anwendung

Anforderungen und Verhalten

Dietmar Klien
TRIDONIC

20.06.2016, Graz

Der LED-Treiber im Gesamtsystem

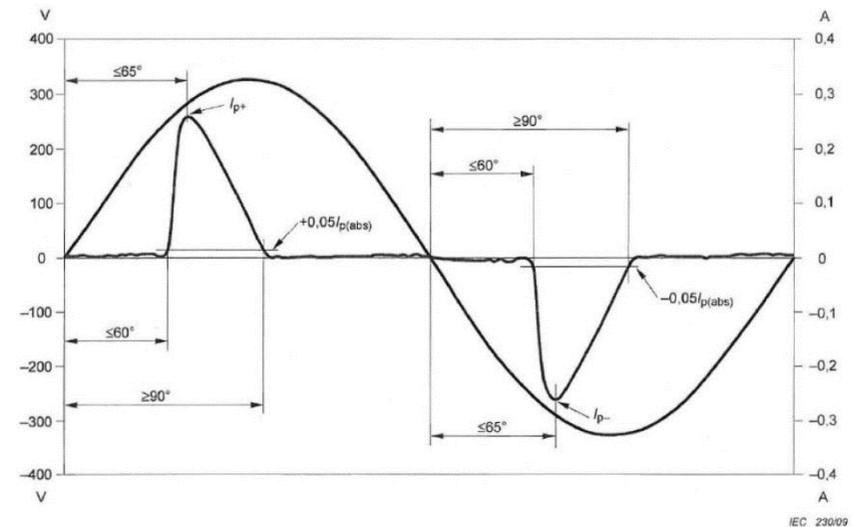
Herausforderungen bezüglich robustem Betrieb

- ▶ Versorgungsnetz
 - ▶ Leistungsfaktor und Oberwellen
 - ▶ Spannungsspitzen
 - ▶ Ableitstrom
 - ▶ Inrush-current
- ▶ LED-Modul
 - ▶ LED Inrush-current beim “Hot-Plug” (Anschließen des LED-Moduls im Betrieb)
- ▶ LED-Treiber
 - ▶ Flickerfreier Lichtoutput
 - ▶ Lebensdauer und Zuverlässigkeit
- ▶ Leuchte
 - ▶ Geräusche
 - ▶ “Glimmen” im Standby oder bei Netz-aus
 - ▶ Funkstörungen (9kHz – 300MHz)

Leistungsfaktor (cosPhi) und Oberwellen

- ▶ Bei kleinen Eingangsleistung (<25W) gelten recht „entspannte“ Grenzwerte, angelehnt an die Energiesparlampen:

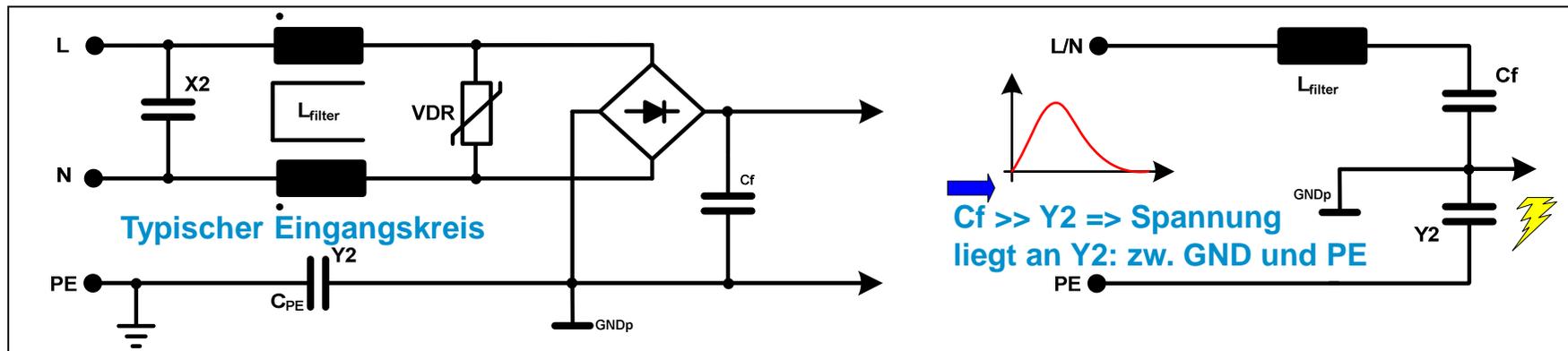
- ▶ Normalerweise wird der Netzstrom durch ein elektronisches Oberwellenfilter (PowerFactorCorrection = PFC) auf $\cos\Phi > 0.95$ und Oberwellen (Total Harmonic Distortion = THD) auf $< 10\%$ verbessert.



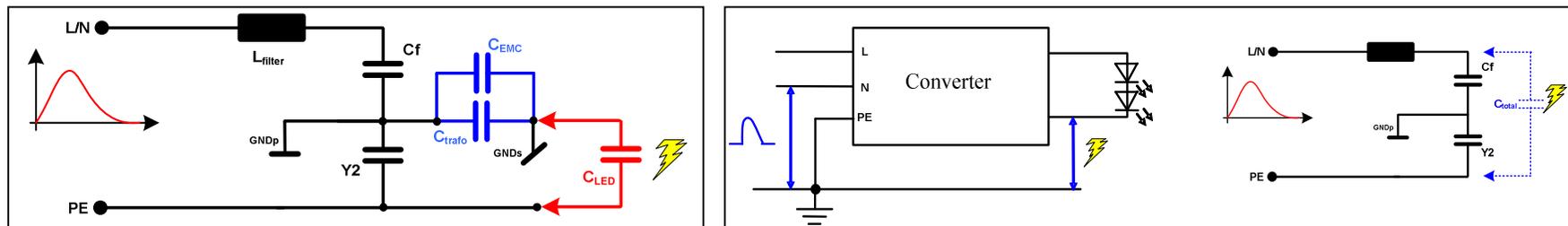
- ▶ Durch die X-Kondensatoren im Funkentstörfilter liegt die kapazitive Blindleistung eines typischen 50W LED-Treibers mit einem $\cos\Phi > 0.98$ bei 6Var – 9Var.
- ▶ Diese bleibt über den Dimmbereich konstant => der $\cos\Phi$ verschlechtert sich beim Dimmen. Dieses Verhalten ist identisch zu den EVGs bei Leuchtstofflampen.

Spannungserhöhung bei Surge (energiereiche, langsame Transienten)

- ▶ Der Serienschwingkreis aus Funkentstördrossel und Y-Kondensator erzeugt durch Oszillation eine Spannungserhöhung bei Anregung im zig-kHz Bereich (1.2/50-er Welle).
- ▶ EN61547 fordert zwischen N/L und PE 2kVpk, durch Spannungsverdopplung entstehen aber bis zu 4kVpk zwischen LED-Modul und geerdetem Leuchtengehäuse!



Über parasitäre- und EMI-Kondensatoren wird die Spitze von der Primärseite auf die LED-Seite übertragen.

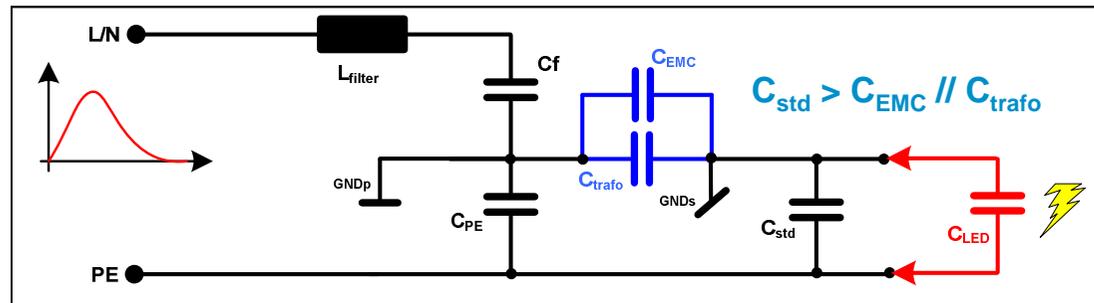
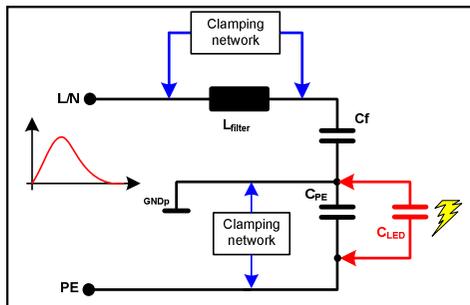


Überschläge vom LED-Modul auf PE können die LED zerstören sind für den Treiber aber weniger kritisch.

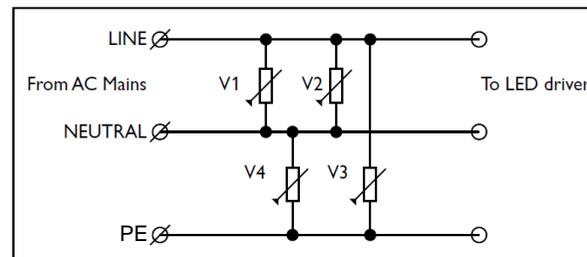
Externe und interne Maßnahmen vermeiden zu hohe Spannungen zwischen LED-Modul und Schutz Erde

▶ Maßnahmen im LED-Konverter:

- ▶ Dämpfung direkt an der Funkentstördrossel reduziert Spannung direkt „an der Quelle“
- ▶ Kapazitiver Spannungsteiler durch Erhöhung der Kapazität zwischen LED-Modul und Schutz Erde (funktioniert nur bei isolierten LED-Treibern).



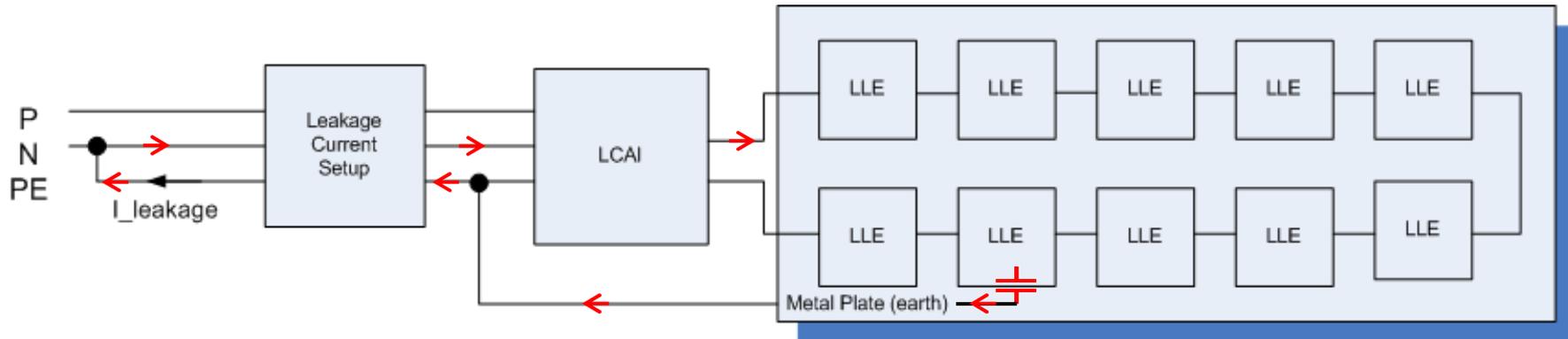
▶ Externe Maßnahme:



- ▶ Eine Entstörung im LED-Treiber durch Spannungscamping auf der Sekundärseite macht keinen Sinn, da dann die HV-Prüfung (Ausgänge auf PE) nicht bestanden werden kann.

Ableitstrom

- ▶ Abhängig vom LED-Modul kann der Ableitstrom der Leuchte hohe Werte annehmen.



$$\epsilon_0 = 8.854187 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$$

$$\epsilon_r = 6 \text{ (ceramic + epoxid)}$$

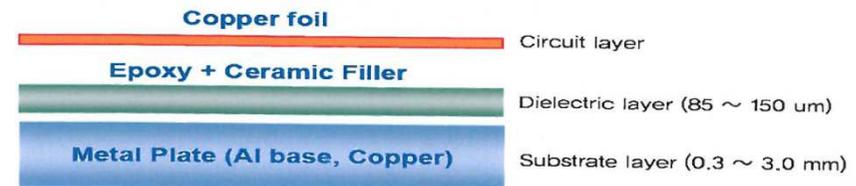
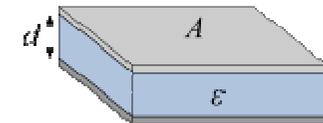
$$A = 270\text{mm} \times 35\text{mm} \times 80\% \sim 0.008\text{m}^2$$

$$d = 85\mu\text{m}$$

Kapazität eines IMS (Insulated Metal Substrate)

LED-Moduls: $C_{LED-PEa} \sim 5\text{nF}$

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$



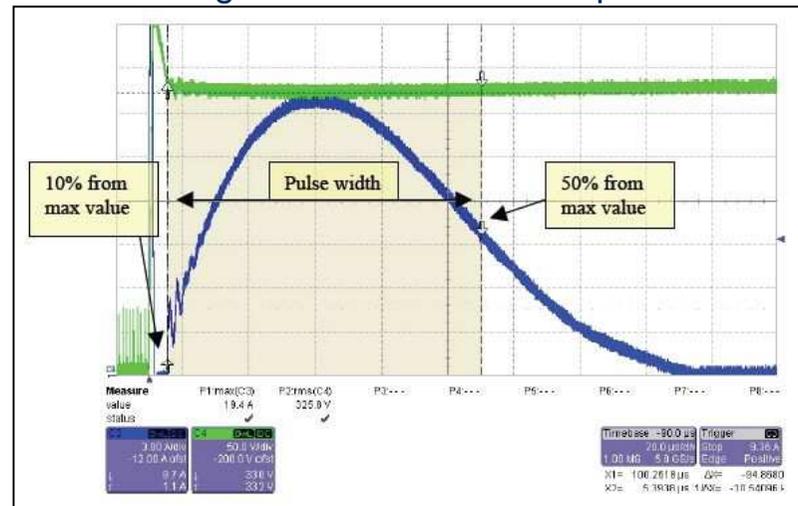
- ▶ Bei mehreren Modulen erhöht sich die wirksame Kapazität.
- ▶ Bei typischen Leuchtstofflampen ist die Kapazität bis zu 50 mal kleiner.

Inrushcurrent ist abhängig von der LED-Treiber Topologie

► Inrush-current beim Einschalten des Gerätes im Scheitelwert der Netzspannung auf:

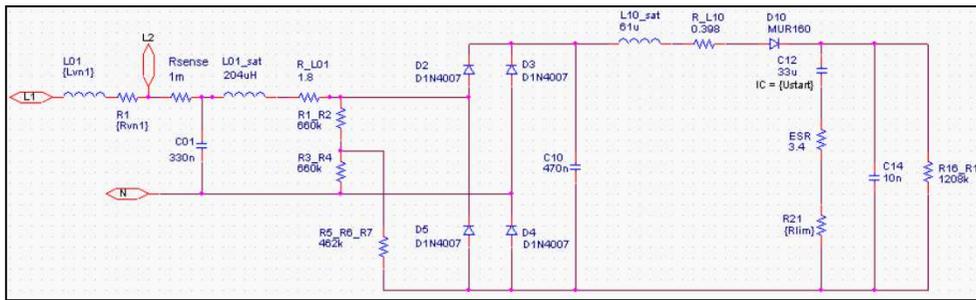
Topologie des Konverters	Inrush	Einsatzbereich	Bemerkungen
Boost PFC	Groß	Bei mittleren und höheren Leistungen	Elko auf der Primärseite
Flyback PFC	Gering	Nur bei kleineren Leistungen	Elko auf der Sekundärseite
SEPIC	Sehr gering		Schlechterer Wirkungsgrad und höhere Kosten
Flyback ohne PFC	Gering	Nur bei kleinen Leistungen	Netzoberwellen sehr groß und erhöhter LED-Ripplestrom

► Der Inrush-Current in einer realen Verdrahtung ist nicht die arithmetische Summe der Strompulse der einzelnen LED-Treiber und hängt auch von der Netzimpedanz ab.

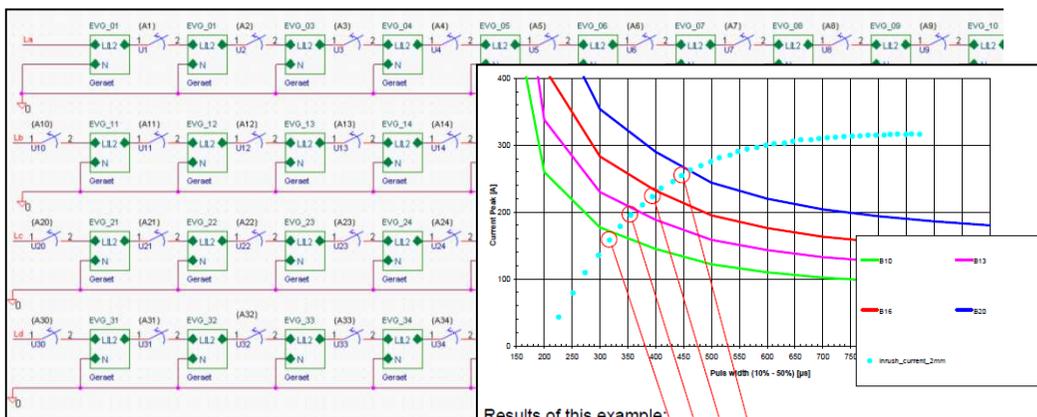


Simulation des Inrush-currents, basierend auf Modellierung der kompletten Strecke

- Nur die Simulation des Inrushcurrents von allen Konvertern und Abgleich mit der Auslösecharakteristik von Leitungsschutzautomaten zeigt wie viele Geräte im worst-case an einen bestimmten Leitungsschutzautomaten angeschlossen werden können..

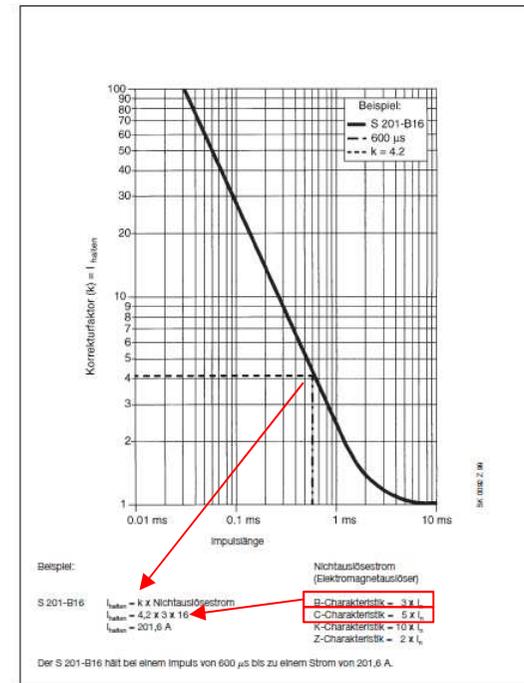


1 System pro M compact® Sicherungsautomaten Baureihe S 200/S 200 M/S 200 P
Impulsauslösung - Leitungsschutzschalter S 200/S 200 M von ABB STOTZ-KONTAKT



Results of this example:

Circuit breakers	Number of ballast per circuit breaker
B10	5
B13	7
B16	9
B20	12



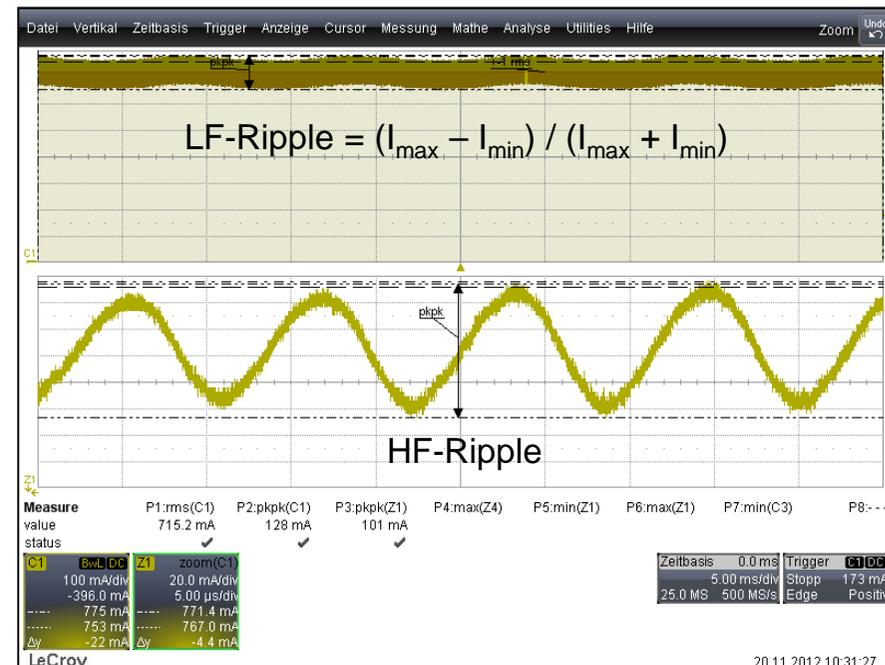
LED Inrushcurrent schädigt das Leuchtmittel

- ▶ Abhängig von der Betriebsart der Konstantstromquelle kommt es zu hohen Entladungsströmen beim Hot-Plug-In (Anstecken des LED-Moduls unter Spannung) wenn die Stromregelung aktiv ist.
- ▶ Der im LED-Datenblatt angegebene maximal zulässige Stoßstrom darf nicht überschritten werden.
- ▶ Durch Abschaltung der LED-Stromregelung im Leerlauf wird Hot-Plug-In möglich, wenn die Umsteckzeit > 2 - 3s beträgt – allerdings ohne automatischen Neustart.

Spezifische technische Daten											
Typ	Photometrischer code	Typ. Lichtstrom bei tp = 25 °C ^①	Typ. Lichtstrom bei tp = 45 °C ^②	Typ. Vorwärtsstrom ^{③ ④}	Typ. Vorwärtsspannung ^②	Typ. Leistungsaufnahme ^②	Lichtausbeute Modul bei tp = 25 °C	Lichtausbeute Modul bei tp = 45 °C	Lichtausbeute System bei tp = 45 °C	Farbwiedergabeindex Ra	
Betriebsmodus HE bei 300 mA											
TALEX(module STARK-QLE-G2-1250-830-CLA	830/369	1.210 lm	1.190 lm	300 mA	32,5 V	9,8 W	123 lm/W	121 lm/W	111 lm/W	> 80	
TALEX(module STARK-QLE-G2-1250-840-CLA	840/369	1.280 lm	1.260 lm	300 mA	32,5 V	9,8 W	131 lm/W	129 lm/W	119 lm/W	> 80	
TALEX(module STARK-QLE-G2-1250-850-CLA	850/369	1.330 lm	1.310 lm	300 mA	32,5 V	9,8 W	136 lm/W	134 lm/W	123 lm/W	> 80	
Betriebsmodus HO bei 350 mA											
TALEX(module STARK-QLE-G2-1250-830-CLA	830/369	1.390 lm	1.370 lm	350 mA	33,0 V	11,6 W	120 lm/W	118 lm/W	109 lm/W	> 80	
TALEX(module STARK-QLE-G2-1250-840-CLA	840/369	1.470 lm	1.450 lm	350 mA	33,0 V	11,6 W	127 lm/W	125 lm/W	115 lm/W	> 80	
TALEX(module STARK-QLE-G2-1250-850-CLA	850/369	1.530 lm	1.510 lm	350 mA	33,0 V	11,6 W	132 lm/W	130 lm/W	120 lm/W	> 80	
^① Messung integral über das gesamte Modul. ^② Toleranzen optische und elektrische Daten ±10 %. ^③ Restwelligkeit max. 35 % des typ. Vorwärtsstromes. ^④ Max. zulässiger Stoßstrom: 1,5 A bei max. 10 µs.											

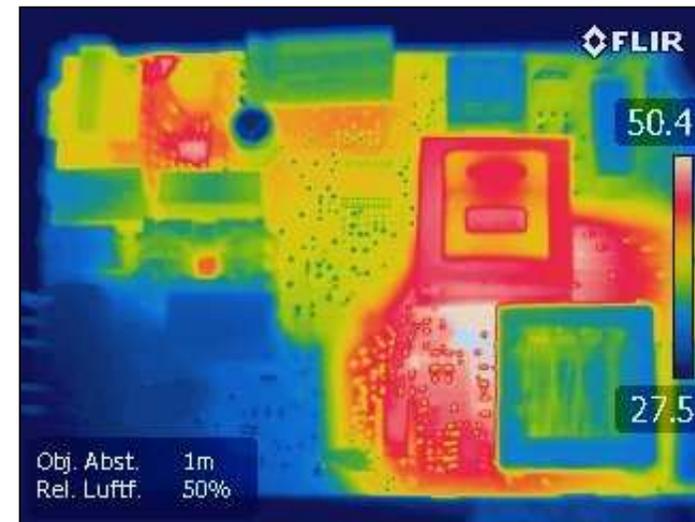
Der ideale LED-Ripplestrom ist ein Trade-off zwischen Kosten und Performance

- ▶ Ein zu großer niederfrequenter Ripplestrom (< 100Hz) führt zu Flickern (nicht direkt sichtbare Helligkeitsänderung) und stroboskopischen Effekten.
- ▶ Ein hoher Crestfaktor (Scheitelwert / Effektivwert) führt zu schlechter Ausnutzung der LED (z.B. bei hohem HF-Ripplestrom)
- ▶ Ein geringer niederfrequenter Anteil erfordert große Energiespeicher, oder nicht sinusförmige Stromaufnahme vom Netz
=> Kosten, Einhaltung IEC61000-3-2
- ▶ Geringer HF-Ripple erfordert hohe Schaltfrequenzen oder Glättungskondensatoren
=> Kosten, Nachglimmen beim Ausschalten
- ▶ Optimaler Kompromiss zwischen Aufwand und Performance liegt derzeit bei < 10% LF-Ripplestrom.



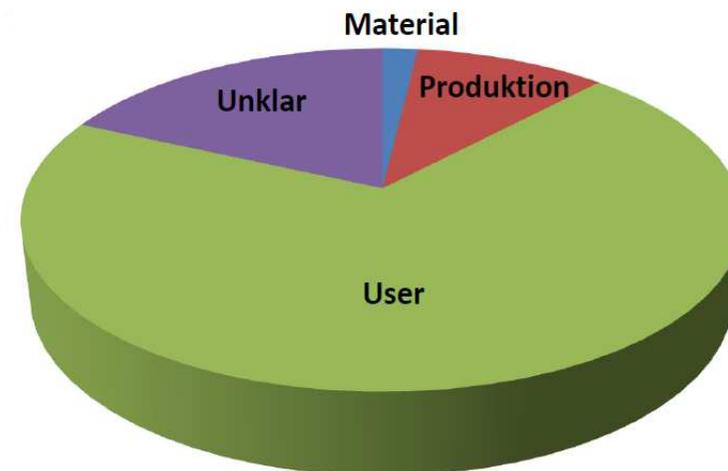
Lebensdauer des LED-Treibers

- ▶ Ein typisches Treiber-Design mit 50.000h passt zur LED als Lichtquelle, jedoch sind die Rahmenbedingungen bei high-end LED-Treibern anspruchsvoller als bei vergleichbaren Vorschaltgeräten für Leuchtstofflampen.
- ▶ Teilweise mehr Elkos durch 2- oder sogar 3-stufige Topologien (SELV).
- ▶ Mehr Optokoppler wegen Datentransfer über SELV-Strecke (Regelungen und Transfer von LED-Daten zur DALI-Schnittstelle).
- ▶ Das lebensdauerbestimmende Bauelement ist nach wie vor der Elko.
Eine Reduktion der Temperatur um 10°C verdoppelt die Lebensdauer des Treibers.
- ▶ Auch die Lebensdauer der LED (Lichtstrom-Reduktion über die Zeit) sinkt drastisch, wenn die angegebenen Temperaturen überschritten werden.



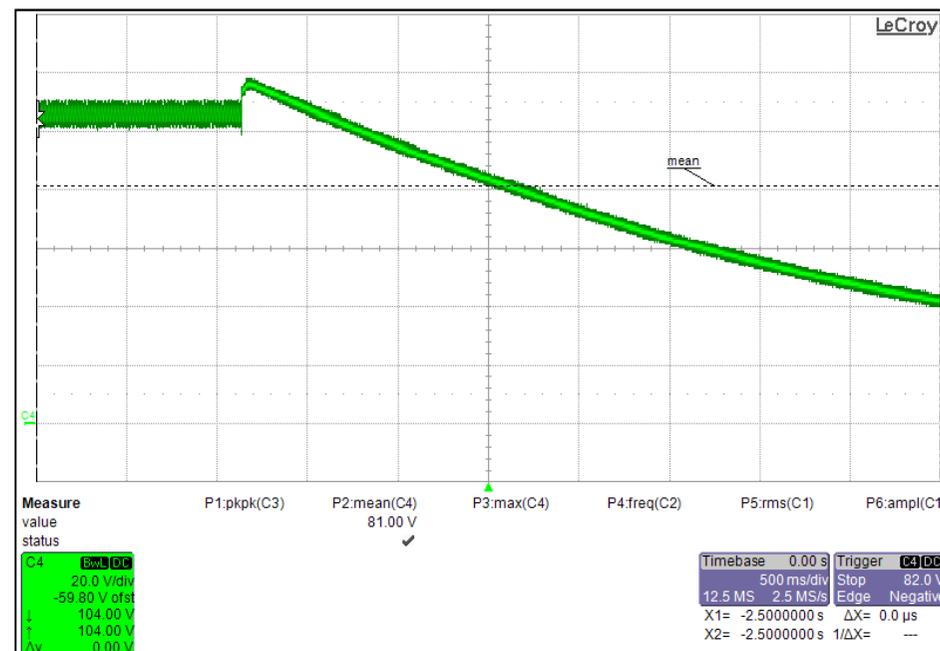
Ausfallursachen im Feld

- ▶ Anwendungsbedingte Fehler
 - ▶ Zu hohe Luftfeuchtigkeit und Betauung der Treiber
 - ▶ Thermische Ausfälle durch Überschreitung von T_c oder T_a , zum Beispiel bei unsachgemäßer Montage oder ungünstigem thermischen Management der Leuchte
 - ▶ Schiefast und Falschverdrahtung (L1 - L2) im drei Phasen Netz => Überspannung
- ▶ Produktionsfehler
 - ▶ Schlechte Lötstellen
 - ▶ Ungenügende Lötqualität bei QFN, BGA o.ä. Bauteilgehäuse
 - ▶ Bauteil Cracks bedingt durch Produktionsprozess (PCB Trennung, Verguss)
- ▶ Materialfehler
 - ▶ Chip-widerstände / -kondensatoren mit minderwertigem Coating oder Kappenkontaktierung
 - ▶ Minderwertiges Molding von Halbleitergehäusen
- ▶ Fehler die nicht eindeutig zugeordnet werden können



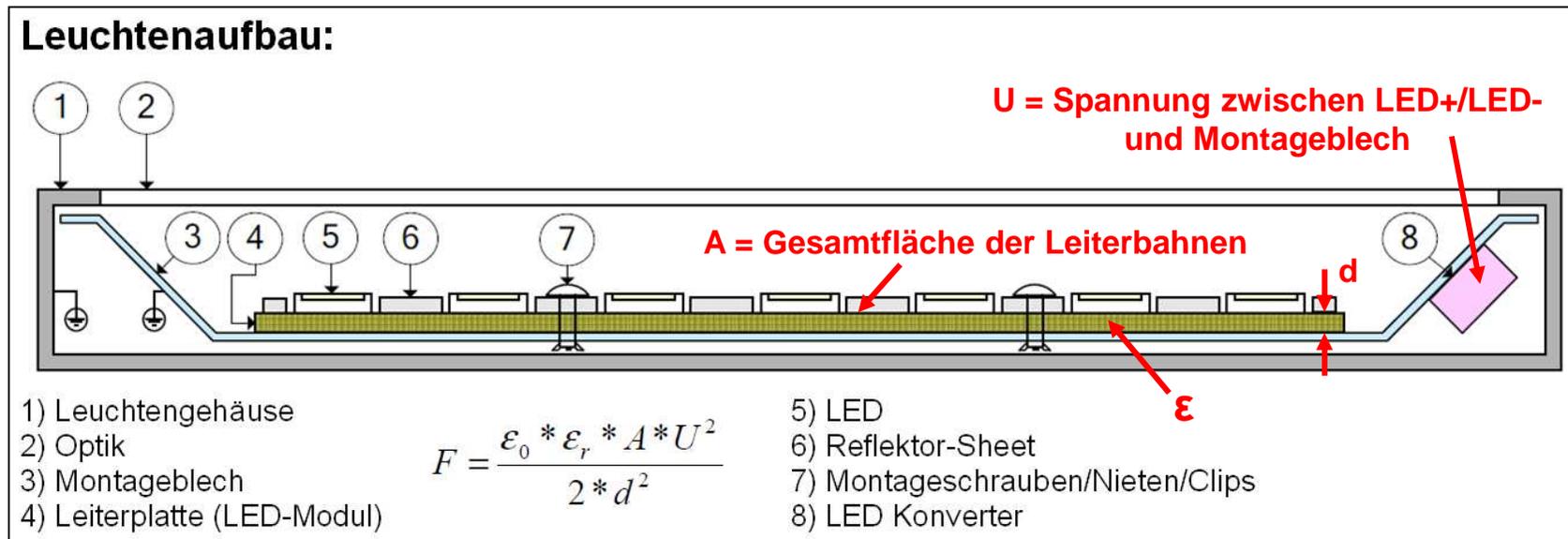
Spannungsbegrenzung bei Lastabwurf

- ▶ Besonders bei SELV-Leuchten sollte der mögliche Spannungsbereich zwischen den Ausgangsklemmen möglichst weit ausgenutzt werden:
 - ▶ 60VDC für zweipolig berührbare Systeme
 - ▶ 120VDC für einpolig berührbare Systeme
- ▶ In allen anomalen Betriebszuständen darf diese Spannung nicht überschritten werden:
 - ▶ Leerlauf und Lastabwurf
 - ▶ Anschluss von „falschen“ Lasten...
- ▶ Zur Vermeidung von Abschaltungen aufgrund von Netz-störungen (Surge) ist eine optimale Abstimmung der Empfindlichkeit von Überwachungs-kreisen sehr wichtig.



Geräusch durch „elektrostatischen Lautsprecher“

- ▶ Durch den kleinen Abstand und die große Fläche kommt es zu nicht vernachlässigbaren Kräften die Schwingungen in der Leuchte anregen können.



- ▶ Die Anregung erfolgt typischerweise mit 50Hz bzw. mit der LF PWM-Dimmfrequenz.
- ▶ Durch geeignete Montage wird dieses Problem vermieden.

Glimmen im Standby und bei Netz-aus

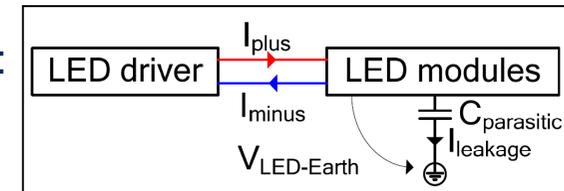
- ▶ Bei einpoliger Abschaltung oder im Standby (L und N liegen am LED-Konverter, nur der AC/DC-Wandler ist deaktiviert) kann es zu einem Stromfluss durch LED kommen (unterer uA-Bereich) der ein „Glimmen“ verursachen kann.

- ▶ Die Größe dieses Stromes hängt von folgenden Werten ab:

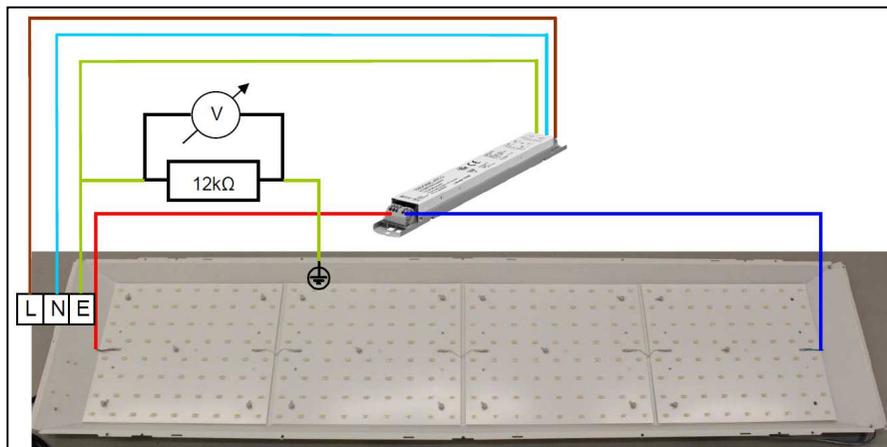
- ▶ (AC-) Innenwiderstand des LED-Konverters (oft durch EMI-Bauteile bestimmt)

- ▶ Parasitäre Kapazität des LED-Moduls (Aufbau, Material, Fläche)

- ▶ Größe der (eingekoppelten) Netzspannung



$$C = \frac{\epsilon_0 * \epsilon_r * A}{d}$$



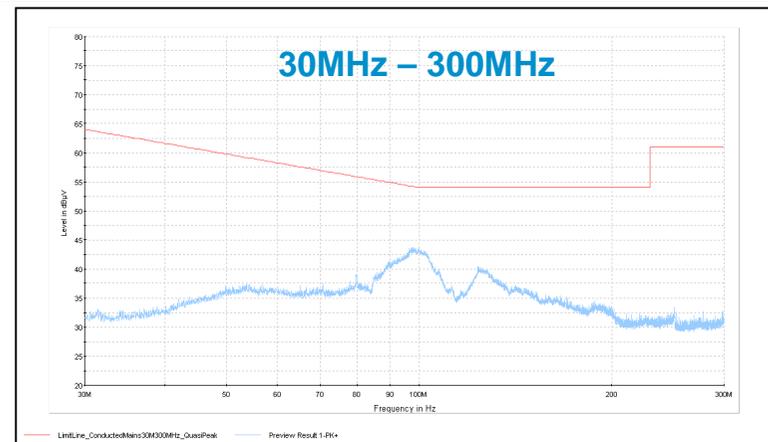
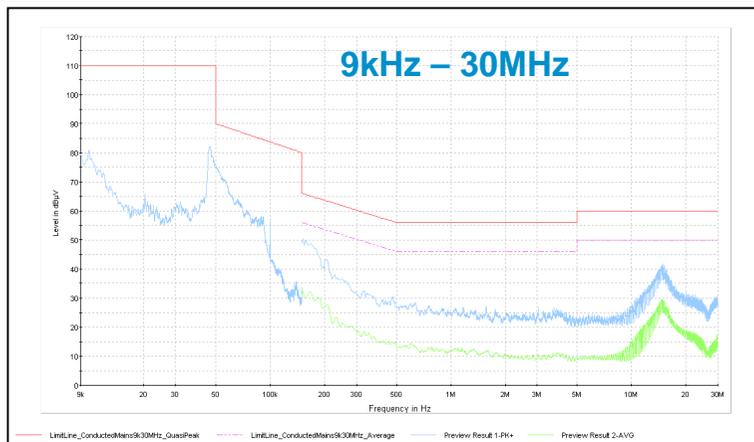
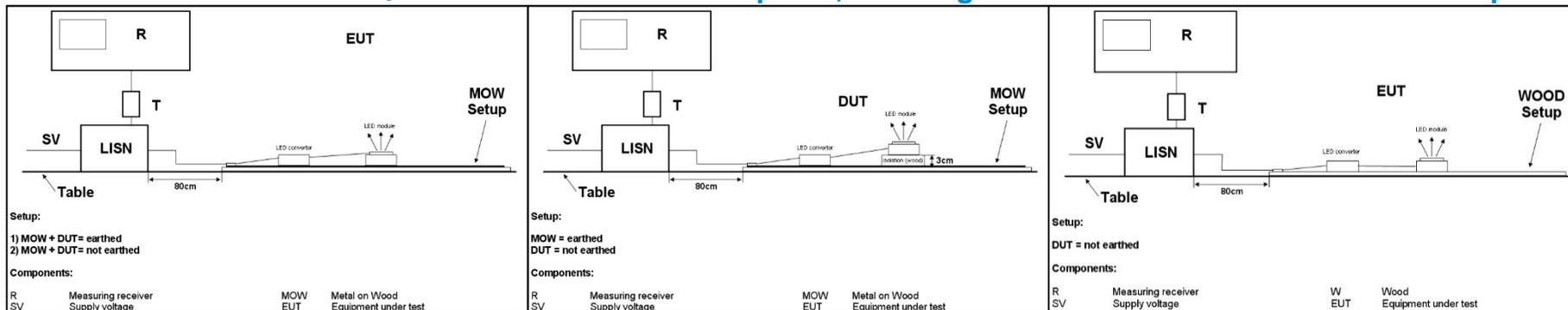
- ▶ Aufteilung der Elektromagnetischen Interferenzen erfolgt in 2 Frequenzbereiche:
 - ▶ Leitungsgebunden: 9kHz - 30MHz für Netzleitung und Interface.
 - ▶ Abgestrahlt (gemessen mit Antenne oder Coupling/Decoupling Network (CDN)): 30MHz – 300MHz für Netzleitung und Interface.
- ▶ Starke Abhängigkeit von Aufbau und Verdrahtung
 - ▶ Die LED-Bauform und Anordnung der LED-Module hat typischerweise einen größeren Einfluss als die LED-Spannung selbst.
 - ▶ Nicht geerdete Bleche in SK II – Leuchten verschlimmern EMI
 - ▶ Worst case hängt von der Erdung von Treiber und/oder Modul, sowie vom Abstand des LED-Moduls zur Metallplatte ab.
 - ▶ Der Worst-case-Setup für leitungsgebundene Störungen ist nicht der selbe wie jener für die abgestrahlten Funkstörungen.



Praktische Worst-case Konfigurationen bei EMI

- ▶ Durch empirisch ermittelte Worst-case-Setups, definierte Reserven zu den Limits und statistischen Aussagen über mehrere Geräte (abhängig von der Reserve) können zutreffende Aussagen bezüglich realen Leuchtenanwendungen gemacht werden.

Treiber und LED auf Metallplatte Treiber auf Metallplatte, LED abgesetzt Treiber und LED ohne Metallplatte



- ▶ Die Anforderungen bezüglich Robustheit und (teilweise) Lebensdauer sind für LED-Treiber im Vergleich zu konventionellen Vorschaltgeräten (HID, Leuchtstofflampen, Halogenlampen) gestiegen – auch in der selben Anwendung.
- ▶ Die Topologie und Betriebsart beeinflusst maßgebend wichtige Parameter, wie LED-Ripplestrom, Treiber-Temperatur (Lebensdauer), EMI, usw. und muss deshalb sorgsam ausgewählt und optimiert werden.
- ▶ Viele Merkmale der LED-Treiber sind nicht Hersteller-übergreifend in einem einheitlichen Format dargestellt (Lebensdauer, Ripplestrom, Spannungsüberhöhung bei einem Surge von L/N gegen PE, ...) und leider nicht direkt vergleichbar.
- ▶ Neue Einsatzgebiete, (mechanische) Umgebungsbedingungen und Anwenderverhalten werden die zukünftigen Anforderungen an Robustheit des LED-Treiber Designs weiter erhöhen.

**Vielen Dank für ihre
Aufmerksamkeit**