

Lebensdauer und Ausfallursachen von LED Vorschaltgeräten

## Wie lange lebt ein LED-Treiber?

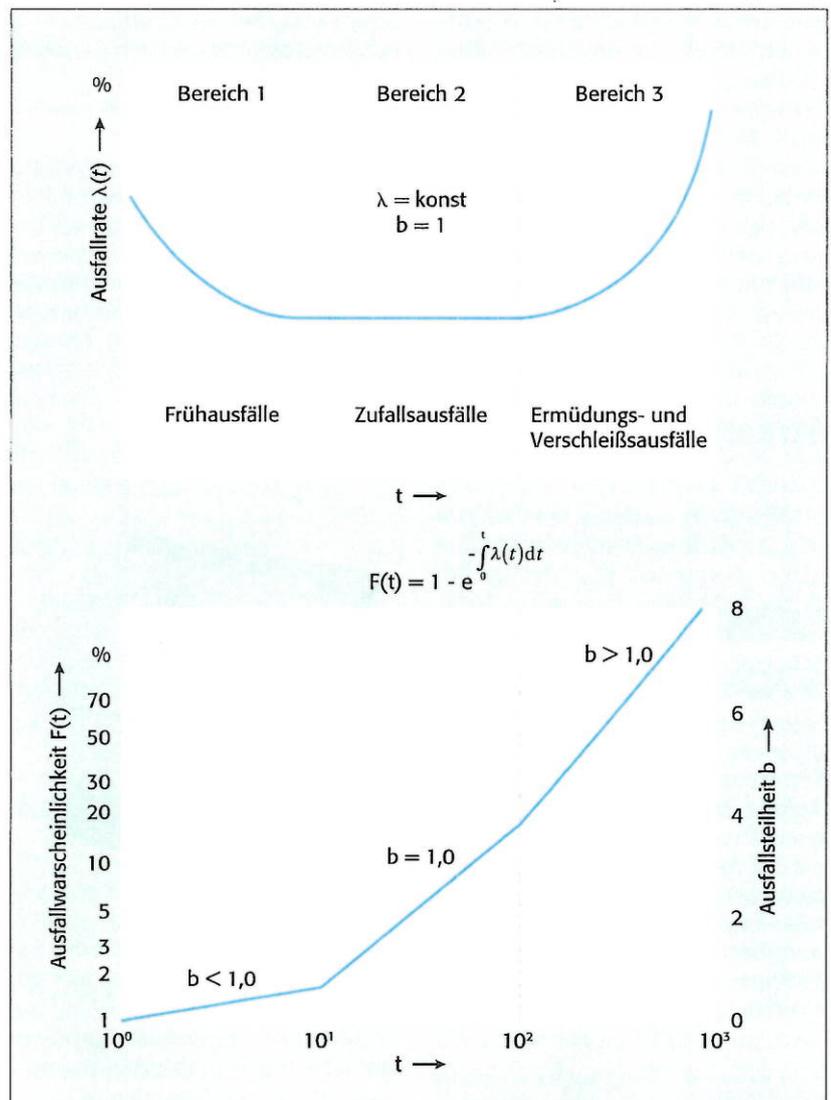
Lebensdauerangaben von elektronischen Betriebsgeräten in der Lichttechnik sind seit dem die LED in die Branche Einzug gehalten hat, ein heiß diskutiertes Thema. Nicht zuletzt weil die LED selbst unter der Annahme des richtigen thermischen Managements und des fachgerechten Einsatzs von Hause aus eine sehr hohe Lebensdauer mit sich bringt. Doch mit welchen Methoden bestimmt man auf einfache und günstige Art und Weise die Lebensdauer der Schaltnetzteile zum Betrieb von LED?

Laien oft nicht direkt vergleichbar. Als Beispiel seien hier die Angaben  $\lambda = 50.000 \text{ h}$  bei 10 % Ausfallrate oder  $\lambda = 1.000 \text{ h}$  bei 0,2 % Ausfallrate genannt. Die Anforderungen an die Elektronik in der Lichttechnik sind relativ hoch und wegen der Langlebigkeit von LEDs tendenziell eher steigend. So sind inzwischen 70.000 h oder gar 100.000 h keine Ausnahme mehr. Meist werden diese erhöhten Lebensdauerangaben mit einer Reduzierung der  $T_c$  Temperatur verknüpft.

LEDs oder LED-Module hingegen werden standardisiert mit einer einheitlichen Nomenklatur zu ihrer Lebensdauer spezifiziert. Die Angabe ist verbindlich für jeden Hersteller in Europa, beispielsweise L80B10 und bedeutet, dass nach 50.000 h max. 10 % der LED Population weniger als 80 % des Anfangslichtstroms noch erreichen.

Da jedoch die Lebensdauerangaben für Treiber weder harmonisiert noch einheitlich sind, bleibt die Systematik wie die Daten ermittelt werden, meist verborgen und liegt im Ermessen des Herstellers.

In der Beleuchtungstechnik wird die Lebensdauer meist durch eine mittlere Brauchbarkeitsdauer und einer maximal zu erwartenden Ausfallrate angegeben. Diese ist bei Vorschaltgeräten bezogen auf die maximal zulässige Gehäusetemperatur  $T_c$ , dem Temperaturreferenzpunkt und der maximal zulässigen Umgebungstemperatur  $T_a$  definiert. Dennoch bleibt oft unklar unter welchen Annahmen die angegebene Lebensdauer erreicht wird und wie diese ermittelt wurde, wie z. B. Dauerbetrieb, Aussetzbetrieb und Anzahl der angenommenen Schaltzyklen. Ebenso sind die Angaben für den



Stefan Raithel, Entwicklungsleiter, Vossloh-Schwabe Deutschland GmbH, Urbach

Bild 1: Badewannenkurve

Eine übliche und gängige statistische Methode, um eine mittlere Ausfallrate zu einem Zeitpunkt  $t$  anzugeben, ist die MTBF Berechnung (mean time between failure). Diese Methode geht davon aus, dass man sich im waagerechten Teil der Badewannenkurve einer Weibullverteilung befindet. Hier sind alle Frühausfälle eliminiert und man befindet sich noch nicht im ansteigenden Ast dieser Badewannenkurve, welcher Verschleiß oder Ermüdungseffekte charakterisiert. Der waagerechte Teil beschreibt rein zufällige Ausfälle und hat in der Weibullverteilung eine konstante Ausfallwahrscheinlichkeit  $\lambda = \text{konst.}$  (Bild 1 und 2).

Für die MTBF-Berechnung gibt es diverse Standards, die die Methodik und die Ausfallraten beschreiben. Die Ausfallrate  $\lambda$  [1/h] der Bauteile wird in FIT (failure in time) angegeben. Ein FIT ist ein Fehler in 109 Stunden. Der MTBF[h]-Wert ist der Kehrwert der Ausfallrate und beschreibt, dass nach dieser Zeit noch 37 % der Probanden intakt sind. Mittels der »Part Count Methode« oder der »Part Stress Methode« werden die Einzelausfallraten der Bauteile addiert. Wobei bei der »Part Stress Methode« noch die FIT-Werte der Bauteile mit typischen Stressfaktoren aus der Applikation bezogen auf die Referenzausfallrate multipliziert werden müssen. Der Kehrwert der Summe aller Ausfallraten ergibt dann den MTBF-Wert der Baugruppe.

Zurück zu einem LED-Treiber bedeutet das, dass ein MTBF-Wert von rd. 500.000 h ungefähr einer Ausfallrate von 10 % in 50.000 h entspricht, dies aber keinerlei Aussage über die Lebensdauer macht. Denn mit dieser Angabe werden die rein zufälligen Ausfälle im flachen Teil der Badewannenkurve beschrieben. Aufgrund der Tatsache, dass in üblichen LED-Treiber-Topologien immer mindestens ein Elektrolytkondensator (Ecap) verwendet wird, und dieser naturgemäß das lebensdauerbegrenzende Bauteil in der Applikation ist, wird häufig dieser für eine Lebensdauerberechnung herangezogen. Dazu verwendet man die vom Hersteller vorgegebenen Berechnungsformeln, wobei es hier herstellerspezifische, methodi-

Bild 2: Weibullverteilung

Weibull:  $R(t) = e^{-(\lambda t)^b}$  mit  $\lambda(t) = \frac{b}{T} \left(\frac{t}{T}\right)^{b-1}$

$F(t) = 1 - R(t)$  mit  $R(t) = \frac{n(t)}{n_0}$

$R(t)$  = Überlebenswahrscheinlichkeit ( $n_0$  = Anfangsbestand)  
 $F(t)$  = Ausfallwahrscheinlichkeit  
 $\lambda(t)$  = Ausfallrate  
 $T$  = Lebensdauer  
 $b$  = Formparameter

Bild 3-1: Lebensdauerberechnung für Elektrolytkondensatoren

- $L$  = errechnete Lebensdauer
- $L_0$  = Minimalebensdauer @  $T_0$  bei max. zul. Ripplestrom (Datenblatt)
- $RF$  = Ripplefaktor
- $TF$  = Temperaturfaktor
- $T_0$  = max. zul. Elko Temperatur nach Spec.
- $T_a$  = Elko Ambient Temperatur in Appl.
- $\Delta T_m$  = max. erlaubte Elko Temperaturerhöhung vom Hersteller beim max. Ripplestrom
- $\Delta T$  = Eigenerwärmung des Elkos durch Belastung in Appl.
- $k$  = Korrekturfaktor (Hersteller)

$$L = L_0 * TF * RF$$

$$TF = f(T) = 2^{\frac{T_0 - T_a}{10}}$$

$$RF = f(I_r) = 2^{\frac{\Delta T_m - \Delta T}{k}}$$

sche Unterschiede gibt. In der Regel basieren die Ecap Berechnungen auf dem Arrhenius Gesetz, solange die Ripplestrombelastung innerhalb der Spezifikation des Bauteils ist (Bild 3-1).

In diesem Fall kann man die 10-Kelvin-Regel anwenden (Arrhenius), was bedeutet: Ecap-Tempe-

ratur minus 10 K = doppelte Lebensdauer. Das Lebensdauerende eines Ecap wird meist über eine 20 %ige Kapazitätsabnahme und die Verdoppelung des Verlustfaktors  $\tan \delta$  beschrieben. Hier ist der Verschleiß als End-of-useful-life-Kriterium ähnlich wie bei LEDs definiert (Bild 3-2).

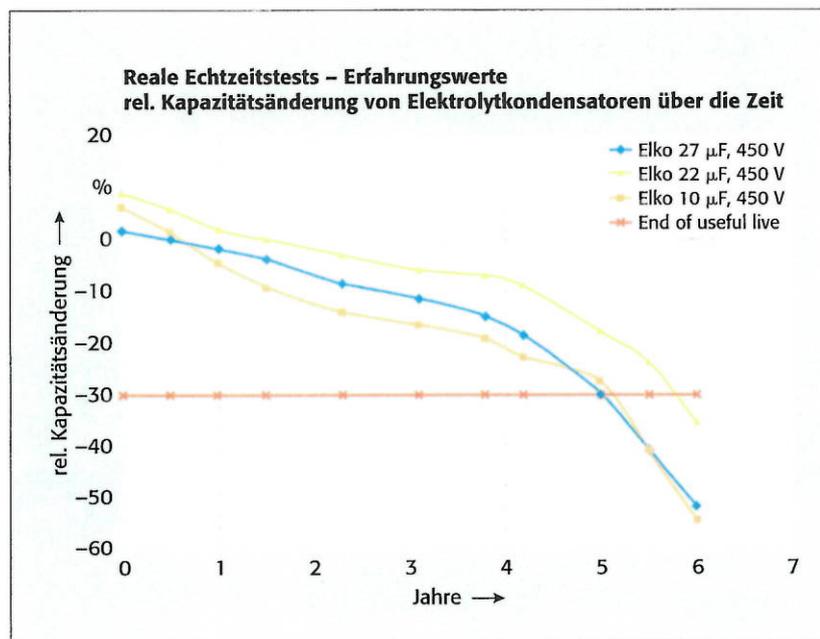


Bild 3-2: relative Kapazitätsänderung von Elektrolytkondensatoren über die Zeit. End of useful life ist hier mit  $\Delta C/C = -30\%$  definiert.

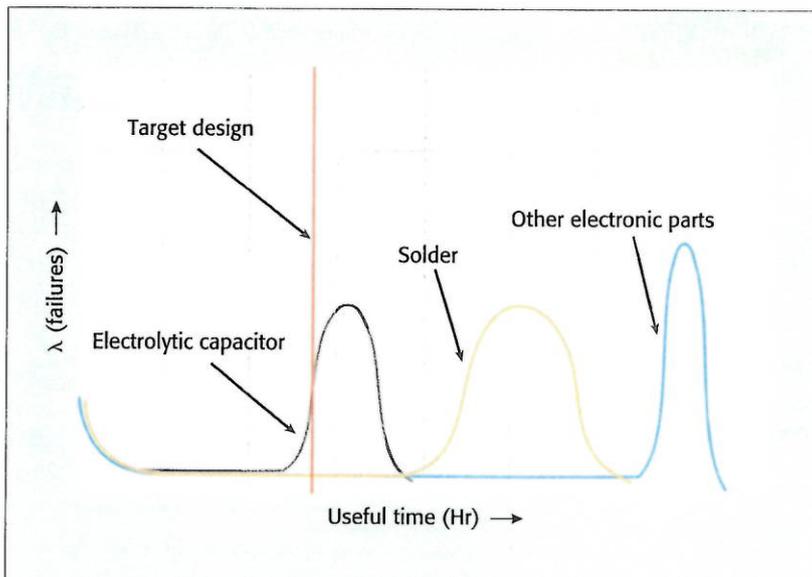


Bild 4: Design for useful life – Schematische Darstellung der Ausfallraten verschiedener Teile einer elektronischen Baugruppe mit dem Ecap als schwächstes Glied

Unter der Annahme, dass sich die Ausfallrate eines Ecaps nach der berechneten Zeit  $L$  unter seinen thermischen Betriebsbedingungen aus dem waagerechten Teil der Badewannenkurve nach rechts herausbewegt, kann man nach der Zeit

$L$  von Verschleißausfällen ausgehen. Dies wiederum lässt den Schluss zu, dass bei einem MTBF Wert einer Baugruppe ohne den Ecap mit  $MTBF > 500.000$  h und einer Ecap Lebensdauerberechnung mit  $L > 50.000$  h die Gesamtlebens-

dauer der Baugruppe rd. 50.000 h beträgt, bei einer Ausfallquote von rd. 10% (Bild 4).

Davon unberücksichtigt sind natürlich systematische Fehler, Prozessfehler und Bauteilfehler die auftreten können.

Weitere Möglichkeiten zur empirischen Ermittlung der Lebensdauer von elektronischen Baugruppen oder zumindest zur Filterung von Schwachstellen, sind Umweltprüfungen zum Beispiel aus der Reihe der IEC 60068.

Diese Tests zielen auf unterschiedliche Schädigungsprozesse bei Baugruppen ab, die hier nur stichpunktartig genannt werden sollen.

**Feuchte Wärme konstant (THB-Test):**

Diese Tests beschleunigen Prozesse wie: Diffusion, Korrosion, Leckstrombildung.

**Temperaturwechsel Test (TCT-Test) und Temperaturschocktest (HS-Test):**

Hier werden in erster Linie Materialdehnungsprozesse beschleunigt, die Erkenntnisse auf die Haltbarkeit von Lötstellen, Verguss oder Wickelgütern erlauben. In Verbindung mit Feuchtigkeit werden aber

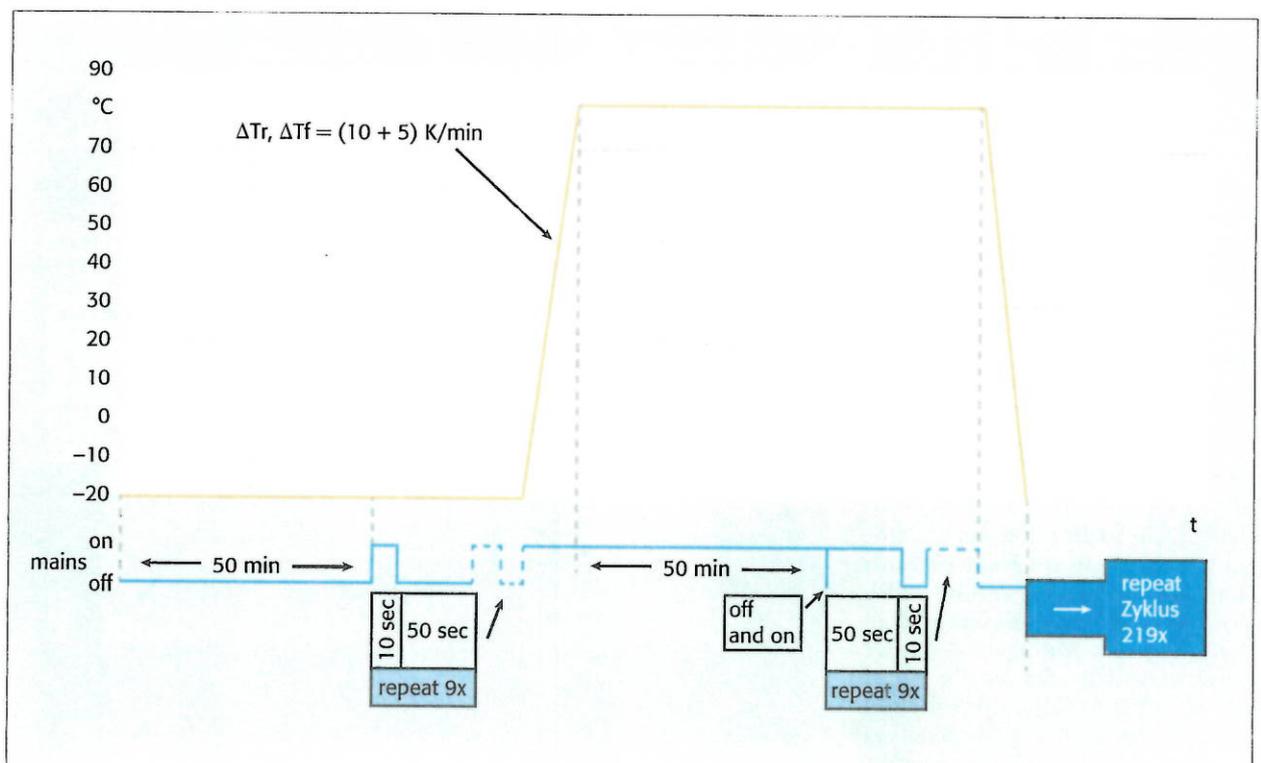


Bild 5: Endurance Test nach EN 60929:2011+ AC2011

auch Diffusionsvorgänge beschleunigt. Diese Tests sind vor allem bei häufigem Schaltbetrieb von Bedeutung.

Für LED-Treiber wird derzeit auch über einen harmonisierten Test, den »Endurance Test« auf IEC-Ebene diskutiert. Dieser könnte in Anlehnung an den Test für Fluoreszenz-Vorschaltgeräte, wie er in der EN 60929:2011+AC2011 beschrieben ist, definiert werden. Der Test arbeitet mit einem Temperaturwechsel über 500 Stunden und schaltet gleichzeitig den Prüfling nach einem fest vorgegebenen Schema (Bild 5).

Das hätte den Vorteil, dass zumindest alle Hersteller den glei-

chen Test für eine Performance Qualifizierung zu Grunde legen, der wenigstens ansatzweise in Richtung eines Reliabilitynachweises geht.

In Summe kann man festhalten, dass aufgrund der kurzen Produktentwicklungszyklen und der steigenden Anforderungen an die Lebensdauer der Baugruppen in der Lichttechnik, eine reale Lebensdaueraussage kaum zu treffen ist. In der Branche sind eine mittlere Lebensdauer von 50.000 h und eine Garantie von fünf Jahren schon eher kurz, der Trend geht inzwischen zu 100.000 h und 10 J Garantie. Die Einsatzbedingungen der Elektronik in der Beleuchtungs-

technik, sind zum Teil eine echte Herausforderung. Daher ist die Erfahrung, das konsequente Einhalten von Designvorgaben das wichtigste Instrument beim »design in«. Dazu kommen Prozessstabilität in der Produktion, konsequent durchgeführte Dauertests und die Lebensdauerberechnung des Ecap. Die Schwachstellenanalyse durch einen THB-Test oder ähnliche Tests rundet das Ganze ab.

stefan.raithel@  
vsu.vossloh-schwabe.com

[www.vossloh-schwabe.com/home.html](http://www.vossloh-schwabe.com/home.html)