

Aufbau einer Langzeitmessung von LED Systemen

*Manfred Scholdt, Christoph Beyer, Martin Perner, Cornelius Neumann
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lichttechnisches Institut
Engesserstr. 13, D-76131 Karlsruhe*

ABSTRACT

In diesem Beitrag wird ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung der Einbrennzeit von LED Systemen vorgestellt, welches in Rahmen des Projektes UNILED entwickelt wurde. Ein Teilziel des BMBF Projektes UNILED ist die Abschätzung der Lebensdauer von LED Systemen aus Kurzzeitmessungen. Um dafür valide überprüfbare Daten zu erhalten, wird am Lichttechnischen Institut ein Langzeitmessplatz mit ca. 200 Brennplätzen aufgebaut, mit dem die Systeme gealtert werden können. Hierfür werden vorbereitend die verschiedenen Messnormen zur Lebensdauerbestimmung von LED Systemen untersucht und der Lebensdauerbegriff für LED Systeme definiert. Des Weiteren ist eine Eingangscharakterisierung der LED Systeme notwendig, um einerseits eine thermische Stabilisierung der Systeme gewährleisten zu können und andererseits die Messzeit der einzelnen Module möglichst gering zu halten. Die Optimierung dieser gegenläufigen Parameter wird als Bewertungsmaßstab für das Verfahren zur Bestimmung der Einbrennzeit herangezogen.

Einführung

Im Zuge der Erhöhung des LED Lichtstromes der letzten Jahre ist es möglich, LED Module in der Allgemeinbeleuchtung einzusetzen. Hierbei soll durch die Implementierung von LED Systemen auf Basis von Standardlampensockeln wie beispielsweise E27, E14 oder GU10 auch der Einstieg in den Massenmarkt erreicht werden. Diese LED Retrofits zeichnen sich durch unterschiedliche Qualität aus. So wurde 2009 von Stiftung Warentest eine Lebensdaueruntersuchung durchgeführt [1]. Bei dieser fielen einige Hersteller durch unrealistische Angaben auf. Einen negativen Höhepunkt setzte ein Hersteller, bei dem anstatt seiner prognostizierten 50.000 Stunden Lebensdauer alle beim Test beteiligten Systeme bereits in den ersten 1000 Stunden ausfielen.

Da auch die namenhaften Hersteller für ihre gängigen LED Systeme Lebensdauern von 25.000 bis 35.000 Stunden angegeben, ist es unpraktikabel, alle Systeme über diese Zeitspanne zu testen. Daher soll im Rahmen des Projektes UNILED ein Kurzzeittest entwickelt werden, mit dem die Lebensdauern von LED Systemen prognostiziert werden.

Um die aus Kurzzeittests vorhergesagten Lebensdauern auf eine verlässliche Basis zu stellen, werden diese durch eigene Langzeitmessungen validiert. Zur theoretischen Vorbereitung dieser Untersuchung werden zwei Fragestellungen geklärt:

Erstens wird der Begriff „Lebensdauer“ im Zusammenhang mit LED Systemen definiert, um im Langzeittest aussagen zu können, wann ein System als ausgefallen zu bewerten ist. Zweitens wird die Einbrennzeit von LED Systemen untersucht, da Messwerte von LED Systemen nur in einem thermisch stabilen Arbeitspunkt vergleichbar sind. Um die einzelnen Messzeiten weiter zu reduzieren, ist es notwendig den thermisch stabilen Arbeitspunkt schnell zu identifizieren. Nach diesen Kriterien wird ein neu entwickeltes Verfahren vorgestellt und gegenüber bereits bekannten Verfahren bewertet.

Definition der Lebensdauer

Wie bei jedem Zuverlässigkeitstest müssen bereits im Vorfeld des Versuches die Kriterien festgelegt werden, nach denen ein Einzelsystem als ausgefallen zu bewerten ist. Die ersten rein auf LED Bedürfnisse zugeschnittenen Normen sind die von der amerikanischen „Illuminating Engineering Society“ (IES) vorgestellten Normen IES LM-79-08 und IES LM-80-08 [2] [3]. Diese geben als Ausfallursache den Rückgang des Lichtstroms einer LED an. Hierbei werden mit 70% und 50% Lichtstromrückgang vom Ausgangslichtstrom zwei mögliche Schwellenwerte genannt, ab denen ein LED-System als ausgefallen zu bewerten ist. Das Erreichen dieser Degradationszeiten wird mit Messungen zwischen 6.000 und 10.000 Stunden ermittelt und ab dem letzten Messwert auf die Schwellenwerte von 70% und 50% extrapoliert.

Die neueste PAS-Vorabveröffentlichung der „International Electrotechnical Commission“ (IEC) als LED-Modulnorm [4] kombiniert den Lichtstromrückgang mit einem möglichen Totalausfall von LED Systemen als Ausfallursache. Es wird allerdings dem Hersteller offen gelassen, ob er die Lebensdauer auf den Lichtstromrückgang, einen Totalausfall oder eine Kombination aus beiden Ausfallgründen beziehen will. Abweichend zur IES wird der Schwellenwert des Lichtstromrückgangs auf 90%, 80% oder 70% bezogen, was eine deutliche Verschärfung darstellt. Die Ausfallmenge der Systeme lässt die IEC offen. So wird es dem Hersteller überlassen, ob bei Ablauf der Lebensdauer 10 % oder 50 % der Systeme ausgefallen sind.

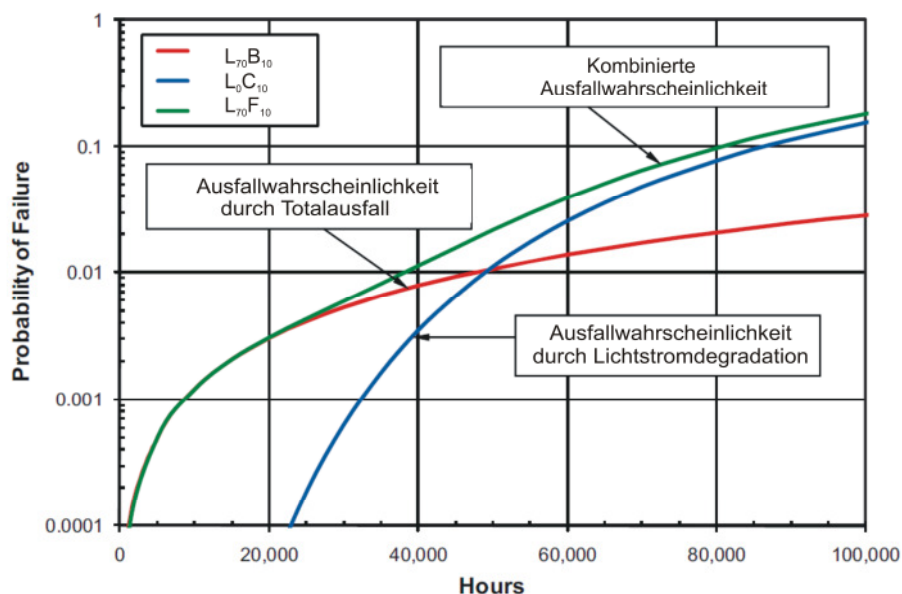


Abbildung 1 Die verschiedenen Ausfalldefinitionen: Totalausfall, Lichtstromrückgang und kombinierte Ausfallrate einer LUXEON Rebel [5]¹.

In Abbildung 1 sind die Auswirkungen der verschiedenen Ausfalldefinitionen für eine LUXEON Rebel bei einer festen Temperatur dargestellt [5]. Dabei sind sowohl die Unterschiede der verschiedenen Definitionen als auch die Auswirkung der unterschiedlich definierten Lebensdauergrößen von 10 % und 50 % zu sehen. Ob als Ausfallgrund die Wahrscheinlichkeit eines Totalausfalls oder die Lichtstromdegradation dominieren, kann je nach LED System und Betriebstemperatur variieren.

¹ Die Abbildung wurde zur besseren Übersichtlichkeit leicht verändert, ohne die Graphen zu verfälschen.

Zwei Normverfahren zur thermischen Stabilisierung

Die Norm der IES [3] beschreibt folgende thermische Stabilisierungsvoraussetzung. Es wird alle 15 Minuten der Lichtstrom gemessen. Hiervon werden immer jeweils die letzten drei Messpunkte verglichen, was ein Intervall von 30 Minuten ergibt. Unterscheidet sich der gemessene Lichtstrom an diesen drei Messpunkten um weniger als 0,5 %, dann gilt die Lampe als thermisch stabil. Andernfalls wird 15 Minuten später der nächste Messpunkt genommen. Als typische Stabilisierungszeit wird ein Intervall von 30 Minuten bis zu 2 Stunden angegeben. Aus dieser Definition folgern jedoch lange aber einfach zu bestimmende Einbrennzeiten.

Deutlich verfeinert wird dieses Verfahren von der IEC Norm [4]. Diese verlangt innerhalb eines 15 Minutenintervalls einen Messpunkt pro Minute. Danach wird von den letzten fünf Messwerten jeweils die Differenz zwischen Maximums und Minimums mit dem letzten Fünfminutendurchschnitt verglichen. Ist die Differenz kleiner als 1 % des Durchschnitts, gilt die Lampe als thermisch stabil. Ist sie nicht stabil, wird die Prozedur wiederholt, wobei nach 45 Minuten das Verfahren eingestellt wird und die Lampe als stabil zu betrachten ist.

Die Vorteile dieser beiden Verfahren liegen in der Einfachheit der Durchführung. Allerdings sind beide Verfahren auf 15 Minutenraster festgelegt, was eine individuelle Anpassung auf einzelne Systeme erschwert. Um diese Verfahren zu verbessern werden im vorgestellten Ansatz LED Systeme zu Anfang genau vermessen und dann individuell bewertet.

Der Messaufbau

Zur Messung der LED Systeme während der Einbrennphase wird die Messungen zweier Parameter kombiniert. In einer U-Kugel wird mit integraler Messung der Lichtstrom und parallel am Lampenkühlkörper per Oberflächenmessung die Lampentemperatur gemessen. Zur Kontrolle wird ein weiterer Temperaturmessfühler im Kugelinnenraum platziert. Eine Kalibrierung der U-Kugel ist nicht notwendig, da zur Charakterisierung des Einbrennverhaltens der LED Systeme nur die relative Veränderung des Lichtstromes betrachtet wird. Die zeitliche Auflösung ist mit maximal 10 Messwerten pro Sekunde fein genug, dass sie keine Einschränkung der Messung darstellt.

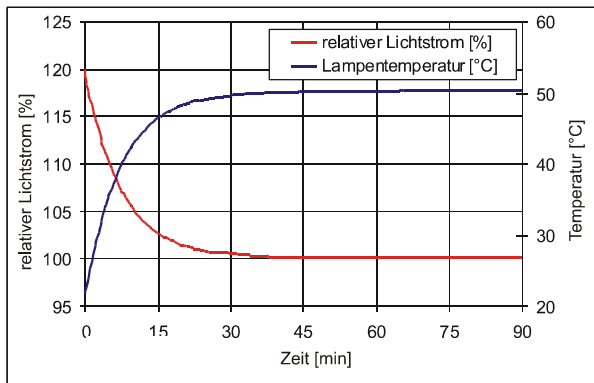
Charakterisierung des Einbrennverhaltens

In der Messung zum Einbrennverhalten (siehe Abbildung 2) ist deutlich zu erkennen, dass sich der Lichtstrom bei steigender Lampentemperatur deutlich abnimmt. Es wird ein exponentieller Ansatz gewählt, um die Lichtstromdegradation zu beschreiben. Hierfür wird mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate [6] eine exponentielle Anpassung nach folgender Formel durchgeführt:

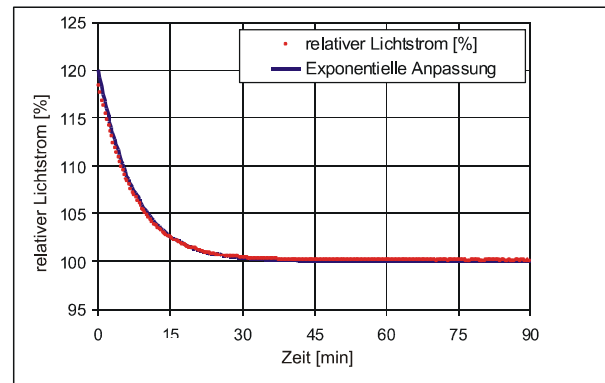
$$I(t) = A \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + I_0$$

Hierbei ist $I(t)$ der gemessene Lichtstrom, A der Wert des maximalen Lichtstroms² direkt nach dem Einschalten, t die Zeit, τ eine Zeitkonstante und I_0 der Lichtstromwert einer thermisch stabilen LED. Da die quadratische Abweichung ($=R^2$) bei allen gemessenen LED Systemen immer größer als 0,99 ist [7], bestätigen alle Messungen die These, dass die exponentielle Anpassung die Lichtstromdegradation hinreichend gut beschreibt.

² In den Meisten Fällen der Lichtstrom der LED bei Raumtemperatur



a) Messung



b) Exponentielle Anpassung

Abbildung 2 Lichtstrom und Lampentemperatur von LED Systemen nach dem Einschalten

Aus der exponentiellen Anpassung kann auch direkt die thermische Stabilisierungszeit abgeleitet werden. Um das bewerkstelligen zu können, muss man sich festlegen, ab welchem Fehler bzw. Schwellwert eine LED als thermisch stabil zu bezeichnen ist. In Anlehnung an die Norm der IEC wird in der folgenden Betrachtung ein Fehler von 1% als Schwelle angenommen, die Methode kann jedoch auch auf jeden anderen Wert angepasst werden:

Normiert man den Lichtstrom mit 100% auf den Wert der thermisch stabilen LED (I_0 -Wert), beschreibt der erste Summand die Abweichung von diesem 100%-Wert, was gleichbedeutend mit dem Fehler ist. Somit kann mit dem Wert des maximalen Lichtstrom A und der Zeitkonstanten τ eine Zeit berechnet werden, zu der der Fehler gleich 1% ist. Um dieses System zu vereinfachen, wird sich als thermische Stabilisierungszeit diskret auf ganzzahlige Vielfache der Zeitkonstanten τ beschränkt. Welcher Werte als Vielfache von τ als Einbrennzeit zu nehmen ist, wird in Anhängigkeit vom maximalen Lichtstrom A in Tabelle 1 gezeigt.

| A [%] | 0 - 2,7 | 2,8 - 7,4 | 7,5 - 20,1 | 20,2 - 54,6 | 54,7 - 148,4 |
|-------------------|---------|-----------|------------|-------------|--------------|
| t_{Stab} | 1τ | 2τ | 3τ | 4τ | 5τ |

Tabelle 1 Prozentuale Amplitudenhöhen mit minimaler Stabilisierungszeit bei 1% Fehler

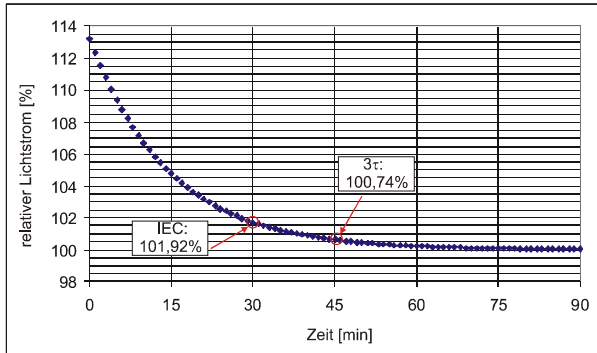
Vergleich der drei Methoden zu Bestimmung der Einbrennzeit

Im Folgenden werden die Verfahren der IES und IEC zur Bestimmung der Einbrennzeit mit dem Verfahren der exponentiellen Anpassung verglichen. Dafür wurde ein System verwendet, dass mit einem Anfangslichtstrom von 13,7 % über dem thermisch stabilen Wert eine deutliche Degradation zeigt und repräsentativ ist. Die bestimmten Einbrennzeiten nach IES, IEC und exponentieller Anpassung sind in Abbildung 3 zu sehen.

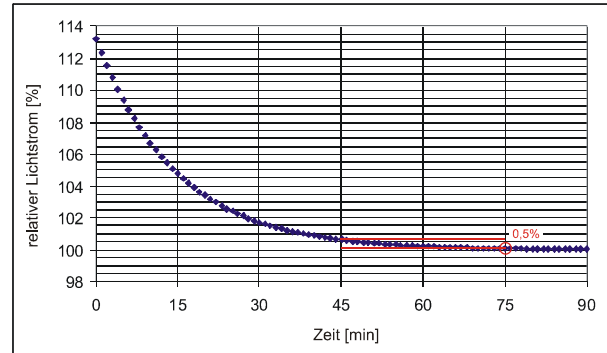
Nach der IES Norm müssen drei Messwerte jeweils nach 15 Minuten verglichen werden. Liest man die aus der Messung ab, stellt sich selbst bei einem 1 %-Intervall³ zwischen den

³ Nach Norm müsste das Intervall 0,5% betragen, zu besseren Vergleichbarkeit wurde allerdings wie in den Anderen Betrachtungen die 1% Grenze gewählt. Aus der geringeren Grenze würde eine Stabilisierungszeit von 90 Minuten folgen, was qualitativ auf die gleichen Aussagen hinausläuft.

drei Messwerten eine normgerechte, thermische Stabilisierung erst nach 75 Minuten ein. Der hier bestimmte relative Fehler von theoretischen 0,01% ist so klein, dass thermische Schwankungen des umgebenden Raumes die übergeordnete Rolle spielen und der Fehler folglich vernachlässigt werden kann.



a) Definition nach IEC exponentieller Anpassung



b) Definition nach IES

Abbildung 3 Stabilisierungszeiten nach IES, IEC und exponentielle Anpassung

Die Berechnung nach IEC ergab eine Stabilisierungszeit von 30 Minuten. Der in dieser Messung bestimmte relative Unterschied zur thermisch stabilen Wert ist allerdings mit 1,9 % sehr groß und liegt über der als akzeptabel gewählten Grenze von 1 %. Somit lässt sich das LED System in dieser Messung nicht als thermisch stabil bezeichnen.

Die exponentielle Anpassung ergibt bei $A = 13,7\%$ eine Stabilisierungszeit von $t_{\text{Stab}} = 3\tau = 45,5$ Minuten. Der Fehler bei nach dieser Einbrenndauer liegt mit 0,74 % wie gewünscht unterhalb von 1 %. Es wurde folglich eine deutlich Reduzierung der Einbrennzeit gegenüber dem Verfahren der IES erreicht, während das in diesem Fall schnelle Verfahren der IEC nicht die Kriterien einer Stabilisierung erfüllt.

| Verfahren | Stabilisierungszeit t_{Stab} | Relativer Fehler |
|----------------|---------------------------------------|------------------|
| IES | 75 Min | < 0,01 % |
| IEC | 30 Min | 1,9 % |
| Exp. Anpassung | 45,5 Min | 0,74 % |

Tabelle 2 Vergleich der drei Verfahren zu thermischen Stabilisierung

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde die Methode der „exponentiellen Anpassung“ zur Charakterisierung des Einbrennverhaltens von LED Systemen vorgestellt und mit zwei bereits veröffentlichten Verfahren verglichen. Die Methode hat gegenüber der Methode der IES den Vorteil, dass sie eine lange Einbrenndauer reduzieren kann. Im Vergleich mit der Methode der IEC kann sie die aus der Verkürzung resultierenden Fehler nach einer gegebenen absoluten Grenze beschränken.

Literaturverzeichnis

- [1] Stiftung Warentest, „Licht und Schatten,“ Stiftung Warentest, Berlin, 2009.
- [2] IES, „IES LM-79-08 Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products,“ Illuminating Engineering Society of North America, New York, 2007.
- [3] IES, „IES LM-80-08 Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources,“ Illuminating Engineering Society of North America, New York, 2008.
- [4] „IEC/PAS 62717 - LED modules for general lighting - Performance requirements,“ International Electrotechnical Commission, 2011.
- [5] Philips Lumileds, „Lifetime Behavior of LED Systems White Paper WP15,“ Philips Lumileds, 2010.
- [6] B. Burgeth, „Mathematik für Informatiker III,“ Mathematical Image Analysis Group, Saarland University, 2007.
- [7] C. Beyer, „Optische Eingangscharakterisierung von LED-Systemen,“ Bachelorarbeit am KIT, Karlsruhe, 2011.