

Einbrennverlauf und Brennlageverhalten von LED-Leuchten und deren Konsequenzen für die Leuchten-Goniophotometrie

Dipl.-Phys. Max Wagner, Prof. Tran Quoc Khanh, TU Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik, Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt

Einleitung

Hochleistungsleuchtdioden für Beleuchtungszwecke lösen mittlerweile immer mehr die bisherigen Leuchtmittel ab. Eine genaue Bestimmung des Lichtstroms von LED-Leuchten ist somit notwendig, um das jeweilige Produkt zu charakterisieren. Am Fachgebiet Lichttechnik wurden teilweise erhebliche Unterschiede zwischen eigenen Messungen und Herstellerangaben festgestellt.

Für die Messung größerer Leuchten wie zum Beispiel Straßenleuchten stehen verschiedene Ausführungen von Goniometern zur Verfügung. Beim sogenannten Leuchtenwender mit fester horizontaler Achse wird das Messobjekt um zwei Achsen bewegt. Das Drehspiegelgoniometer dreht die Leuchte um eine vertikale Achse und stellt mit Hilfe von Spiegeln den anderen Freiheitsgrad sicher. Somit hängt die Leuchte dabei immer in ihrer normalen Brennlage.

Das Ziel der Untersuchung ist eine Betrachtung des Brennlageverhaltens von LED-Leuchten. Für möglichst exakte Messwerte bei Verwendung eines Leuchtenwenders ist wichtig, dass sich die Abhängigkeit des Lichtstroms von der Brennlage in einem Rahmen von wenigen Prozent bewegt. Außerdem kann mit Hilfe einer mathematischen Beschreibung des Einbrennverhaltens die Zeit bis zur Stabilität schon während der Messung vorausgesagt werden.

Einbrennverhalten

Bei LED-Leuchten wird das Einbrennverhalten hauptsächlich durch die Änderung der Chip-Temperatur bestimmt. Ab dem Einschalten heizt sich die LED immer weiter bis auf einen stabilen Zustand auf. Das liegt vor allem daran, dass der Kühlkörper der Leuchte Zeit benötigt, um mit der Umgebung in ein thermisches Gleichgewicht zu gelangen. Der Vorgang kann vereinfacht mit einer Exponentialfunktion beschrieben werden. Werden die thermischen Kapazitäten der LED selbst und des Substrats vernachlässigt¹, ergibt sich folgende Gleichung.

$$\phi(t) = (\phi_0 - \phi_E) \cdot e^{-t/\tau} + \phi_E$$

Hierbei ist ϕ_0 der Lichtstrom nach dem Einschalten und ϕ_E der Wert, auf den sich die Leuchte stabilisiert. Auch wenn die Daten der Einbrennkurve nicht alle Werte bis zur Stabilisierungsphase aufweisen, lässt sich trotzdem eine Exponentialfunktion anfitten, welche den Verlauf des Lichtstroms sehr gut widerspiegelt. Die Anpassung erfolgt durch die Methode der kleinsten Quadrate. Dabei ist zu beachten, dass die Startwerte im Vorhinein eingeschränkt werden, damit das Programm sinnvolle Lösungen liefert.

Um nun das Einbrennverhalten einer Leuchte zu bestimmen, muss der Lichtstrom zeitlich aufgenommen werden. Dies erfolgt mit einem Goniophotometer mit einem thermostabi-

liserten Messkopf. Die Leuchte wird in die Start-Messposition gefahren und die Lichtstärke senkrecht zur Leuchte jede Sekunde gemessen. Eine Messzeit von 60 min liefert genug Werte, die daraufhin ausgewertet werden können.

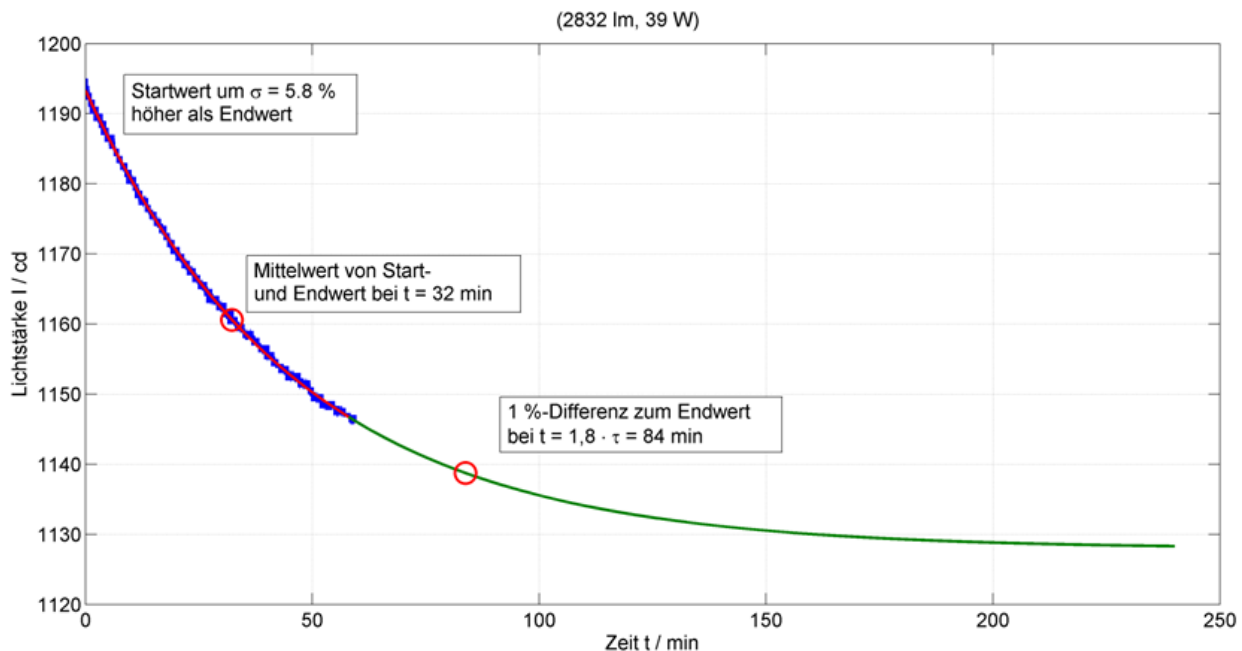


Abbildung 1: Anpassung der Messwerte mittels exponentieller Funktion

Der Startwert liegt um 5,8 % höher als der Endwert, das heißt, dass der Lichtstrom der Leuchte zwischen Einschalten und Stabilisierung um diesen Prozentwert aufgrund des Temperaturanstiegs abfällt. Nach 60 min ist noch nicht die Stabilisierung erreicht, wie im Diagramm gut zu erkennen ist. Die grüne Kurve beschreibt die Anpassungsfunktion, erst nach 84 min liegt die Differenz zum Stabilisierung bei einem Prozent. Die große Zeitkonstante von etwa 45 min lässt sich durch eine Betrachtung der Leuchte erklären. Der Kühlkörper und somit das Gehäuse ist groß im Verhältnis zur leuchtenden Fläche. Daher besitzt er auch eine große Wärmekapazität, welche erst nach längerer Zeit aufgefüllt werden kann, da die thermische Leistung dazu eher gering ist.

Brennlagenabhängigkeit

Während einer Messung mit einem Leuchtenwender befindet sich jede Leuchte in Positionen, die nicht ihrer normalen Brennlage entsprechen. Beim Einsatz im Feld nehmen die meisten Leuchten eine horizontale Brennlage ein, während beim Messen eine vertikale Lage vorherrscht. Zusätzlich findet noch eine Drehung um die senkrecht zur Lichtaustrittsfläche stehende Achse statt. Eine Untersuchung dieser Brennlageabhängigkeit betrachtet die Leuchte in waagerechter sowie senkrechter Position. In einem festen Abstand wird senkrecht die Beleuchtungsstärke zeitlich gemessen. Dafür dient ein Aufbau (Abb. xx), der die Leuchte gegenüber der Messoberfläche möglichst ortsfest hält. Aufgrund des Eigengewichts der Leuchte stellt sich je nach Messposition ein geometrischer Versatz ein. Außerdem wird das auftretende Streulicht auch Unterschiede aufweisen. Da dies jedoch nur beim Wechseln der Messposition innerhalb eines kleinen zeitlichen Rahmens auftritt, kann es bei der Auswertung erfasst und damit korrigiert werden. Zusätzlich werden ebenso die vertikalen Positionen in der 0°- und 90°-Stellung untersucht.

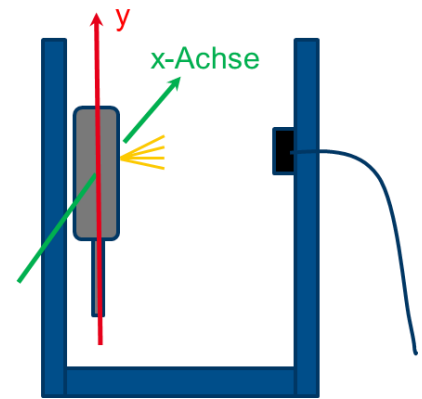
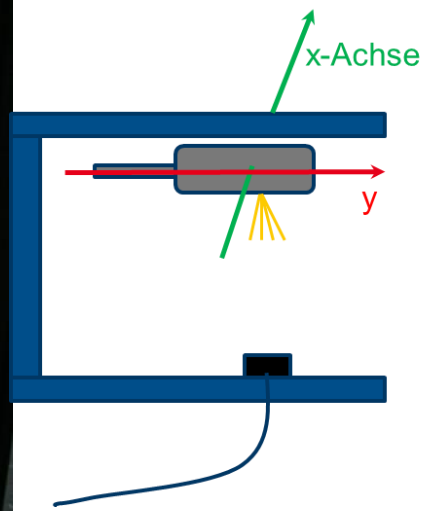


Abbildung 2: Messaufbau

Horizontale Brennlage

Vertikale Brennlage

Das Ergebnis dieser Messung ist in folgender Abbildung zu sehen. Vorerst gelangt die Leuchte in ihrer horizontalen Lage in einen stabilen Zustand. Nach der Drehung in die vertikale Lage springt der Lichtstrom auf einen kleineren Wert und läuft nun wiederum in eine Stabilität. Dabei sinkt der Lichtstrom ab, da die Temperatur sich in der Leuchte erhöht. Das liegt an einem im Vergleich zu vorher geringerem Wärmeübergang, da der Kühlkörper für die normale, horizontale Brennlage optimiert ist. Der Sprung auf einen kleineren Lichtstrom ist damit zu erklären, dass die Distanz zwischen Leuchte und Sensor nun etwas größer ist als vorher. Die geometrische Abweichung ist mit 0,7 % um das siebenfache höher als die Brennlagenabweichung mit 0,1 %. Dieser geringe Einfluss der Brennlage auf den Lichtstrom liegt an der glatten und unstrukturierten Oberfläche des Leuchtengehäuses, dessen Wärmeabgabe durch Konvektion auch bei verschiedenen Lagen nur geringe Unterschiede aufweist.

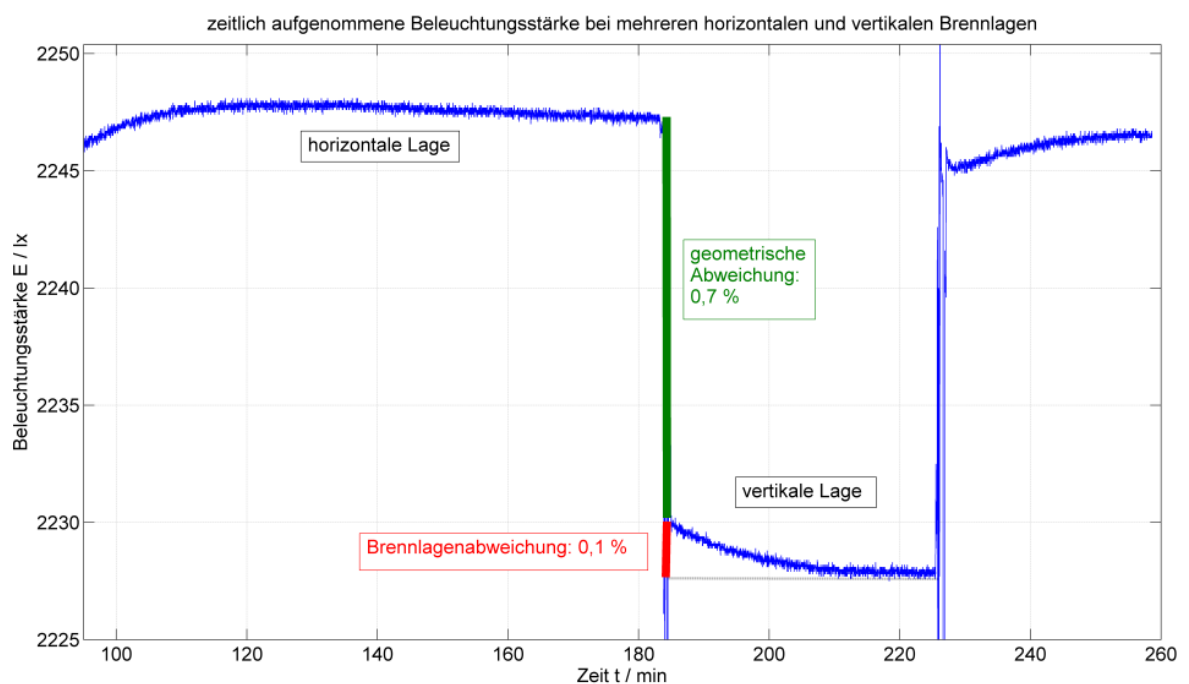


Abbildung 3: zeitliche Beleuchtungsstärke bei Wechsel der Brennlagen

Bei einer weiteren Untersuchung wurde eine Leuchte mit außen liegenden Kühlrippen auf einem Goniophotometer unter verschiedenen Bedingungen gemessen. Während der ersten Messung befanden sich die Kühlrippen in horizontaler Lage, also in einem Zustand mit schlechterer Wärmeabgabe durch geringere Konvektion. Vor der zweiten Messung wurde die Leuchte in der Position eingebrannt, in der die Kühlrippen eine vertikale Lage einnehmen und dadurch effizienter arbeiten. Somit erfolgt eine bessere Kühlung der Leuchte, was einen höheren Lichtstrom zur Folge hat. Um geometrische Abweichungen zu verhindern erfolgte die Messung der Ebenen wiederum in der waagerechten Lage. Im Verlauf passt sich die Temperatur in der Leuchte somit dem Zustand der ersten Messung an. Das Verhältnis der Lichtstärken (I_1/I_2) der ersten und zweiten Messung ist in folgendem Diagramm dargestellt.

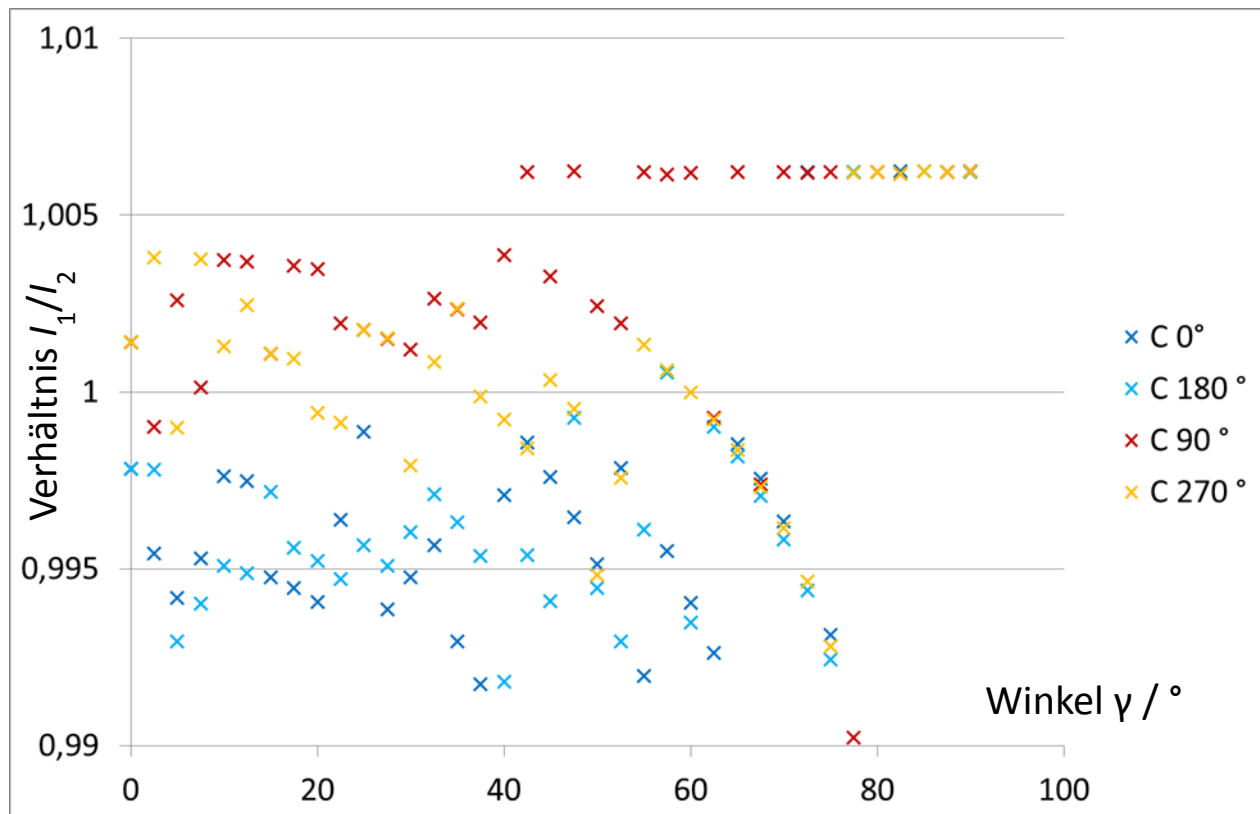


Abbildung 4: Messergebnisse der vier Hauptebenen

Wie zu erwarten beträgt das Verhältnis der beiden Lichtstärken zum großen Teil Werte kleiner Eins. Bei der Goniophotometermessung werden zuerst die Ebenen C 0° und C 180° abgefahren, als letzte gehen die Ebenen C 90° und 270° in die Messung ein. Bei Beginn liegen die Lichtstromwerte bei der zweiten Messung noch oberhalb der Werte des ersten Durchgangs, da die Leuchte noch eine kühlere Temperatur aufweist. Dies ändert sich im zeitlichen Verlauf, so dass sich die Lichtströme immer weiter angleichen. Die blauen Messwerte (C 0/180) liegen fast alle unterhalb von Eins, die gelben und roten (C 90/270) bewegen sich um Eins oder liegen etwas oberhalb. Insgesamt bewegen sich die Abweichungen innerhalb von 1,5 %, obwohl die untersuchte Leuchte große, außen liegende Kühlrippen besitzt.

Ergebnisse

Die Brennlageabhängigkeit wurde mit mehreren Leuchten untersucht. Dabei handelte es sich um unterschiedliche Typen: Straßenleuchten, Downlights und Büroleuchten. Da diese Leuchten auch im Rahmen eines anderen Projektes aufgeführt sind, wird hier die gleiche Namenszuordnung verwendet.

Tabelle 1: Messergebnisse von fünf verschiedenen Leuchten

	J_1	K_1	H_1	F_3	E_1
Einbrennen	2,5 %	0,8 %	4,1 %	2,4 %	4,7 %
waagrecht-senkrecht	0,1 %	-	1,2 %	1,3 %	1,2 %
Senkrecht (0°)-senkrecht(90°)	0,9 %	0,1 %	1,0 %	0,2 %	0,8 %

Der Einbrennvorgang trägt bei allen Leuchten mehr zum Lichtstromabfall bei als die Brennlage. Er ist jedoch stark abhängig von Art und Aufbau der Leuchte. Dies ist den unterschiedlichen thermischen Kapazitäten und Leistungen zuzuordnen. Die Brennlageabhängigkeit bewegt um ein Prozent und kann sogar bis zu 0,1 % betragen. Es lässt sich keine Regelmäßigkeit des Einflusses der Positionen bestimmen. Ob die Drehung um die zur Lichtaustrittsfläche senkrechten Achse oder die vertikale und horizontale Brennlage entscheidend sind hängt allein von der Leuchte ab. So ist zum Beispiel bei J_1 die Drehung bedeutender als die waagerechte oder senkrechte Lage. In einem Fall konnte kein Unterschied zwischen normaler und senkrechter Position festgestellt werden, da das Messrauschen diesen überlagerte.

Diskussion und Ausblick

Für das Einbrennen einer Leuchte vor dem eigentlichen Messvorgang kann eine Anpassung der Messwerte mittels einer exponentiellen Funktion erfolgen. Dadurch ist zu jeder Zeit bekannt, wie groß die Abweichung zum Stabilitätswert ist. Außerdem kann vorausgesagt werden, ab wann die Messung gestartet werden kann, falls beispielsweise ein Fehler von einem Prozent akzeptiert wird. Dies könnte auch in das Messprogramm implementiert werden, damit direkt beim Einbrennvorgang die Zeit der Stabilisierung nach wenigen Minuten angezeigt wird.

Die Brennlageabhängigkeit bewegt sich bis etwa ein Prozent Abweichung. Dies liegt bei einer Messung mit einem Leuchtenwender im Akzeptanzbereich. Im Verhältnis dazu spielt der Einbrennvorgang eine entscheidend größere Rolle und sollte daher besonders beachtet werden.

Weitere Untersuchungen sollen die Möglichkeiten zur Bestimmung der thermischen Kapazitäten und Widerständen von LED-Leuchten unter Analyse der Einbrennvorgänge herausarbeiten.

Literatur

¹ Scholdt, M. G.: *Temperaturbasierte Methoden zur Bestimmung der Lebensdauer und Stabilisierung der LEDs im System*, Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, 2013