

Einfluss von Betriebsstrom und Umgebungstemperatur auf den Alterungszustand der elektrischen Größen von High Power LEDs

Benjamin Weigt, Prof. Dr.-Ing. Kai Homeyer

Hochschule Hannover, Fakultät 1, Fachgebiet: Industrieelektronik, Digitaltechnik und Lichttechnik

Abstract

Der Alterungszustand von LEDs ist eine wichtige Fragestellung für Hersteller und Verbraucher, da die LED zurzeit die bedeutendste Beleuchtungstechnik ist. Die LED als Gesamtsystem hat viele Alterungsmechanismen, die in den letzten Jahren auf über fünfzig gestiegen sind. Die folgende Arbeit analysiert die Änderung der elektrischen Größen in Bezug auf den Alterungszustand der LED durch den Einfluss des Betriebsstromes und Umgebungstemperatur. Die elektrischen Größen wie z.B. Fotostrom und Bahnwiderstand zeigen ihre Auswirkungen in den verschiedenen Bereichen der LED Kennlinie. Das Ziel ist den Alterungszustand elektrisch zu messen und ein elektrisches Ersatzmodell der LED-Alterung zu erstellen. Die Datenbasis bilden High Power LEDs von zwei verschiedenen Herstellern aus unterschiedlichen Halbleitermaterialien, die bei jeweils drei verschiedenen Betriebsströme und Umgebungstemperaturen über 9000 h gealtert sind.

Index Terms: Degradation, High Power LEDs, Messdaten über 9000 h

1 Einleitung

Der Alterungszustand von LEDs ist eine wichtige Fragestellung für Hersteller und Verbraucher, da die LED zurzeit die wichtigste Beleuchtungstechnik in privaten Haushalten und Industrie ist. Die Anzahl der verschiedenen Alterungsmechanismen von LEDs ist in den letzten Jahren von zehn auf über fünfzig gestiegen [1]. Die Messung der einzelnen Alterungsmechanismen ist schwierig, da diese zusammenwirken und die LED nur als gesamtes System gemessen werden kann. Die Degradation wird hauptsächlich über die lichttechnische Größe Lichtstrom nach der Norm IES LM 80-15 gemessen und mit der Norm IES TM-21-11 extrapoliert, da der Lichtstrom die wichtigste Kenngröße der LED ist. Die LED ist allerdings ein nichtlineares elektrisches Bauelement und ihr Verhalten wird allgemein über die U-I-Kennlinie eines PN-Übergangs beschrieben, die sich in verschiedene Bereiche



unterteilt. Die Änderung der elektrischen Größen während der Alterung sind gegenüber der lichttechnischen Größen einfacher und präziser messbar und können Rückschlüsse auf die verschiedenen Alterungsmechanismen durch die Auswirkungen in den verschiedenen Bereichen der UI-Kennlinie wie z.B. Senkung des Fotostroms, Erhöhung des Vorwärts-Leckstromes [2], Erhöhung des Bahnwiderstandes [4] und die Verschiebung der UI-Kennlinie im Rekombinationsbereich [2][3] geben. Durch die Untersuchung der verschiedenen Bereiche der UI-Kennlinie kann das Gesamtsystem LED in Teilsysteme aufgeteilt werden und somit verschiedene Alterungsmechanismen beschreiben.

Die Messdaten eines Dauerversuchs (9000 h) [6] zeigen die genannten Alterungen in der UI-Kennlinie. Die Datenbasis beruht auf einen Dauerversuch mit 720 High Power LEDs von zwei verschiedenen Herstellern mit zwei verschiedenen Halbleitermaterialien GaN LED Typ A und SiC LED Typ B, die jeweils bei drei verschiedenen Betriebsströmen (350 mA, 700 mA und 1000 mA) und Umgebungstemperaturen (55 °C, 85 °C und 95 °C) gealtert wurden.

Die folgende Arbeit zeigt den Einfluss von Betriebsstrom und Umgebungstemperatur sowie die Abhängigkeit des verwendeten Halbleitermaterials auf die Degradation und die damit verbundene Verschiebung der UI-Kennlinie in den einzelnen Bereichen. Das Ziel ist die elektrische Messung des Alterungszustandes und ein elektrisches Ersatzschaltbild der LED zu modellieren, welches das Verhalten der Alterung aus den verschiedenen Bereichen als Gesamtsystem beschreibt. Der erste Teil der Arbeit beschreibt allgemein die Bereiche der Kennlinie, darauf folgen die Messergebnisse für über 9000 h mit anschließender Diskussion.

2 UI-Kennlinie

Die UI-Kennlinie der LED beschreibt den Zusammenhang zwischen Strom und Spannung am PN-Übergang als Exponentialfunktion. Die UI-Kennlinie besteht aus zwei Hauptbereichen, dem Durchlass- und dem Sperrbereich. Der Durchlassbereich unterteilt sich mit steigender Spannung in die drei Bereiche Rekombinations- (I), Diffusions- (II) und Hochstrombereich (III) mit verschiedener Steigung [5]. Der Betriebspunkt der LED liegt normalerweise im Hochstrombereich. Die folgende Abbildung 1 zeigt die Kennlinien einer roten und einer grünen LED, die extern beleuchtet und abgedunkelt gemessen sind.

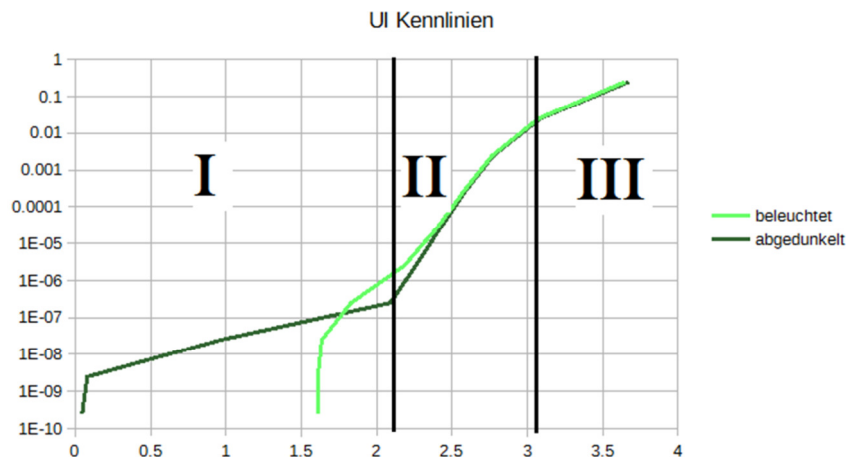


Abbildung 1: Beleuchtete und unbeleuchtete Kennlinie mit Rekombinations- (I), Diffusions- (II) und Hochstrombereich (III)

Der Verlauf der Kennlinie ändert sich bei Beleuchtung gegenüber dem Verlauf der abgedunkelten LED, da die Kennlinie abknickt und folgend durch den 4. Quadranten im generatorischen Bereich verläuft. In diesem Bereich erzeugt die LED durch die Beleuchtung einen Fotostrom. Der Sperrbereich wird nicht betrachtet, da keine Informationen über die Schutzbeschaltung der LEDs vorliegen.

3 Messergebnisse

3.1 UI-Kennlinie in Abhängigkeit der Alterung

Die UI-Kennlinie zeigt alle elektrischen Größen der LED und verschiebt sich während der Alterung. Die folgenden Messungen zeigen die UI-Kennlinie der LED halblogarithmisch für verschiedene Zeitpunkte des Alterungsverlaufs (0h–10634h) und die zwei verschiedenen LED Typen A und B.

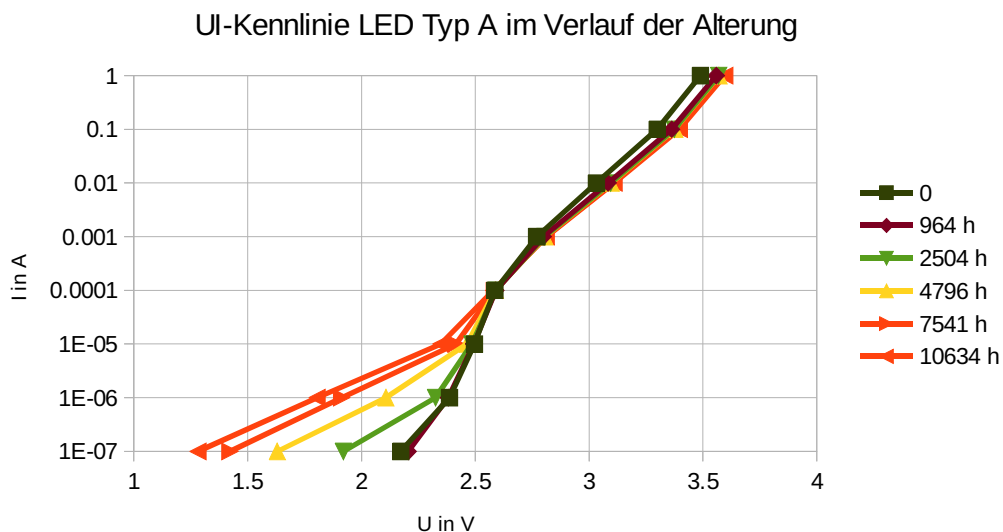


Abbildung 2: Verschiebung der UI-Kennlinie LED Typ A

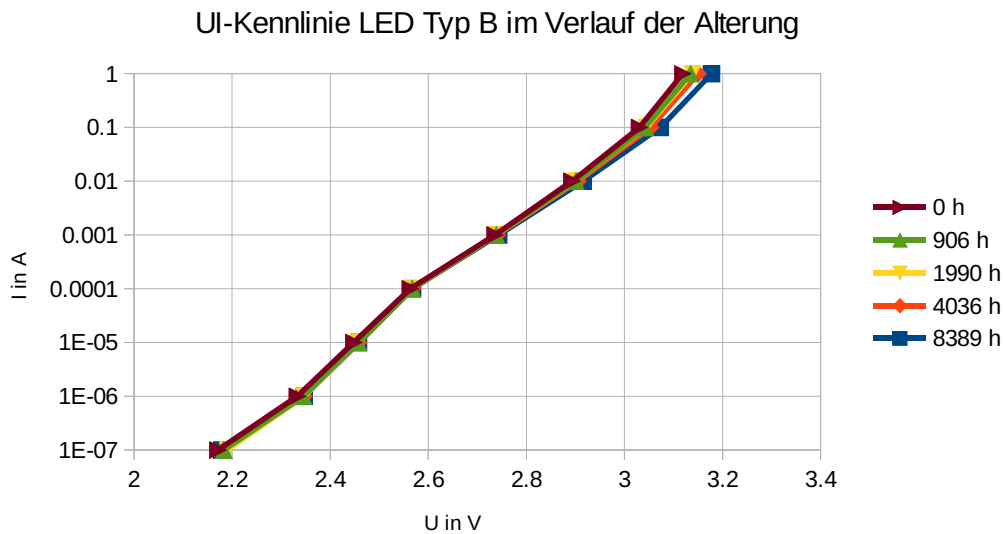


Abbildung 3: Verschiebung der UI-Kennlinie LED Typ B

Die Kennlinie von LED Typ A verschiebt sich stark im Rekombinationsbereich aufgrund der Erhöhung von Leckströmen [2]. Bei der Kennlinie von LED Typ B ist diese Verschiebung nicht zu erkennen, deshalb wird in den weiteren Betrachtungen nur der LED Typ A untersucht. Der LED Typ A unterteilt sich in die zwei weiteren Typen A1 und A2. Im Hochstrombereich verschieben sich Typ A und Typ B durch die Änderung des Bahnwiderstandes [4] der Halbleitermaterialien.

3.2 Einfluss Stromstärke und Temperatur auf den Rekombinationsbereich

Das vorherige Kapitel zeigt eine starke Verschiebung der UI-Kennlinie im Rekombinationsbereich von LED Typ A, darum wird dieser LED Typ A in dem Bereich durch den Einfluss von Betriebsstrom und Umgebungstemperatur genauer betrachtet. Der LED Typ A unterteilt sich in die zwei weiteren Typen A1 und A2. Die folgende Abbildung zeigt die Veränderung der Diodenspannung durch die Alterung, gemessen bei einem Diodenstrom $I_F=100\text{nA}$, für die drei verschiedene Betriebsströme (350 mA, 700 mA und 1000 mA) bei einer konstanten Umgebungstemperatur von $T=95^\circ\text{C}$.

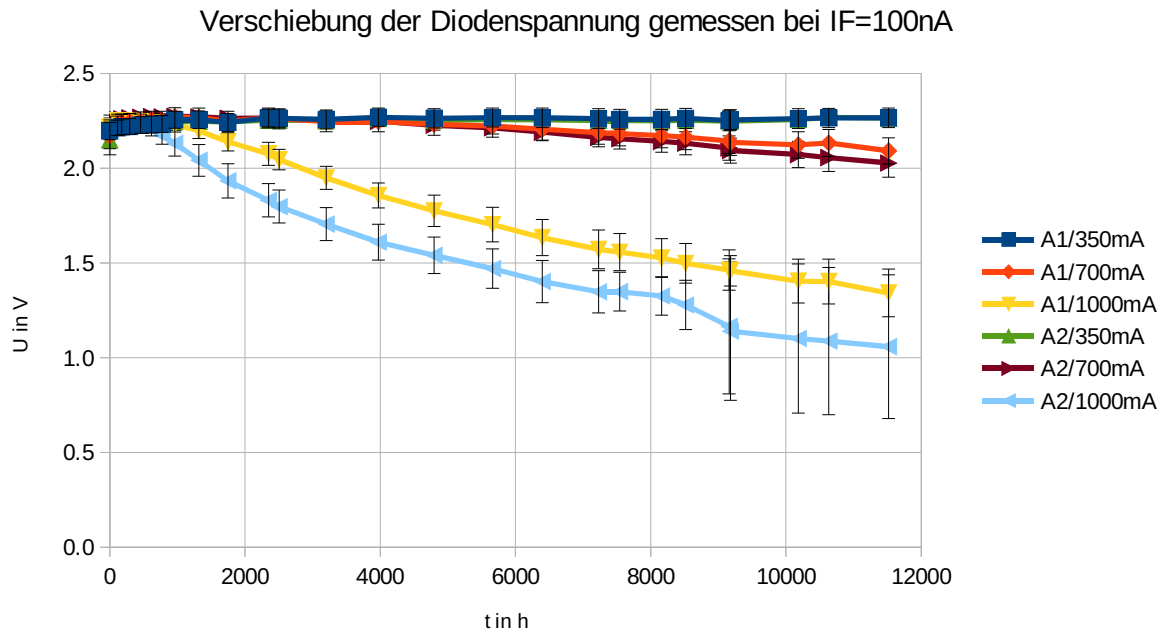


Abbildung 4: Verschiebung der Diodenspannung bei konstanter Umgebungstemperatur (95°C)

Das folgende Diagramm zeigt die Veränderung der Diodenspannung durch die Alterung, gemessen bei einem Diodenstrom $I_F=100\text{nA}$, für die drei verschiedenen Umgebungstemperaturen (55°C , 85°C und 95°C) bei einem konstanten Betriebsstrom von $I_{FB}=1000\text{mA}$.

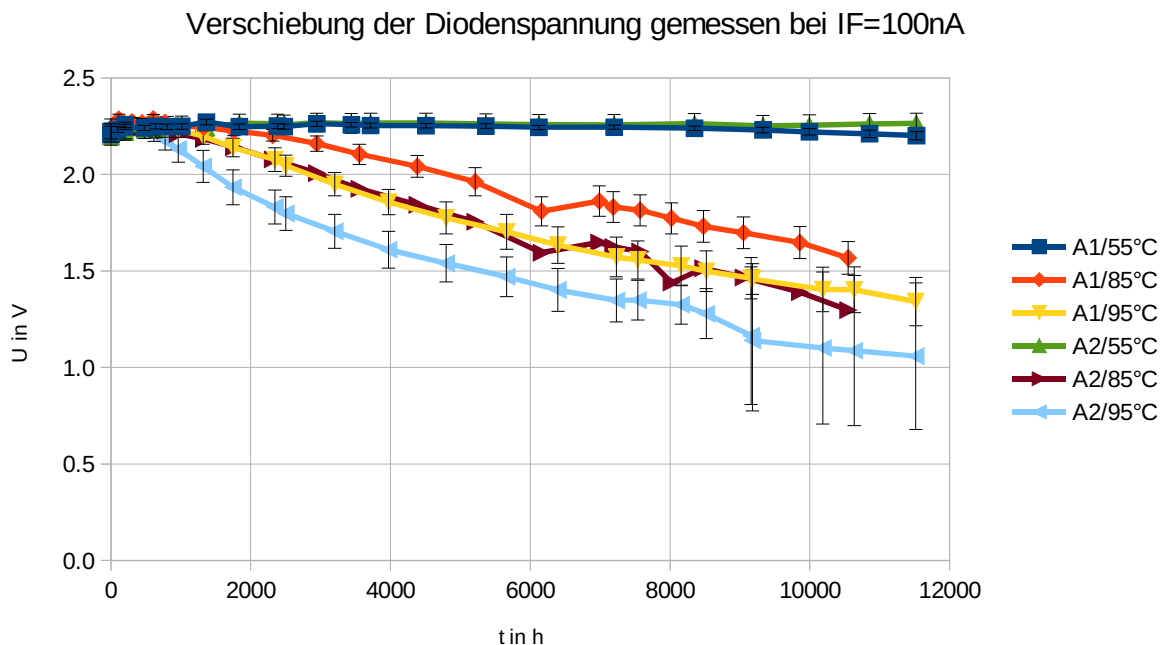


Abbildung 5: Verschiebung der Diodenspannung bei konstantem Betriebsstrom (1000mA)

Die Messungen zeigen eine stärkere Alterung im Rekombinationsbereich (I) bei höheren Betriebsströmen und höheren Umgebungstemperaturen.

3.3 Fotostrom in Abhängigkeit der Alterung

Der Fotostrom ist eine weitere elektrische Größe, die während der Alterung untersucht werden kann. Die folgende Abbildung zeigt die Messung der Kennlinie, während sie mit einer konstanten Lichtquelle beleuchtet wird, für LED Typ A bei den drei verschiedene Betriebsströmen (350 mA, 700 mA und 1000 mA) und einer konstanten Umgebungstemperatur von $T=95^\circ\text{C}$.

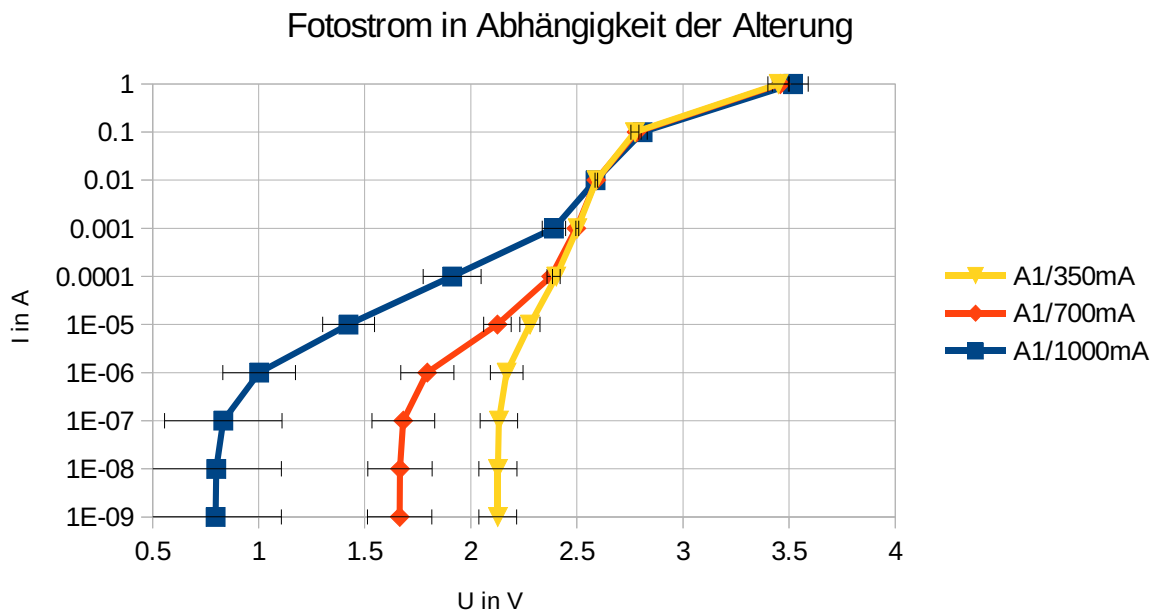


Abbildung 6: Verschiebung der beleuchteten UI-Kennlinie bei konstanter Temperatur

Die Messdaten zeigen einen unterschiedlichen Verlauf der UI-Kennlinie durch den Einfluss der Stromstärke bei konstanter Umgebungstemperatur auf die Alterung der LED. Es kann an dieser Stelle kein Zusammenhang auf einzelne Teilsysteme der LED wie z.B. Alterung des Chips oder Alterung der Linse hergestellt werden.

3.4 Vergleich zwischen Degradation des Lichtstroms und der Diodenspannung während der Alterung bei $I_F=100\text{nA}$ im Rekombinationsbereich

Bei einem höheren Betriebsstrom und einer höheren Umgebungstemperatur ähnelt der Verlauf der Degradation des Lichtstromes dem Verlauf der Änderung der Diodenspannung bei $I_F=100\text{nA}$ im Rekombinationsbereich (I), was sich anhand der beiden Verläufe der stärksten Alterung bei $T=95^\circ\text{C}$ und $I_{FB}=1000\text{mA}$ gut darstellen lässt.

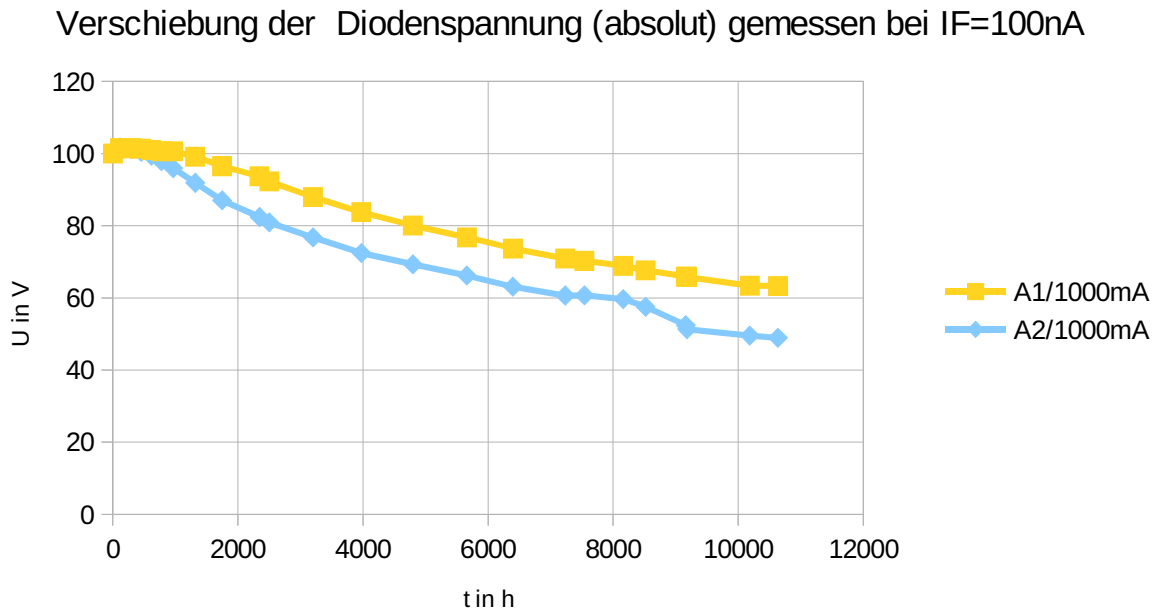
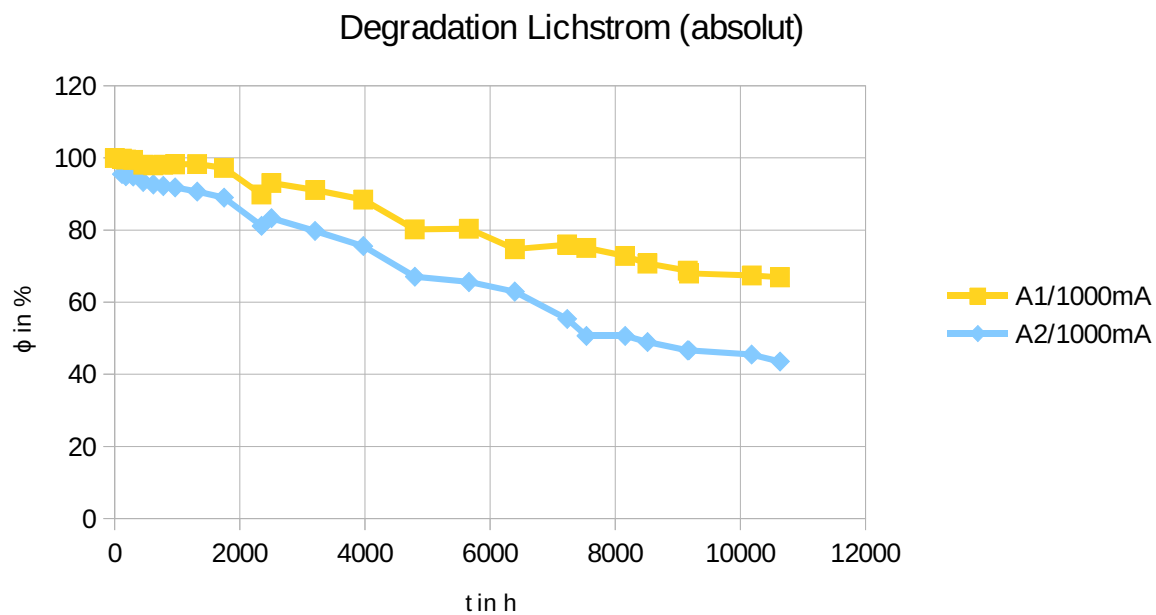
Abbildung 7: Verschiebung Diodenspannung (absolut) gemessen bei $I_F=100\text{nA}$ 

Abbildung 8: Degradation Lichtstrom (absolut)

Um einen Vergleich zu erhalten, werden die absolut Werte des Lichtstromes (Abbildung 8) und der Diodenspannung (Abbildung 7) übereinander aufgetragen und eine lineare Regression gebildet, die in der folgenden Abbildung 9 dargestellt ist.

Lineare Regression Lichtstrom und Diodenspannung im Verlauf der Alterung

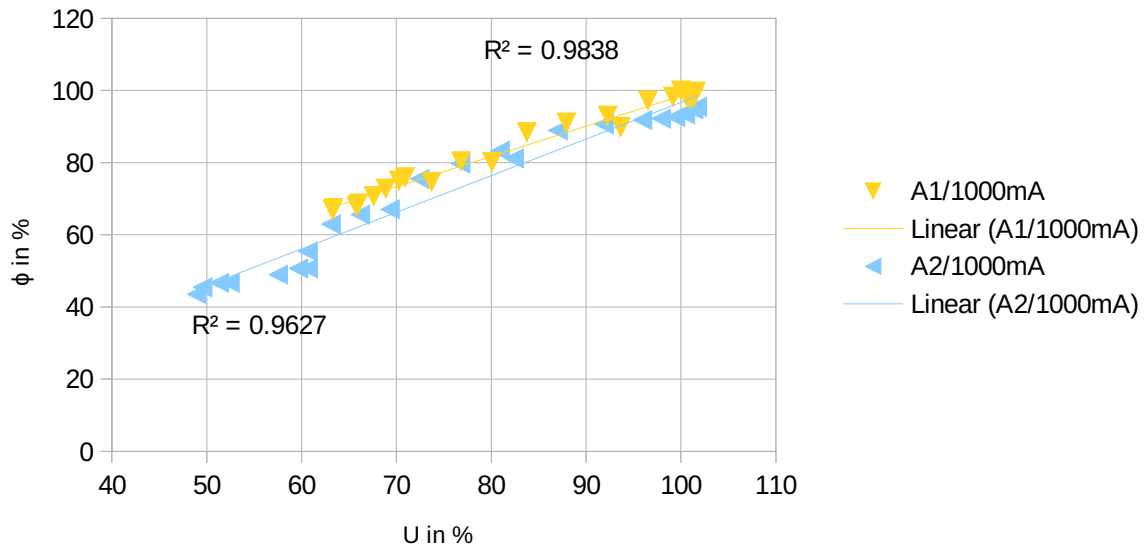


Abbildung 9: Lineare Regression zwischen Lichtstrom und Diodenspannung gemessen bei 100nA

Die absoluten Werte des Lichtstromes und der Diodenspannung zeigen eine sehr gute Korrelation.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die elektrischen Größen der LED ändern sich während des Betriebes über lange Zeiträume, wie die Messergebnisse durch die Verschiebung der Kennlinien zeigen.

Im Hochstrombereich (III) verschieben sich die UI-Kennlinien beider LED Typen A und B Richtung einer höheren Spannung, in Folge der Steigerung des Bahnwiderstandes durch den Betrieb. Der Grad der Erhöhung ist von der Höhe des Betriebsstromes und der Höhe der Umgebungstemperatur abhängig.

Im Diffusionsbereich (II) der Kennlinie findet bei beiden LED Typen A und B keine Verschiebung während der Alterung statt.

Der Rekombinationsbereich (I) verschiebt sich bei GaN LED Typ A1 und A2 stark im Vergleich zum SiC LED Typ B, deshalb wird nur die Alterung des Rekombinationsbereiches von LED Typ A untersucht. Die Messungen zeigen einen Einfluss des Betriebsstromes und der Umgebungstemperatur auf den Grad der Verschiebung des Rekombinationsbereiches der UI-Kennlinie. Bei höheren Betriebsströmen und Umgebungstemperaturen verschiebt sich die Kennlinie im Rekombinationsbereich stärker als bei geringeren Betriebsstrom und Umgebungstemperatur. Außerdem zeigen die Messdaten eine lineare Regression mit hohem Gütemaß zwischen der Degradation des Lichtstroms und der Änderung der Diodenspannung im Rekombinationsbereich, allerdings nur wenn die LED stark degradiert.

Die Messdaten zeigen, dass durch einen Diodenstrom im Rekombinationsbereich eine starke Degradation elektrisch messbar ist. Dadurch kann ein elektrisches Modell für die Alterung erstellt werden, welches z.B. ab einen bestimmten Schwellwert bzw. einer Altersgrenze die LED als defekt meldet.

5 References

- [1] T. Vos, P. den Breeijan und W. D. van Driel. "Quality and Reliability in Solid-State-Lighting: Qua Vadis?", In: Solid State Lighting Reliability Part 2. by Willem Dirk van Driel, Xuejun Fan and Guo Qi Zhang. Bd. 3. Solid State Lighting Technology and Application Series. Cham and s.l.: Springer International Publishing, 978-3319581743, 2018.
- [2] M. Buffolo, C. De Santi, M. Meneghini, D. Rigon, G. Meneghess and E. Zanoni, "Long-term degradation mechanisms of mid-power LEDs for lighting applications", *Microelectronics Reliability* 55 (2015) 1754–1758, 2015,
- [3] S. W. Lee, D. C. Oh, H. Goto, J. S. Ha, H. J. Lee, T. Hanada, M. W. Cho, T. Yao, S. K. Hong, H. Y. Lee, S. R. Cho, J. W. Choi, J. H. Choi, J. H. Jang, J. E. Shin, and J. S. Lee "Origin of forward leakage current in GaN-based light-emitting devices", *Appl. Phys. Lett.* 89, 132117, American Institute of Physics, 2006
- [4] K. Homeyer: „Alterungsuntersuchungen an Hochleistungs-LEDs: Verfahren, Beobachtungen, Messergebnisse“, LICHT 2014, 21. Gemeinschaftstagung, Den Haag, 21.9.–24.09.2014, Tagungsband / Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V.; Lichttechnische Gesellschaft Österreichs; Schweizer Licht Gesellschaft; Nederlandse Stichting Voor Verlichtingskunde (NSVV) (Hrsg.), S. 346-353, PPN: 797732705, 2014
- [5] U. Tietze, Ch. Schenk, „Halbleiter Schaltungstechnik“, Springer, 12. Auflage, pp.16-19, 3-540-42849-6, 2002
- [6] PQL Messdaten Hochschule Hannover