

Abdias Mbeusseune

Wirtschaftlichkeit von LED-Leuchten

**Methode zum Vergleich von LED-Leuchten
und Leuchten mit Leuchtstofflampen**

Mbeusseune, Abdias: Wirtschaftlichkeit von LED-Leuchten: Methode zum Vergleich von LED-Leuchten und Leuchten mit Leuchtstofflampen. Hamburg, Diplomica Verlag GmbH 2015

Buch-ISBN: 978-3-95850-530-8

PDF-eBook-ISBN: 978-3-95850-030-3

Druck/Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2015

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomica Verlag GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© Diplomica Verlag GmbH

Hermannstal 119k, 22119 Hamburg

<http://www.diplomica-verlag.de>, Hamburg 2015

Printed in Germany

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei den Personen bedanken, die mich tatkräftig bei der Erstellung dieses Buch unterstützt haben. An erster Stelle danke ich besonders Herrn Prof. Dr.-Ing. Udo Gieseler für den zahlreichen wissenschaftlichen Ratschlägen. Ebenfalls zu Dank verpflichtet bin ich meiner Frau und meiner Eltern, die mir immer unterstützend und zur Seite stand.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	5
1 Einleitung.....	6
2 Geschichte der LED	7
3 Aufbau und Funktionsweise von LEDs.....	8
3.1 T-Type LED	8
3.2 SMD-LED	9
3.3 COB-LED.....	10
4 Wesentlichen Eigenschaften von LEDs	11
4.1 Elektrische Eigenschaften	11
4.2 Optische Eigenschaften.....	12
4.3 Thermische Eigenschaften	12
4.4 Mechanische Eigenschaften.....	14
5 Erzeugung von weißem Licht im Halbleiter	15
5.1 Wellenlängenkonversion mit Phosphoren (Phosphorkonversions-Technologie).....	15
5.2 Multichip-Lösungen (RGB-Technologie)	16
6 Stand der Technik	17
7 Zuverlässigkeit von LEDs.....	18
7.1 Lebenszyklus.....	18
7.2 Lebensdauer.....	18
7.2.1 Lebensdauer bei Lichtstromdegradation ($L_x B_y$)	19
7.2.2 Lebensdauer bei Totalausfall ($L_x C_y$)	21
7.2.3 Lebensdauer bei Kombination von Lichtstromdegradation und Totalausfall ($L_x F_y$)	23
7.3 Einflussfaktoren auf die Lebensdauer von LEDs.....	24
7.3.1 Temperatur	25
7.3.2 Betriebsstrom	29
7.3.3 Weitere Einflussfaktoren.....	29
8 Hauptkriterien zur Auswahl der LED-Leuchte	31
8.1 Lichtausbeute	31
8.2 Farbwiedergabeindex und Farbtemperatur	32
9 Aktueller Stand der Normen	34

10	Wartung von Beleuchtungsanlagen	36
10.1	Lampenlichtstromwartungsfaktor (<i>LLMF</i>)	37
10.2	Lampenüberlebensfaktor (<i>LSF</i>)	38
10.3	Leuchtenwartungsfaktor (<i>LMF</i>)	38
10.4	Raumwartungsfaktor (<i>RSMF</i>)	38
11	Vordimensionierung der Beleuchtung	40
12	Bewertung von Beleuchtungsvarianten in der Bibliothek	43
12.1	Analyse des Raums	43
12.2	Analyse der Art der Sehaufgabe	44
12.3	Festlegung der Parameter für die Energiebewertung	45
12.4	Auswahl von Leuchten	46
12.4.1	LED-Leuchte	46
12.4.2	T5 (T16)-Leuchte	47
12.5	Vorgehensweise	49
12.6	Beleuchtungssimulation mit LED-Leuchten	50
12.7	Beleuchtungssimulation mit T5 (T16)-Leuchtstofflampen	56
12.8	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	61
13	Diskussion der Ergebnisse	67
14	Zusammenfassung	69
15	Technologie-Ausblick	70
I	Anhang	71
I.1	Definition des Lichts	71
I.2	Lichttechnische Größen	71
I.2.1	Lichtstrom	71
I.2.2	Lichtstärke	71
I.2.3	Beleuchtungsstärke	72
I.2.4	Leuchtdichte	72
I.3	LED-Lebensdauer-Wartungsfaktortabelle	72
II	Quellenverzeichnis	74
III	Abbildungsverzeichnis	78
IV	Tabellenverzeichnis	80

Abstract

The rapid and permanent development of the performance of LEDs constantly opens up new fields of application. LEDs have just started being used in the general lighting segment, but they are not a traditional light source. LEDs are electronic components that only emit light and some controversies questioning their lifetime and longevity have been raised. The lack of a clear explanation about the meaning of life LEDs confuses consumers, but the present research paper tries to get a better understanding of the lifetime of LEDs.

Before comparing LEDs to traditional light sources with electronic ballast, the paper will present the various types of LEDs and examine their respective properties. Then the lighting of a library with workstations will be used as case study to analyze if the use of LEDs is cost-efficient in regard of the luminous flux over a period of 18 years.

Keywords: LEDs, cost-efficient, life-time, luminous flux, lumen maintenance

1 Einleitung

Kaum ein anderes Thema wird derzeit in dem Arbeitsgebiet der Beleuchtung so häufig diskutiert wie deren energetisches Einsparpotenzial und Wirtschaftlichkeit. Konventionelle Lampen wurden aufgrund energetischer Anforderung vom Markt verdrängt ([1], [2]) und bei den Kompaktleuchtstofflampen treten Schwierigkeiten mit der Entsorgung auf. Daher scheinen sich zurzeit die LED als energieeffiziente Lösung für die Beleuchtung mit längerer Lebensdauer durchzusetzen. Wie sieht es jedoch mit ihrer Beleuchtungsqualität aus? Wie energie- und kosteneffizient sind die LEDs? Die Antwort auf diese Fragen sollte auf einer ganzheitlichen und objektiven Wirtschaftlichkeitsbetrachtung basieren. Die Höhe der tatsächlichen Investitionskosten und der Lichtstromdegradation der LEDs sollte berücksichtigt werden. Daneben ist die tatsächliche Beleuchtungsdauer der Beleuchtungsanlage unter Berücksichtigung der genormten Beleuchtungsstärke zu beachten. Zur Veranschaulichung wird eine Beleuchtungssimulation in einem Raum betrachtet. Zur Diskussion stehen zwei Beleuchtungs-Varianten: eine LED-Variante und eine konventionelle Variante mit Leuchtstofflampen. In der Wirtschaftlichkeitsberechnung werden die Kosten für die Beleuchtung über einen Zeitraum von 18 Jahren verglichen.

Die Zielsetzung dieser Studie ist die Degradation des Lichtstroms von LED-Produkten über die Zeit zu verstehen und den Einfluss der Lichtstroms-Degradation von LEDs auf die Wirtschaftlichkeit zu untersuchen.

2 Geschichte der LED

Im Jahr 1907 entdeckte der englische Forscher Henry Joseph Round Elektrolumineszenzercheinungen an anorganischen Halbleiterkristallen des Typs SiC (Siliziumkarbid). Eine quantenphysikalische Beschreibung des LED-Effekts gelang allerdings erst 1951 durch Lehovec, Accado und Jamgochian [3]. Lichtemittierende Dioden werden seit den 60-er Jahren des letzten Jahrhunderts in Massenproduktion hergestellt. Anfänglich wurden LEDs wegen ihres geringeren Stromverbrauchs als kleine Anzeigelampen in Elektrogeräten benutzt. Zuerst konnten nur rote LEDs seriell hergestellt werden. Durch die Entwicklung neuer Materialien und neuer Kristallzuchtverfahren gelang es im Jahr 1994 erstmalig, weißes Licht zu realisieren und, unter Verwendung von GaN-Schichtsystemen auf Saphir, welche blaues Licht erzeugen (siehe Abbildung 2.1) Die effiziente blaue LED konnte so entwickelt werden. Seit Mitte der 90-er Jahre konnte die Effizienz und die Leistungsfähigkeit der LEDs kontinuierlich gesteigert werden.

Lag die Effizienz 1996 noch bei ca. 10 lm/W bei LEDs, liegt sie heute für die besten verfügbaren weißen Hochleistungsleuchtdioden bei ca. 140 lm/W [4].

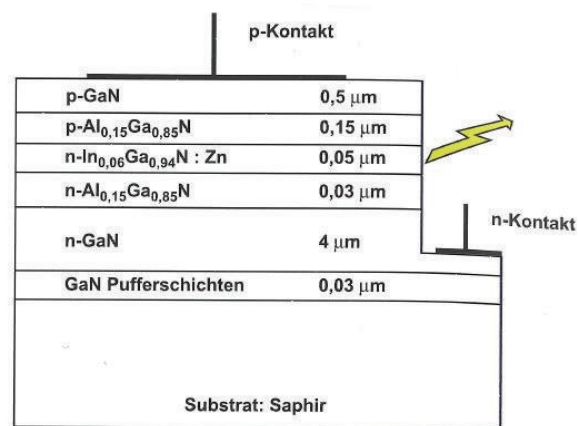


Abbildung 2.1: Aufbau der ersten technisch produzierten blauen LED (Nichia, 1994)