

Eine wirtschaftliche und umweltfreundliche Arbeitsplatzleuchte mit EcoLight-Leuchtdioden

Hartmut Hosenberg, SRM-Technik GmbH, Colditzstr. 33, 12099 Berlin
www.srm-technik.de

Prof. Dr.-Ing. Peter Marx, MX-ELECTRONIC, Am Kleinen Wannsee 12 J, 14109 Berlin
www.mx-electronic.com

Einleitung

Der stetige Fortschritt der Leuchtdioden-Entwicklung eröffnet neue Horizonte in der Beleuchtungstechnik.

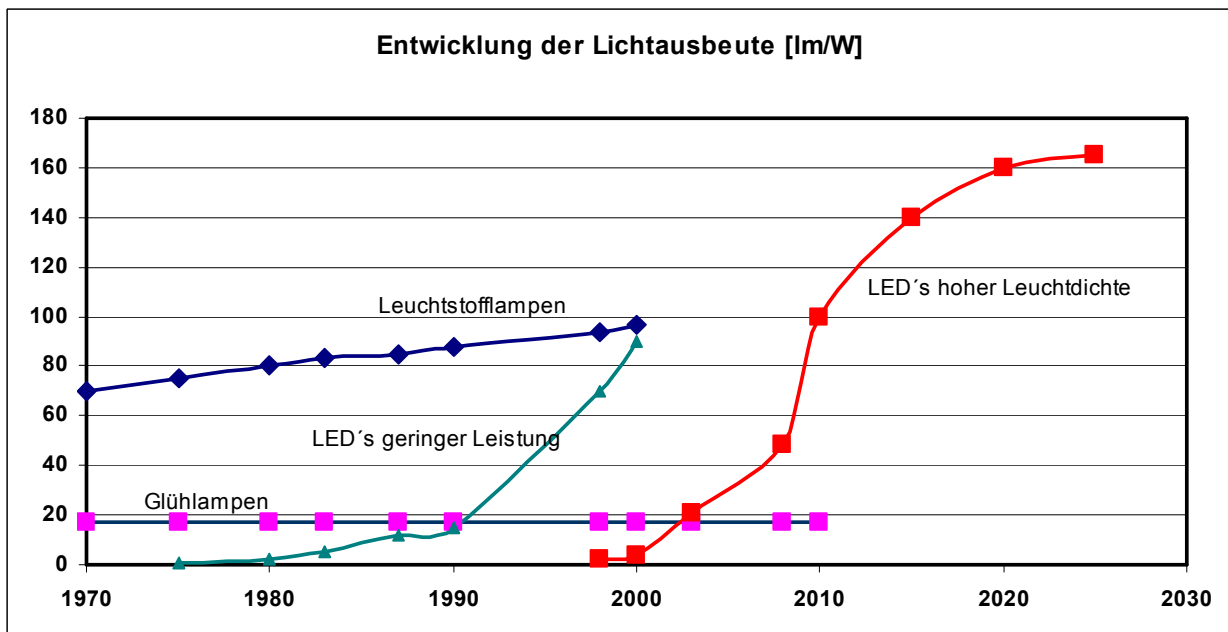


Abb.1: Entwicklung der Lichtausbeuten verschiedener Lichtquellen /1/

Herkömmliche LEDs werden mit konstanten oder gepulsten Gleichströmen (z.B. mit PWM-Modulation) betrieben und benötigen deshalb bei Netzbetrieb ein geeignetes elektronisches Betriebsgerät, wobei die Ansteuerung nicht trivial ist, da der LED-Vorwärtsstrom konstant gehalten werden muss – und das bei einem negativen Temperaturkoeffizienten.

Die LED-PN-Junction-Spannung U ist eine Funktion des Vorwärtsstroms I und der Junction-Temperatur T (= Kristalltemperatur).

$$U = \ln \left[\frac{I}{I_s(T)} + 1 \right] \cdot \frac{nkT}{e}$$

wobei

I_s = Sättigungsstrom (auch abhängig von T)

k = Boltzmann-Konstante

e = Elementarladung

n = 1...2 Emissionskoeffizient

Bei einem konstanten Vorwärtsstrom sinkt die Junction-Spannung, wenn die Junction-Temperatur steigt, d.h. die Verlustleistung verringert sich bei steigender Kristalltemperatur. Der LED-Lichtstrom und die Lebensdauer nehmen mit steigender Kristalltemperatur ebenfalls ab.

Inzwischen gibt es EcoLight- Wechselstrom-LEDs, die vorteilhaft direkt an der Netzspannung 230 VAC betrieben werden können.

Hierbei werden im Prinzip zwei Reihen von LEDs antiparallel geschaltet und über einen ohmschen Vorwiderstand direkt an die Netzspannung gelegt.

Der Autor Marx hat bereits 1999 eine derartige Schaltung, siehe Abb.2, zum Patent angemeldet [2].

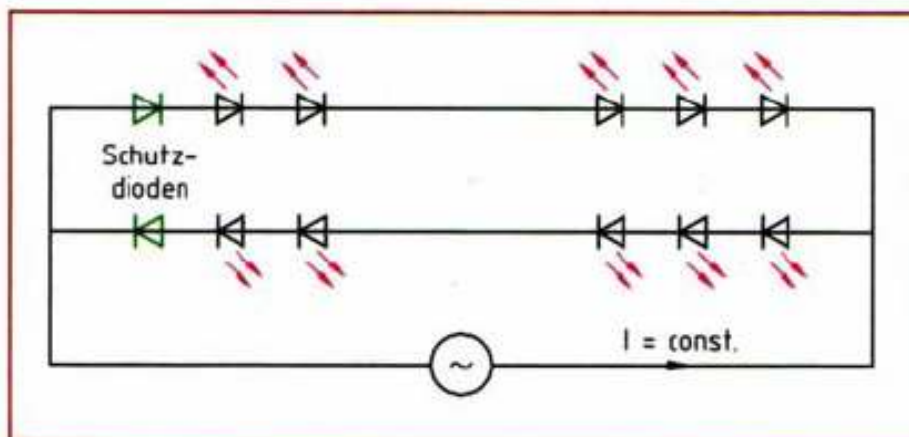


Abb.2: Betrieb von Leuchtdioden mit Konstantwechselstrom

ACRICHE-LEDs

Seoul Semiconductor hat die Schaltung nach Abb.2 nun mit zwei LED-Reihen mit jeweils einer großen Zahl von LEDs antiparallel direkt auf dem Chip integriert. Der LED-Strom (20 mA) wird mittels eines zu der LED-Antiparallelschaltung in Reihe geschalteten ohmschen Vorwiderstands eingestellt.

Die Vorwärtsspannung einer einzelnen LED beträgt etwa 3,5 V.

In der präsentierten Arbeitsplatzleuchte werden 6 innovative weiße ACRICHE-Power - LED's eingesetzt, die ohne Transformator, ohne Gleichrichter und ohne Konstantstrom – bzw. Konstantspannungsregelungs- Elektronik, d.h. ohne ein Vorschaltgerät, direkt über Vorwiderstände an der Netzspannung 230 V / 50 Hz betrieben werden.

Die verwendete warmweiße ACRICHE-LED hat folgende Daten:

$I_F = 20 \text{ mA}$, $U_F = 100 \text{ V}$, $P_{LED} = 2 \text{ W}$, $\Phi_{LED} = 65 \text{ lm}$, $\eta = 32,5 \text{ lm/W}$
Farbwiedergabeindex $R_a = 70$ und ähnlichste Farbtemperatur $T_f = 3000 \text{ K}$

Verfügbar ist auch eine weiße LED mit $R_a = 70$ und $T_f = 6300 \text{ K}$
 $I_F = 20 \text{ mA}$, $U_F = 100 \text{ V}$, $P_{LED} = 2 \text{ W}$, $\Phi_{LED} = 80 \text{ lm}$, $\eta = 40 \text{ lm/W}$

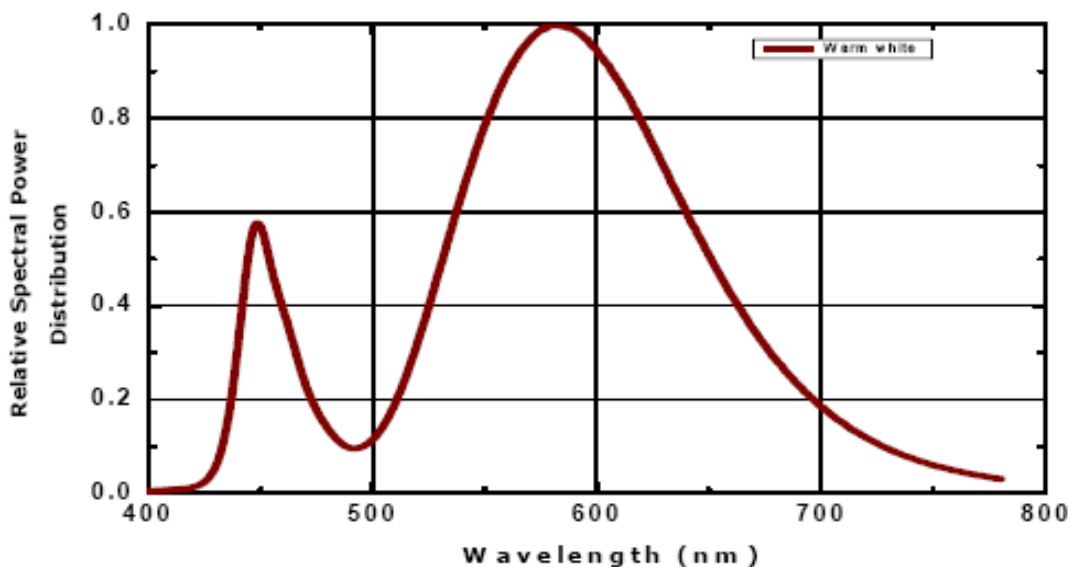


Abb. 3: Spektrum der warm-weißen LED

Die 6 eingesetzten 2 W - LEDs nehmen 12 W und die 6 Vorwiderstände $6 \times 0,4 \text{ W} = 2,6 \text{ W}$ auf. Die von der Leuchte aufgenommene Systemleistung beträgt also 14,6 W. Mit dem Gesamt-Lichtstrom von $6 \times 65 \text{ lm} = 390 \text{ lm}$ ergibt sich eine System – Lichtausbeute von $\eta = 26,7 \text{ lm/W}$ bei einer Lebensdauer von 35.000 Stunden.

Bzgl. des Wirkungsgrades übertreffen diese „ACRICHE“ - LEDs deutlich Allgebrauchsglühlampen mit ca. 12 lm / W .

Die Lichtausbeute soll jedoch nach Angaben von Seoul Semiconductor in nächster Zeit bis auf 120 lm/W steigen.

Im Abstand von 0,5 m liefert die LED-Leuchte auf der Arbeitsfläche eine mittlere Beleuchtungsstärke von 600 lx.

Ein Dimm - Betrieb ist mit einer sehr einfachen Zusatzschaltung möglich.

Temperatur-Management

Bei einer LED wird derzeit etwa 20% der zugeführten elektrischen Leistung in Licht umgewandelt, der Rest muss als Wärme abgeführt werden.

Bei der LED-Leuchtenkonstruktion ist deshalb das Thermo-Management von signifikanter Bedeutung.

Die Wärmeabfuhr erfolgt durch drei physikalische Effekte:

1. Strahlung

$$\Phi = W_{\lambda} = 5,669 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \cdot \varepsilon \cdot A \cdot (T_s^4 - T_a^4)$$

W_{λ}	=	Wärmestrahlung
ε	=	Emissionsgrad
T_s	=	Oberflächentemperatur
T_a	=	Temperatur der Raumumschließungsflächen
A	=	strahlende Oberfläche

2. Konvektion

$$\Phi = \alpha \cdot A \cdot (T_s - T_A)$$

Φ	=	Wärmestrom
A	=	Körperoberfläche
α	=	Wärmeübergangskoeffizient
T_s	=	Temperatur des angrenzenden Wärme leitenden Mediums
T_A	=	Temperatur der Körperoberfläche

Für nicht polierte Oberflächen gilt $\alpha = 6 \dots 8 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$

3. Wärmeleitung

$$\Phi = \lambda \cdot \frac{A}{l} (T_s - T_A) = \frac{\Delta T}{R_{th}} \quad \text{mit } R_{th} = \frac{l}{\lambda \cdot A}$$

A	=	Querschnitt
L	=	Leitungslänge
λ	=	Wärmeleitfähigkeit W/(m K)

keramische Kühlkörper	λ	=	180	W/(m K)
Al	λ	=	237	W/(m K)
Cu	λ	=	380	W/(m K)
Diamant	λ	=	2300	W/(m K)
Kohlenstoff-Nanoröhrchen	λ	=	6000	W/(m K)

Wärmewiderstand:

$$R_{th,parallel,ges} = \frac{1}{\frac{1}{R_{th,1}} + \frac{1}{R_{th,2}} + \frac{1}{R_{th,3}} + \dots + \frac{1}{R_{th,n}}}$$

$$R_{th,seriell,ges} = R_{th,1} + R_{th,2} + R_{th,3} + \dots + R_{th,n}$$

FAZIT: Beim LED-Leuchtendesign muss die Entwärmung der LEDs durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung durch eine geeignete konstruktive Gestaltung der LED-Leuchte ermöglicht werden.

Wärmeleitung:

Kühlkörper-Materialien mit geringem Wärmewiderstand sind auszuwählen, z.B. Kühlsysteme mit integrierten „Heatpipes“. Diese weisen eine extrem hohe Wärmeleitfähigkeit auf. Auch Keramik-Kühlkörper sind gut geeignet. Bei diesen ist die Keramik-Oberfläche durch aufgebrachte Leiterbahnen als Schaltungsträger nutzbar und elektrisch isoliert, d.h. LEDs können direkt durch Lötten mit dem Keramik-Kühlkörper verbunden werden. Im Vergleich zu herkömmlichen Kühlkörpern wird doppelt soviel Wärmeenergie abgeleitet.

Konvektion:

Ausreichend große Leuchten-Oberflächen für den Kontakt mit der Luftströmung sind vorzusehen (Rippen, raue Struktur usw.). Eine Zwangsbelüftung durch Mini-Ventilatoren mit magnetischer Lagerung (dadurch sehr große Lebensdauer) oder durch eine schwingende Membran ist möglich.

Strahlung:

Die Leuchtenoberfläche sollte einen möglichst hohen spektralen Emissionsgrad ϵ aufweisen.

Es dürfen keinesfalls metallische Oberflächen sein, da diese prinzipiell einen sehr niedrigen Emissionsgrad besitzen

Literatur

/ 1 / Aizenberg, J.B.: Energieeinsparung – eine der größten Herausforderungen der modernen Lichttechnik

/ 2 / Marx, P.: Schaltungsanordnung zum Betrieb von Leuchtdioden mit Konstantwechselstrom, DE 19950388.5, Deutsches Patentamt