

## **Hochleistungs-LEDs : Mythos Lebensdauer -> der kleine Unterschied zwischen dem Datenblatt und den Parametern in der Anwendung**

*Dipl.-Ing. (FH) Kai Klimkiewicz, Product Marketing Engineer bei FUTURE LIGHTING SOLUTIONS / Unternehmensbereich der FUTURE ELECTRONICS DEUTSCHLAND GmbH*

### **1. Einleitung**

Es ist allgemein bekannt, dass es sich bei LEDs um sehr langlebige Bauteile handelt. Leider hat die LED Industrie in den ersten Jahren des LED Booms sehr eifrig mit den Superlativen gespielt und es hieß „... hält ewig...“, „...100000 Stunden...“, „... geht nie kaputt...“ etc.

Aufgrund der stark gestiegenen Performance, insbesondere bei den weissen Hochleistungs-LEDs, finden LEDs nun immer mehr Anwendungen, sogar auch verstärkt als Ersatz für konventionelle Leuchtmittel. Neben der oft besseren Energiebilanz ist dann natürlich auch die längere Lebensdauer ein Kernargument.

Hieraus wächst nun aber auch der Bedarf wesentlich qualifiziertere Informationen zur Lebensdauerbetrachtung zu bekommen, um die Applikationen professionell zu realisieren.

### **2. Wie wird die Lebensdauer der Hochleistungs-LEDs spezifiziert ?**

LEDs unterliegen wie alle Lichtquellen einer Alterung und damit Veränderungen im Lichtstrom. Herkömmliche Lichtquellen zeigen vor einer signifikanten Lichtstromänderung in der Regel einen Totalausfall. Die entsprechenden Lebensdauerdaten sind somit als „Sterblichkeitsdaten“ zu sehen. ( Bild 1 )

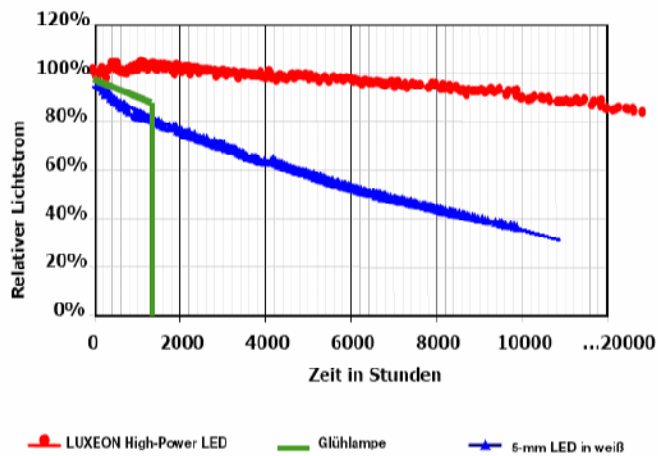
Hochleistungs-LEDs (mit weit höheren Lebenserwartungen) zeigen vor dem Totalausfall Änderungen im Lichtstrom. Dabei ist die LED-„Sterblichkeit“ definiert als Lichtstrom-Abfall unterhalb eines definierten Schwellwerts. ( Bild 2 )

Zusammenfassend gilt für die Lebensdauerbetrachtung bei Hochleistungs-LEDs :

- Bei Betrieb innerhalb der Spezifikation (Maximal-Werte)
  - Kein Durchbrennen der Power LED
  - Lichtstrom-Rückgang der Power LED abhängig von:
    - Sperrschicht-Temperatur im Betrieb ( $T_j$ )
    - Vorwärtsstrom im Betrieb ( $I_f$ )
  - Nicht alle LEDs einer Population verhalten sich gleich
  - Ein LED-„Ausfall“ bezieht sich auf die Unterschreitung eines Schwellwerts im Vergleich zum Ursprungswert ( z.B. 50 % oder 70 % des Initiallichtstroms )
- Derzeit keine „LED-Lebensdauer-Norm“ ! Zukünftig wird aber in der ENERGY STAR Betrachtung das Thema berücksichtigt!



# Lebensdauervergleich



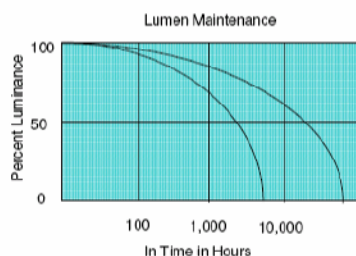
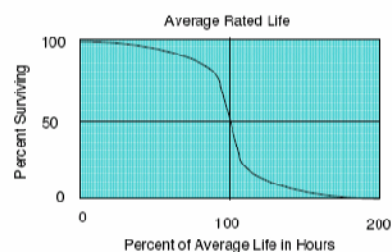
Anno 2001

Bild 1 : Lebensdauervergleich

# Definitionen

- Durchschnittl. Lebensdauer – “B”

- Die Zeit, nach der 50% der Leuchtmittel **versagen** (=Durchbrennen) und 50% noch leuchten
- Sterblichkeitsangabe – “B (Prozent) in Stunden”



- Lichtstromerhalt – “L”

- Lichtstromrückgang während der Zeit
- Lichtstromerhalt “L (Prozent) in Stunden”

Bild 2 : Definitionen Lebensdauer „B“ und Lichtstromerhalt „L“



### 3. Welche Faktoren beeinflussen die Lebensdauer ?

Elementar wird die Lebensdauer durch die Bestromung und die resultierende Temperatur im inneren der LED ( Theta Junction ) bestimmt.

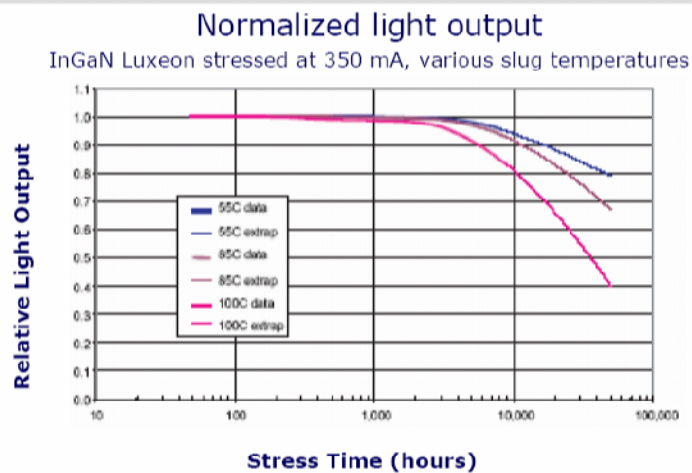
Für beide Größen gibt es entsprechende Maximalangaben in den Datenblättern.

Die Bestromung ist durch die Ansteuerung klar steuerbar. Eine wichtige Erfahrung aus der Praxis ist dabei, dass die EVG's auf etwaige Einschalt-Peak-Ströme ( z.B. mit einem Oszilloskop ) getestet werden.

Das thermische Design der Leuchte sollte so ausgelegt werden, dass im thermisch eingeschwungenen Zustand die maximal zulässigen Temperaturen nicht überschritten werden. Auch bei den LEDs wird der größte Teil der elektrischen Energie ( ca. 15-25% ) in Wärmeenergie umgewandelt. Da die LEDs meist eine Entkopplung der Licht- und der Wärmestrahlung haben, liegt hier die Verantwortung beim Design der Leuchte.

Entscheidend ist natürlich auch die Qualität der LED. Hier ist es wichtig, dass der Hersteller die Einzelkomponenten ( LED Chip, Gehäuse, ESD-Schutz, Phosphore, etc. ) beherrscht und diese auch in der Serienfertigung richtig zusammenbringt. Etwaige Schädigungen des Chips könnten sich später negativ bemerkbar machen.

## Lifetime vs Temperature



Lifetime *shortens* with temperature

Bild 3 : Lebensdauer vs. Temperatur



#### 4. Was bedeuten diese Lebensdauerangaben in der Praxis ?

In der Praxis möchte man ein solides System haben, welches stabil im definierten Anwendungsfall funktioniert.

Um ein Gefühl für die Grenzwerte in der Anwendung zu bekommen, bedient man sich gerne eines thermischen Modells, d.h. man möchte gezielt Rückschlüsse aus der Temperatur  $T_j$  ( PN-Übergang im inneren des Chips ) ziehen, um den Aufwand der Entwärmung und die Grenzen für die Umgebungstemperaturen und auch die Bestromung zu definieren.

Die  $T_j$  lässt sich nicht wirklich direkt messen, ohne die LED bzw. den Chip zu beschädigen. Daher versucht man möglichst nahe an der LED die Temperatur zu messen. Multipliziert man den LED spezifischen thermischen Widerstand  $R_{th}$  mit der aufgetragenen Leistung ( Achtung : die umgangssprachlichen 1 W sind oft deutlich mehr : z.B.  $350 \text{ mA} \times 3,5 \text{ V} = 1,225 \text{ W}$  ! ) und addierte den anodennahen Temperaturwert, so ermittelt man recht genau die  $T_j$ .

Hiermit lässt sich dann an gezielt an der Optimierung des thermischen Designs arbeiten (siehe Punkt 8 ).

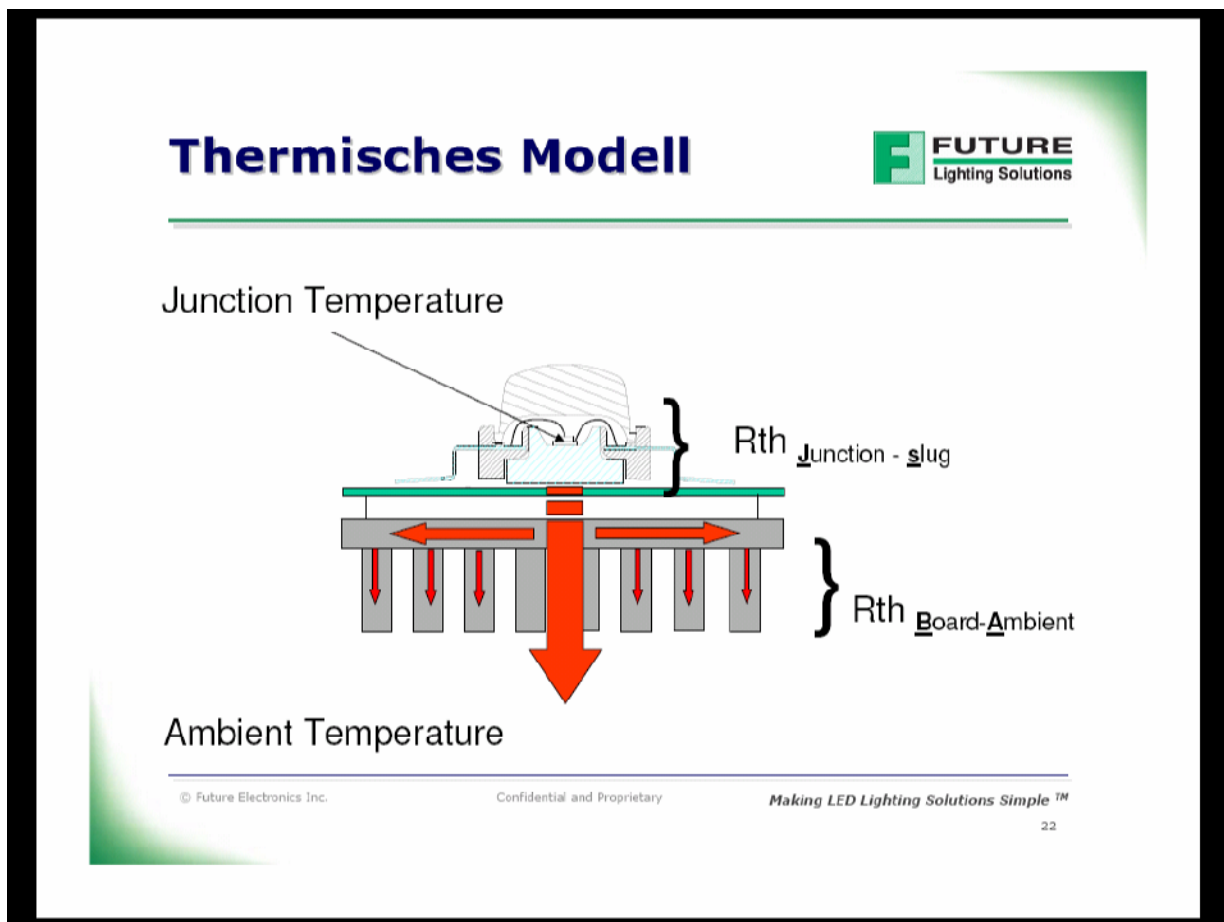


Bild 4 : Thermisches Modell

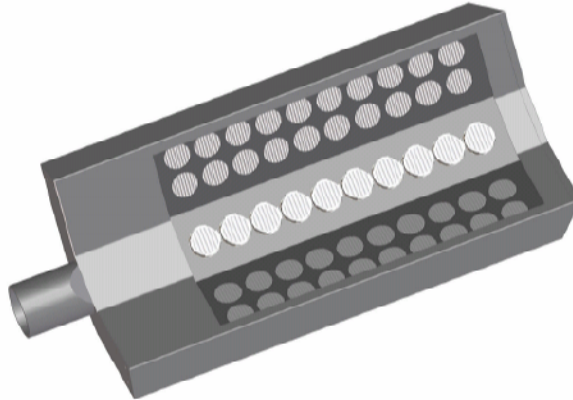
Die Konzept-Straßenleuchte „Butterfly“ von Philips Lumileds ( Bild 5 ) zeigt einen guten Überblick in welchen Rahmen sich die wichtigsten Kennwerte in der Praxis bewegen können.

Die Grenzwerte der verwendeten Luxeon Rebel LED liegen bei  $135^{\circ}\text{C}$   $T_j$  und 700 mA. Bei der Temperatur liegt man  $78^{\circ}\text{C}$  unter dem Grenzwert, folglich sind höhere Umgebungstemperaturen  $T_{\text{ambient}}$  ( z.B. in Dubai ) kein Problem.



## Beispiel einer LED Straßenleuchte

Philips Lumileds-Fraen LED  
Straßenleuchten- Konzept "Butterfly"



Making LED Lighting Solutions Simple™

23

Bild 5 : Beispiel einer LED Straßenleuchte


## Spezifikation „Butterfly“

LED type	Luxeon Rebel (100lm)
Nr Of LEDs	50
Drive current	350 mA
Led power	54.5
Driver efficiency	85%
System power	64 W
Luminous flux	3500 Lm
System efficacy	55 lm/W
Lens efficiency	85%
CCT	5500 K
CRI	70
Heat sink temperature @ 20C ambient	48 °C
Rth junction-board	20 K/W
Rth heatsink-ambient	0.62 K/W
Tj(@ 20 °C ambient)	57 °C
LED lifetime	60.000 hour

Bild 6 : Spezifikationen der Konzept-Straßenleuchte



Neben der Temperatur bietet auch der Betriebsstrom noch solide Steigerungsmöglichkeiten. Zu beachten ist aber, daß die beiden Größen sich gegenseitig beeinflussen. Bild 7 zeigt den Vergleich von 300 bis 700 mA. Die Anzahl der benötigten LEDs lässt sich mit der Stromerhöhung merklich reduzieren, allerdings leidet darunter die Effizienz. In der Praxis müssen die technischen und kommerziellen Vorteile abgewogen werden.



## „Butterfly“ mit verschiedenen Betriebsströmen

current (A)	nr LEDs	LED Power (W)	TJ ( C)	system efficacy (lm/W) *
0.3	57	54	57	65
0.35	50	57	63	61
0.4	45	59	66	59
0.5	38	63	73	55
0.6	33	67	80	51
0.7	30	71	90	48

\*ohne Gehäuse

© Future Electronics Inc.
Confidential and Proprietary
Making LED Lighting Solutions Simple™

25

Bild 7 : Betrieb der Referenzleuchte mit verschiedenen Betriebsströmen

### 5. Welche Angaben werden in den Datenblättern gemacht ?

Neben den besprochenen Angaben zum maximalen Betriebsstrom und zur maximalen  $T_j$  finden sich noch weitere Informationen in den Datenblättern, die wichtig sind, um eine LED Leuchte so zu gestalten, daß die gewünschte Lebensdauer ( z.B. 60000 Stunden ) mit dem gewünscht Restnutzlicht ( z.B. 70 % ) erreicht wird.

Wichtig sind die sogenannten Derating-Kurven, da diese zeigen, wie der Strom bei speziellen  $T_j$ -Werten reduziert werden muß, um innerhalb der Lebensdauerbetrachtung zu bleiben. Hier muß man stets die maximalen Umgebungstemperaturen mit einbeziehen, denn eine Außenleuchte in Dubai kann ja auch tagsüber eingeschaltet sein oder baut die Gehäusewärme Nachts nur langsam ab und soll dadurch keine überdurchschnittliche Alterung erfahren.

Wichtig ist dabei auch, dass zwischen den verschiedenen Farben ( z.B. Rot im Vergleich zu Weiss ) auch oft markante Unterschiede sind, welche bei mehrfarbigen Anwendungen auf jeden Fall berücksichtigt werden müssen.

Neben vielen Angaben zu Referenztests findet man auch Empfehlungen zur Platinengestaltung.



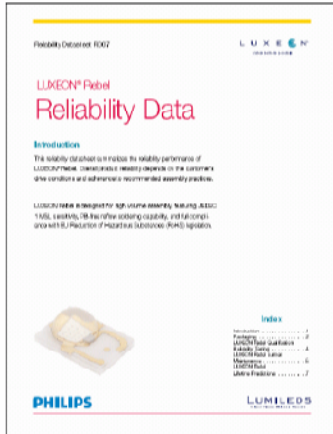
# Luxeon Lebensdauer Dokumentationen



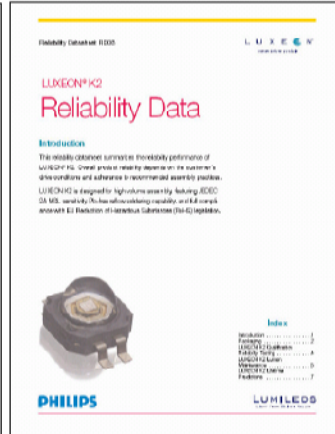
## Lifetime Analysis: WP12



## Luxeon Rebel Reliability: RD07



## Luxeon K2 Reliability: RD06



© Future Electronics Inc.

Confidential and Proprietary

Making LED Lighting Solutions Simple™

20

Bild 8 : Referenz zu den Lebensdauer-Dokumenten der Philips Lumileds LEDs

## 6. Wo liegen die Grenzwerte und wie groß ist der Unterschied zwischen verschiedenen LED Typen?

Neben den maximal zulässigen Strom- und Temperaturwerten ist z.B. auch der Thermische Widerstand eine sehr wichtige Referenz, denn er sagt aus, wie gut ich die Wärme aus der LED herausbekomme und dann über mein thermisches Design abführen kann.

Bild 9 und Bild 10 zeigen, wie durch die Gehäuseoptimierungen die Stromverträglichkeiten erhöht und die thermischen Widerstände über die Jahre reduziert werden konnten. Zeitgleich hat man über die Jahre auch den Materialeinsatz weiter optimiert, d.h. statt schnell alternden Epoxy-Optiken werden heute wertige Silikonlinsen als Primäroptiken verbaut. Die Reflow-Lötbarkeit und die RoHS-Konformität sind heute meist Standard.

Der kleine, aber feine Unterschied liegt in den „Freiheitsgraden“, die durch die Grenzparameter ermöglicht bzw. eingeschränkt werden.

Bild 11 zeigt einen Vergleich des relativen Lichtstromverlaufs über die Zeit ( bei  $T_a$  85°C ). Die blaue Kurve zeigt hier den wesentlich stabileren Verlauf und bietet eine deutlich längere Nutzungsdauer mit zur 70% Marke.



# LED Evolution

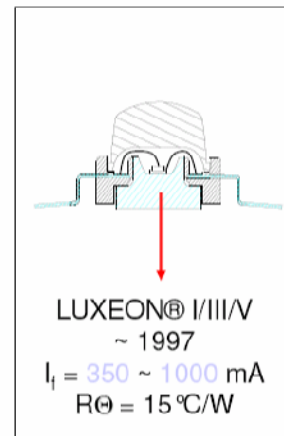
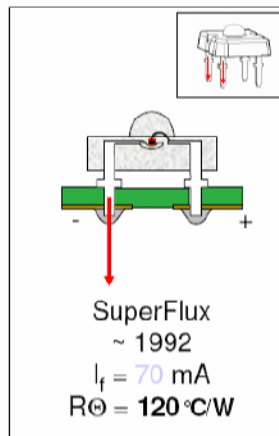
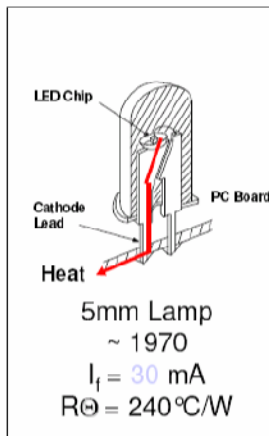


Bild 9 : Optimierungen der Gehäuseformen

# LUXEON Rebel

- Hoher Temperaturbereich, max  $T_j$  150°C
- Markteinführung März 2007
- $I_f$  : 350 ... 1000 mA
- $R_{th}$  : 10 K / W
- LUXEON Rebel ES : 100 lm / W

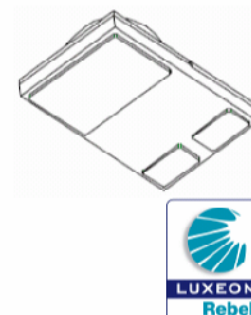
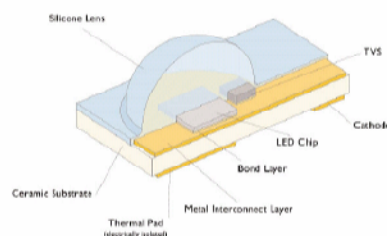


Bild 10 : Referenzwerte zur Luxeon Rebel



## Vergleich: Ta 85°C, 350 mA



Long Term Lumen Maintenance for 85C Ambient  
(per IESNA LM-80 Method)

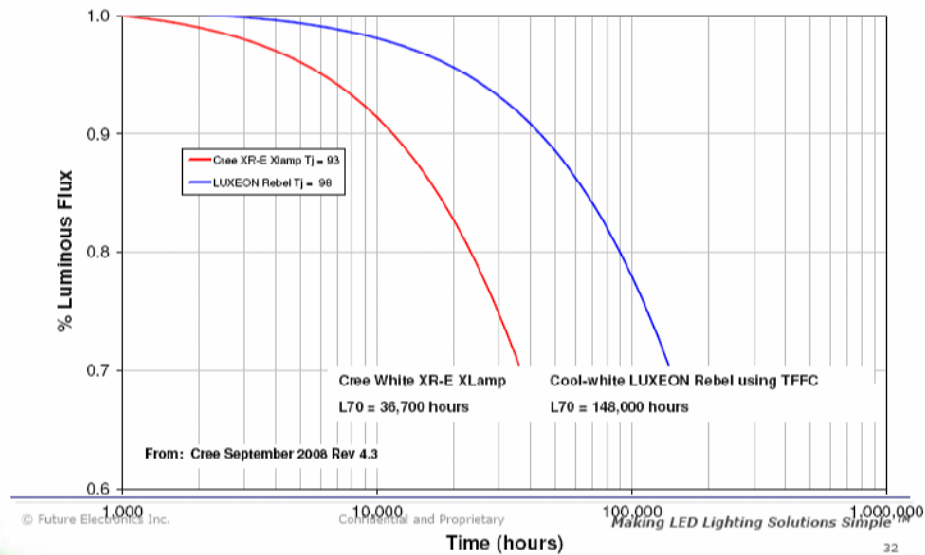


Bild 11 : Vergleich zweier Alterungskurven bei einer Umgebungskurve von 85°C

## 7. Anforderungen an das Design und an die Ansteuerung

Wie bereits in den vorherigen Abschnitten mehrfach erläutert, ist es elementar die genauen Anforderungen der Applikation zu kennen. Dementsprechend muß der Kreis der möglichen LEDs eingeschränkt werden. Will man eine große Fläche beleuchten, dann tendiert man eher zu vielen LEDs mit geringerer Bestromung. Für Spot-Anwendungen wird dann doch eher mit weniger, aber höher bestromten LEDs gearbeitet ( folglich aber auch die größere Entwärmungsaufgabe ).

Die Entwärmung elektronischer Bauteile ist ja kein neues Thema. Von Prozessoren bis hin zu Leistungshalbleitern kennt man die Aufgabe und kann sich diese Erfahrungswerte auch zu nutzen machen. Bild 12 zeigt zwei mögliche Kühlkörpersysteme ( von 40 K/W bis zu 0,4 K/W ). Mit den unter Punkt 8 erläuterten Tools lassen sich die Werte auf eine Anwendung beziehen.

Die Ansteuerung wird bei den ganzen Lebensdauerbetrachtung zu oft vernachlässigt, wobei hier häufig größte Risiko eines vorzeitigen Totalausfalls besteht.

Fällt das EVG aus, so sind die LEDs dunkel und es wird oft von einem LED-Fehler ausgegangen.

Viele LED Vorschaltgeräte nutzen noch Elektrolytkondensatoren ( Elkos ), welche oft eingeschränkte Lebensdauern ( insbesondere bei höheren Temperaturen ) haben und somit das schwächste Kettenglied darstellen.

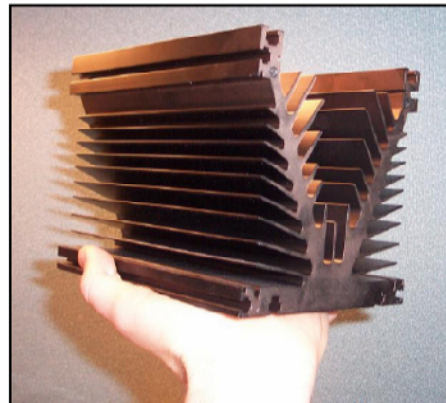
Daher sollte die Ansteuerung genauso qualifiziert werden wie die LED, damit das gesamte System die gesetzten Erwartungen erfüllt.



## Die richtige Entwärmung



40 K/W



0.4 K/W

© Future Electronics Inc.

Confidential and Proprietary

Making LED Lighting Solutions Simple™

37

Bild 12 : „Der richtige Kühlkörper“

### 8. B-L-Kurven und deren Anwendung am Beispiel des Online-Tools LRT ( LED Reliability Tool ) für die Luxeon LEDs

Unter Punkt 2 wurde ja bereits die Definition der Lebensdauer erläutert. Um das Thema anschaulicher zu machen, bringt man gerne die durchschnittliche Lebensdauer und den Lichtstromerhalt in ein gemeinsames Format ( Bxx-Lyy Kurven ). Damit ist es möglich in einem Diagramm die möglichen Arbeitspunkte zu spezifizieren. Üblich ist die B50-L70 Betrachtung; hier liegen jeweils 50 % der LED knapp über bzw unter der Kurve. Für besonders sicherheitsbezogene Anwendungen ( z.B. Fluchtwegbeleuchtung, Medizinleuchten ) nimmt man die B10-L70 Kurven, da hier 90% oberhalb der Kurve liegen. Im Bild 14 sind jeweils die entsprechenden Unterschiede für die Luxeon Rebel LED dargestellt.

Das L70 steht für ein Mindestrestintensität von 70%.

Niedrigere Werte von L50 sollten mit Vorsicht betrachtet werden, da hier das menschliche Auge Unterschiede sehen kann.

Die Anwendungen der Kurven zeigt Bild 15. Im ersten Beispiel ( rote Linien ) wurden eine Lebensdauer von 50000 Stunden und ein Strom von 1000 mA vorgegeben. Die resultierende  $T_j \text{ max}$  liegt somit bei 135°C.

Im zweiten Beispiel wurde eine  $T_j \text{ max}$  von 160° C und ein Strom vom 700 mA vorgegeben. Die resultierende Lebensdauer liegt bei rund 22000 Stunden.

Um das Thema einfach und praxisorientiert zu gestalten, wurde seitens FUTURE LIGHTING SOLUTIONS eine Plattform von Kalkulationstools entwickelt, die nach einer unverbindlichen Anmeldung einfach über das Internet nutzbar sind.



## Lebensdauer als Funktion von Bxx and Lyy

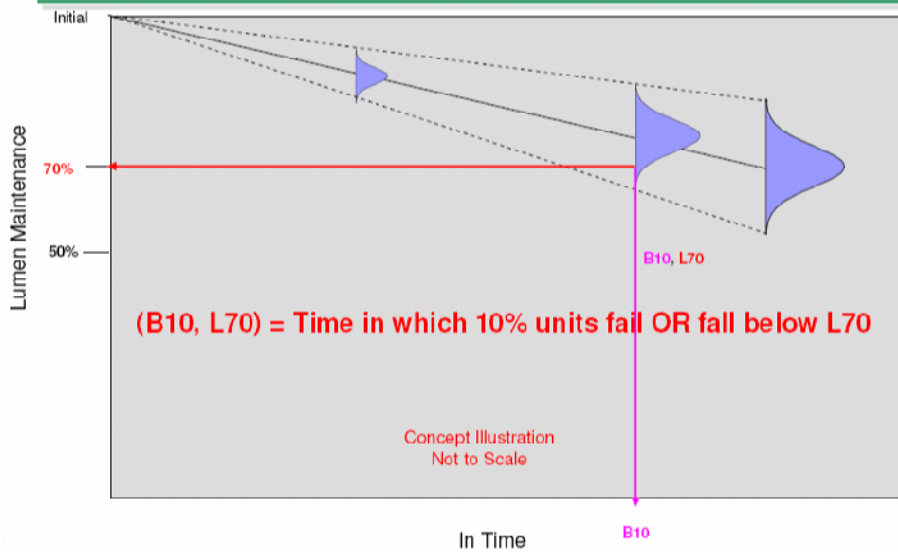


Bild 13 : Herleitung der B-L-Kurven

## (Bxx, Lxx) Lebensdauer für InGaN LUXEON Rebel

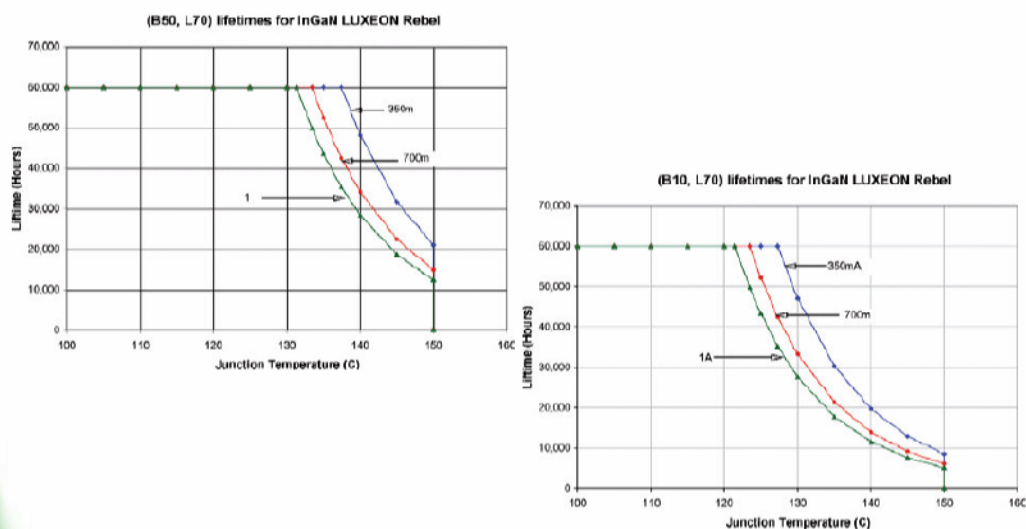


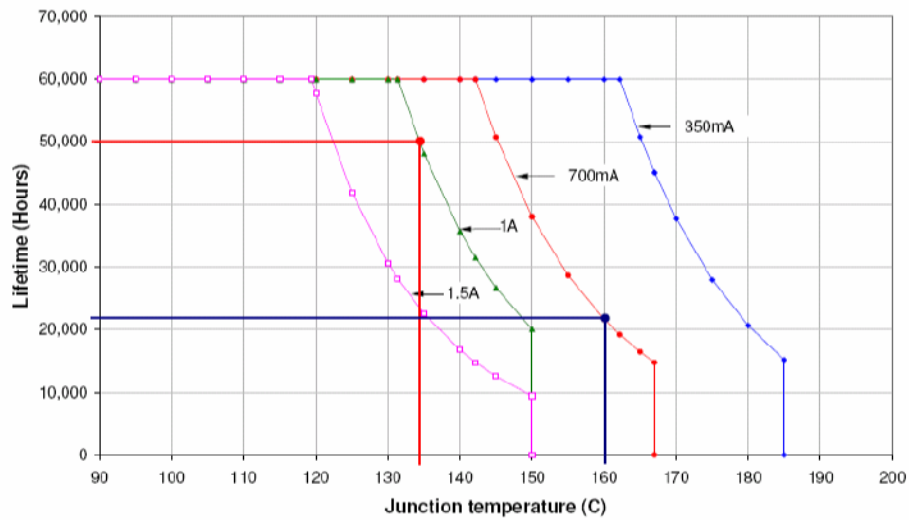
Bild 14 : B-L-Kurven Darstellung für die Luxeon Rebel LEDs



# LUXEON® B50,L70



(B50, L70) lifetimes for InGaN Luxeon K2



© Future Electronics Inc.

Confidential and Proprietary

Making LED Lighting Solutions Simple™

49

Bild 15 : Auslesen der Lebensdauerparameter am Beispiel der Luxeon K2 LED

www.futurelightingsolutions.com



**NIC QUICK KIT**  
Time-Saving Reference Design Kits  
Ships within 24 hours  
[Read the Press Release](#)



## CENTURY OLD GAS LAMPS IN THE LED ERA

Braun converts Gas Street Lamps to LEDs with Future Lighting Solutions, replicating the golden glow of gas originals.

[READ THE FULL STORY](#)

About Us	Services	Products	Media Center	Latest News
Company Info	SSL Designer	LUXEON® LEDs	Press Releases	<b>June 17, 2009</b> Future Lighting Solutions Extends One-Stop LED Solution Support with Time-Saving NIC Reference Design Kits Pre-Bundled by Driver
Mission	Usable Light Tool	Power	Events & Seminars	<b>June 3, 2009</b> Future Lighting Solutions Introduces Wireless Control Reference Design Based on Freescale Technology
Contact	LED Reliability Tool	Optics	Case Studies	
Careers	Chromaticity Tool	Thermal Management	Lumenate Magazine	
Future Lighting Solutions Network	Development Tools	QLED Software	Documentation	
	Lighting Resource Centers	LED Light Engines		
	Binning	SuperFlux		
	Advanced Engineering Solutions	SnapLED		

© Future Electronics Inc. 2009

Confidential and Proprietary

Making LED Lighting Solutions Simple™

2

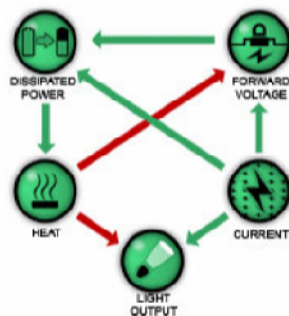
Bild 16 : Referenz Future Lighting Solutions Homepage – Development Tools



# Usable Light Tool (ULT)

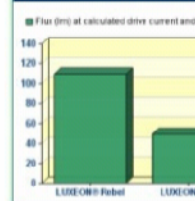


Online-Rechner, um die "nutzbare Lichtmenge" (Lichtstrom) in realer Anwendungsumgebung zu simulieren

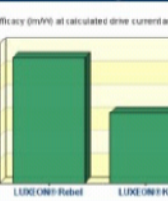


Calculated Results:			
	LUXEON® Rebel	LUXEON® K2	
Calculated Drive Current:	676	492	(mA) ?
Calculated Forward Voltage:	3.01	3.3	(V) ?
Calculated LED Power Consumption:	2.03	1.62	(W) ?
Calculated Array Power Consumption:	6.1	4.87	(W) ?
Calculated LED Radiometric Flux:	0.33	0.147	(W) ?
Calculated LED Efficiency:	16.2%	9%	(W/W) ?
Datasheet Junction-to-Case Rth:	10	9	(°C/W) ?
Calculated Junction Temperature:	135	120	(°C) ?
Calculated Usable LED Flux:	110	49	(lm) ?
Calculated Usable Array Flux:	329	146	(lm) ?
Calculated Usable Efficacy:	53.87	30.02	(lm/W) ?

Usable Flux Chart



Usable Efficacy Chart



© Future Electronics Inc.

Confidential and Proprietary

Making LED Lighting Solutions Simple™

52

Bild 17 : Nutzlichtbestimmung mit Applikationsparametern

Über die Rubrik „**Development Tools**“ ( wie in Bild 16 gezeigt ) finden sich einige interessante Kalkulationswerkzeuge.

Das **Usable Lighting Tool** hilft bei der Berechnung vom verfügbaren Nutzlicht. Die Datenblattwerte beziehen sich ja stets auf eine Tj von 25 °C. Mittels dem ULT lässt sich der Anwendungsfall genau betrachten und herausfinden, wie viele LEDs wirklich für die Lichanwendung benötigt werde. Es lassen sich auch verschiedene thermische Lösungen ( z.B. die beiden Kühlkörper auf Bild 12 ) betrachten.

Mit dem **LED Reliability Tool** werden die B-L Kurven noch anwendungsfreundlicher, d.h. es lassen sich die konkreten Rahmenbedingungen betrachten und als Kurven darstellen.

Der **SSL Designer** stellt nicht nur Werkzeug, sondern schon fast eine komplette Werkbank dar. Hier lässt sich die genaue Anzahl der für eine spezielle Beleuchtungsanwendung benötigten LEDs errechnen und zeitgleich der wirtschaftliche Vergleich zu einem herkömmlichen Leuchtmittel ziehen. Hier kann der Nutzer natürlich auch seine Lebensdauervorgaben machen.

Alle Tools basieren an den Datenblattangaben und vielen ergänzenden Informationen von Philips Lumileds und vereinfachen die Entwicklungen von modernen LED-Anwendungen!



# Online LED Reliability Tool



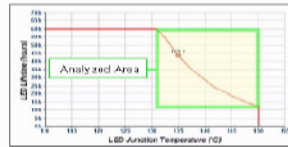
## LED Reliability Tool

[Login/Logout](#)
[Enter FLS Online Tools](#)
[LRT Screen Shots](#)
[How the LRT Works](#)

The LED Reliability Tool (LRT) allows users to truly predict the lifetime of the LUXEON® LEDs in their lighting application as a function of junction temperature and current. Furthermore, the LRT incorporates information on the statistical distribution of the LED population that will meet the lumen maintenance criteria.

### 4 major LED reliability parameters for Analyzed Area:

- **(Bxx, Lyy)**: the xx proportion of a LED population that is expected to be less than the yy lumen maintenance criteria
- **Lifetime**: # of hours that will meet the lumen maintenance criteria with a 90% confidence interval
- **LED junction temperature**: the higher the Tj, the lower the lifetime
- **LED forward current**: with all other variables remaining constant, the higher the current, the higher the Tj and the lower the lifetime



### Required Inputs:

Power LED 1		Power LED 2	
Power LED Product Family:	LUXEON® Rebel	- Select Product Family -	?
Power LED Technology:	InGaN (all)	InGaN (white)	?
(Bxx, Lyy) Probability Distribution:	(B10, L70)	- Select (Bxx, Lyy) -	?
Lifetime Parameter to Solve:	- Select Lifetime Param -		?
	<input type="button" value="Analyze Power LEDs"/> <input type="button" value="Reset"/>		

Bild 18 : Lebensdauerkalkulationstool LRT

# Online LED Reliability Tool

## LUXEON® LED Reliability Results Chart

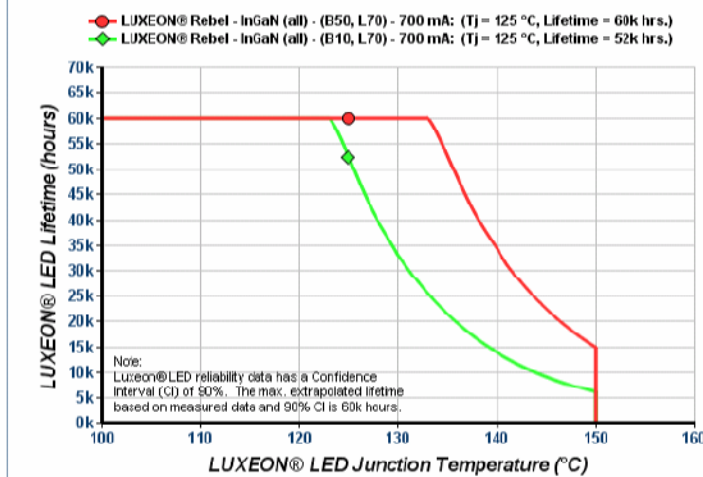


Bild 19 : Applikationsspezifische Ausgabe der Lebensdauererwartung ( B50 / B10 , L70 )



## 9. Mögliche Sicherheitsmechanismen zur Überwachung der Temperatur und zur Strombegrenzung

Viele Vorschaltgeräte haben heute schon eine Temperaturüberwachung integriert, d.h. sobald ein definierter Schwellenwert erreicht wird, reduziert das System den Strom ( in aller Regel durch PWM ) und sorgt dafür, dass die Temperatur nicht weiter steigt. In dem auf Bild 20 gezeigten System der Firma Cypress hat der Microcontroller bereits die Verhaltensmuster der LEDs in der Firmware hinterlegt.

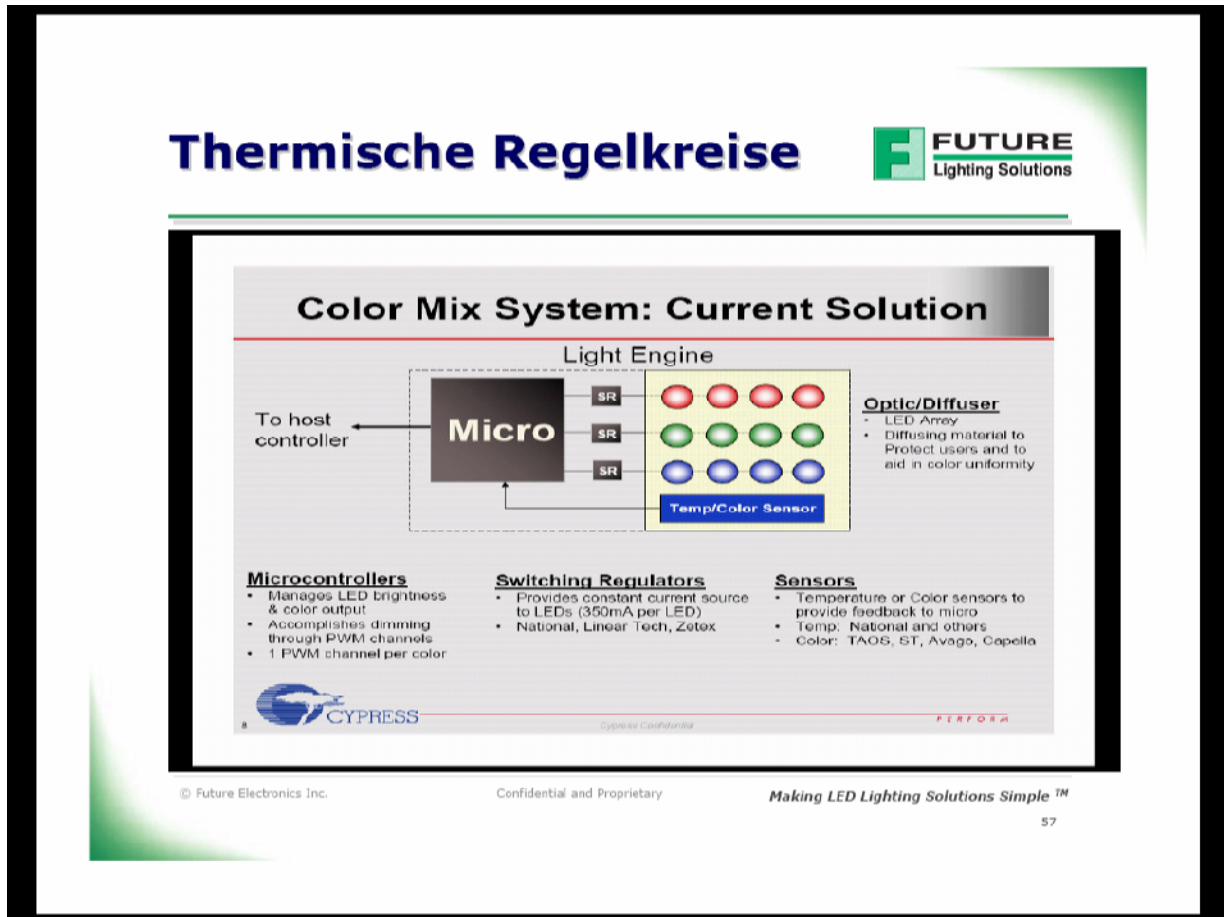


Bild 20 : Beispiel für einen thermischen Regelkreis

## 10 . Zusammenfassung

Entscheidend für die Güte einer Hochleistungs-LED-Anwendung :

- Analyse der äußeren Einflüsse ( maßgeblich Temperaturen )
- Definition der angestrebten Lebensdauer und Prüfung der Realisierbarkeit
- Abgleich der benötigten Lichtströme vs. Anzahl und Bestromung der benötigten LEDs
  - Wenig LEDs mit höheren Strömen und größerer Entwärmung?
  - Mehr LEDs mit geringen Strömen und einfacher Kühlung?
- Das Vorschaltgerät sollte die angestrebte Lebensdauer auch erreichen ( -> keine Elkos )
- Ein thermisches Modell ist immer hilfreich

WICHTIG : es sollte möglichst früh in der Entwicklung die richtige Balance zwischen Performance und den lebensdauerbeeinflussenden Kenngrößen gefunden werden :

**KEEP COOL !**