



## 1 Einleitung

Hochleistungs-LEDs mit einer Dominantwellenlänge zwischen 580 nm und 610 nm werden üblicherweise basierend auf dem Halbleiter-Materialsystem InGaAlP hergestellt. Diese Hochleistungs-LEDs werden zum Beispiel häufig in der Veranstaltungstechnik, der Architekturbeleuchtung oder auch für Signalanwendungen eingesetzt.

Eine neue Technologie zur Erzeugung optischer Strahlung im Bereich von 580 nm bis 610 nm mit Hochleistungs-LEDs stellen LEDs basierend auf dem Materialsystem InGaN dar. Hierbei wird ähnlich der Technologie zur Erzeugung weißer LED-Strahlung ein blaues Licht emittierender LED-Chip und ein Konversionsleuchtstoff eingesetzt. Mit Hilfe dieses innovativen amberen Phosphors wird die blaue LED-Strahlung nahezu vollständig in ameres Licht konvertiert.

Dieser Beitrag vergleicht die beiden verschiedenen Technologien zur Erzeugung von amerer LED-Strahlung. Anhand temperaturabhängiger Messungen des Emissionsspektrums werden die Unterschiede sowie die Vor- und Nachteile beider Technologien aufgezeigt.

## 2 Messungen

In diesem Kapitel werden der Messaufbau, die Messbedingungen und die vermessenen LEDs beschrieben und erläutert.

---

### 2.1 Messaufbau

---

Um die LEDs vermessen zu können, werden diese im Reflow-Verfahren auf Metallkernplatinen gelötet. Die Metallkernplatinen mit den LEDs werden dann an dem Messaufbau befestigt. Der Adapter für die LEDs ist temperaturgeregelt. Der Sensor befindet sich direkt unter der Metallkernplatine mit den zu vermessenden LEDs. Für die Messung wird der Adapter mit den LEDs in einen Port einer Ulbricht Kugel eingebracht. Diese Messgeometrie wird als  $2\pi$  Messung bezeichnet. In Abbildung 1 ist der Messaufbau schematisch dargestellt. Dort sind die Ulbricht Kugel, der Messempfänger, die Hilfs-LED, die

---

Schatter sowie der temperaturgeregelte Messadapter mit den darauf befestigten LEDs dargestellt.

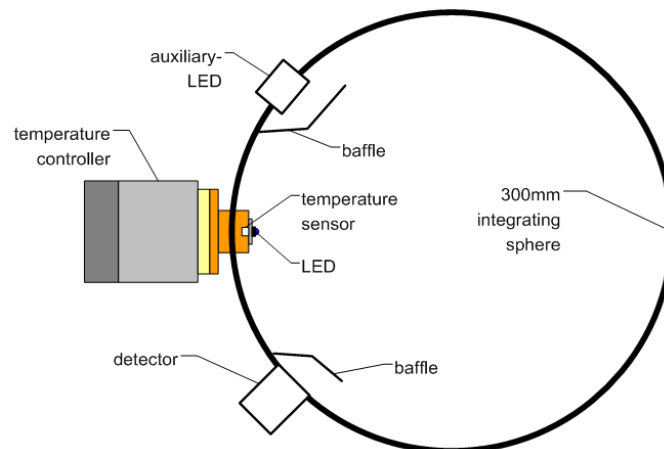


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Messaufbaus

Die spektralen Messungen wurden mit einem CAS140B Spektrometer der Firma Instrument Systems durchgeführt. Der gesamte Aufbau ist kalibriert und rückführbar auf nationale Normale.

---

## 2.2 Messbedingungen

---

Um das temperaturabhängige Verhalten der spektralen und lichttechnischen Kennwerte der LEDs vermessen zu können, muss die Temperatur der LEDs geregelt werden. Dies erfolgt mit Hilfe eines in den Messadapter eingebauten Peltierelements. Alle LEDs werden bei Temperaturen der Metallkernplatinen zwischen 0 °C und 100 °C in 10 °C-Schritten stabilisiert betrieben. Der Vorwärtsstrom wurde bei den Messungen durch ein Keithley 2440 Sourcemeter auf 350,0 mA eingestellt.

---

## 2.3 Messobjekte

---

Alle Messungen wurden jeweils mit fünf LEDs der unten aufgeführten Typen durchgeführt. Bei den vermessenen Binnings handelt es sich um die hellsten zurzeit erhältlichen der einzelnen LEDs.

- Konventionelle amber LEDs: Philips Lumileds Luxeon Rebel LXML-PL01-0030
- Phosphor konvertierte amber LEDs: Philips Lumileds Luxeon Rebel LXM2-PL01-0050

### 3 Messergebnisse

Alle in diesem Abschnitt dargestellten Messergebnisse sind Mittelwerte aller vermessenen LEDs eines Typs. Die Streuung der Messwerte lag bei den konventionellen amberen LEDs (Amber) bei ca.  $\pm 5\%$  und bei den phosphorkonvertierten LEDs (PC Amber) bei ca.  $\pm 10\%$ .

In Abbildung 2 und Abbildung 3 sind die Spektren der vermessenen LEDs in Abhängigkeit der Metallkernplatinen-Temperatur dargestellt. Hier ist die größere Halbwertsbreite der neuartigen phosphorkonvertierten LEDs im Vergleich zu den herkömmlichen amber LEDs deutlich zu erkennen.

Ebenso offensichtlich ist die Abnahme des Emissionsmaximums bei den herkömmlichen amber LEDs. Dieses sinkt bei einer Temperaturerhöhung um 100 °C auf 16 % des Anfangswertes von 0 °C ab. Auch die phosphorkonvertierten Hochleistungs-LEDs zeigen dieses Verhalten. Allerdings ist hier nur ein Rückgang auf ca. 65 %, bei derselben Temperaturerhöhung, zu beobachten.

Die temperaturbedingte Änderung der Peakwellenlänge ist bei den herkömmlichen amber LEDs auch deutlicher zu beobachten als bei den phosphorkonvertierten amber LEDs. Hier verschiebt sich die Peakwellenlänge, bei einer Erhöhung der Metallkernplatinen-Temperatur von 0 °C auf 100 °C, von ca. 590 nm auf 605 nm. Im Gegensatz hierzu verschiebt sich das Emissionsmaximum der phosphorkonvertierten LEDs, bei der gleichen Erwärmung, nur leicht von 590 nm auf 587 nm. Diese leichte Verschiebung in Richtung kürzerer Wellenlängen ist bedingt durch den verwendeten Phosphor.

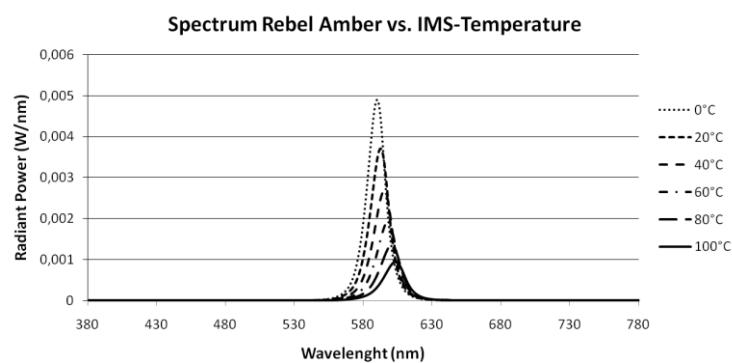


Abbildung 2: Spektrum Luxeon Rebel amber in Abhängigkeit von der Platinentemperatur

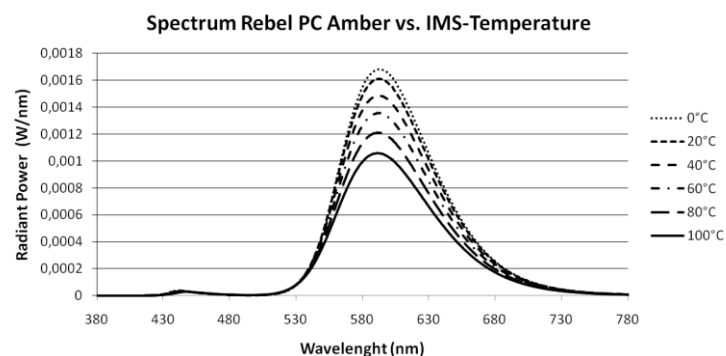


Abbildung 3: Spektrum phosphorkonvertierte Luxeon Rebel amber in Abhängigkeit von der Platinentemperatur

In Abbildung 4 ist der gemessene Lichtstrom der LEDs in Abhängigkeit der Temperatur der Metallkernplatine dargestellt. Der Mittelwert des Lichtstroms der vermessenen phosphorkonvertierten amber LEDs liegt eindeutig höher als der der herkömmlichen amber LEDs. Die Temperaturabhängigkeit der konventionellen amber LEDs ist wie bei allen zuvor vorgestellten Messwerten deutlich ausgeprägter. So sinkt der Lichtstrom bei einem Temperaturanstieg von 100 °C auf 18 % des Anfangswertes ab. Die temperaturstabileren phosphorkonvertierten LEDs fallen im selben Temperaturbereich nur auf ca. 66 % ihres Anfangswertes ab.

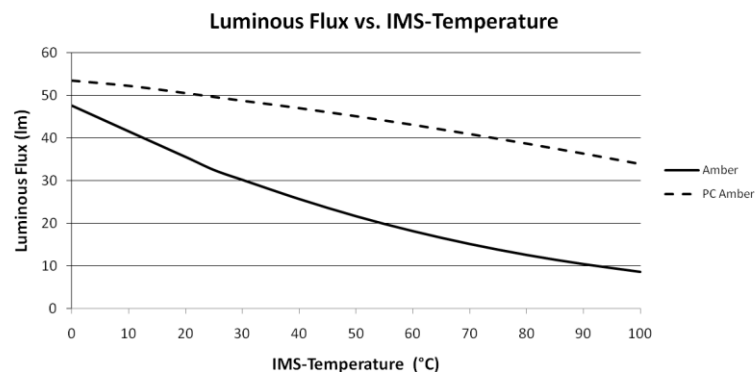


Abbildung 4: Lichtstrom in Abhängigkeit von der Platinentemperatur

Die Lichtausbeute beider vermessenen LED-Typen ist in Abbildung 5 temperaturabhängig dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass bei einer Metallkernplatinen-Temperatur von 0 °C die Lichtausbeuten beider LED-Typen nahezu gleich sind. Da die Lichtausbeute der phosphorkonvertierten LEDs eine geringere Abnahme mit zunehmender Temperatur aufweist, besitzen die phosphorkonvertierten amberen Hochleistungs-LEDs schon ab einer Temperatur von 5 °C eine höhere Lichtausbeute.

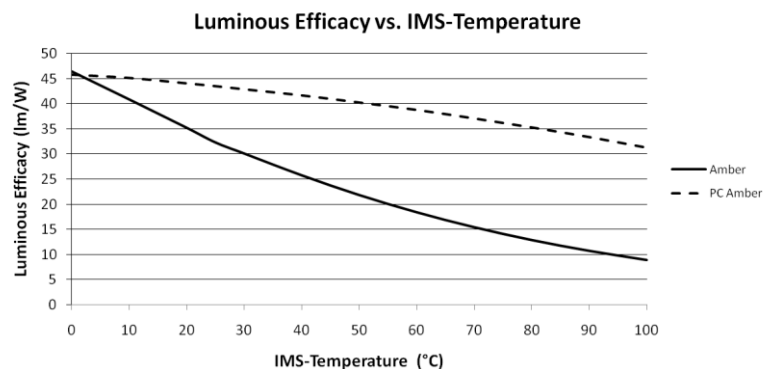


Abbildung 5: Lichtausbeute in Abhängigkeit von der Platinentemperatur

Das photometrische Strahlungsäquivalent der vermessenen LEDs ist in Abbildung 6 in Abhängigkeit von der Temperatur der Metallkernplatine dargestellt. Diese Graphik verdeutlicht noch einmal das thermische Verhalten des Spektrums der LEDs. Das photometrische Strahlungsäquivalent der konventionellen amber LEDs sinkt mit steigender Temperatur. Dies lässt sich mit der Verschiebung des Spektrums hin zu längeren Wellenlängen und der  $V(\lambda)$ -Bewertung des Lichtstroms begründen. Aus dem nahezu stabilen Wert des photometrischen Strahlungsäquivalents der phosphorkonvertierten amber LEDs

lässt sich schließen, dass sich das relative Emissionsspektrum der LEDs nur minimal ändert und lediglich die Intensität der Emission abnimmt.

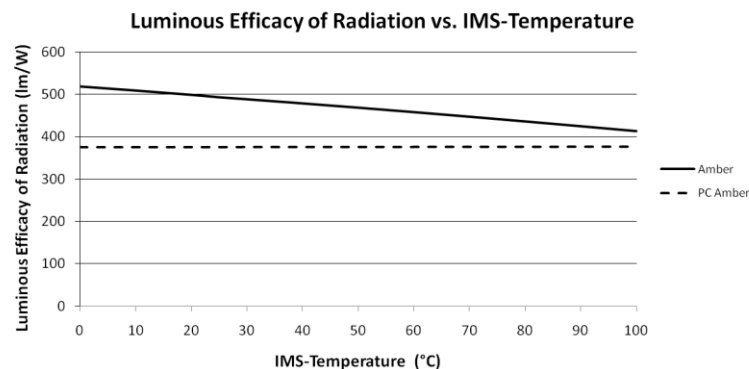


Abbildung 6: photometrisches Strahlungsäquivalent in Abhängigkeit von der Platinentemperatur

Berücksichtigt man das in Abbildung 2 dargestellte thermische Verhalten des Emissionsspektrums der herkömmlichen amberen Hochleistungs-LEDs ist es offensichtlich, dass sich die Farbörter dieser LEDs, mit steigender Metallkernplatinen-Temperatur, entlang des Spektralfarbenzuges verschieben. Dieses Verhalten ist in Abbildung 7 dargestellt. Zusätzlich zu dem thermischen Verhalten der Farbörter ist der ECE-Gelb Farbraum (z.B. Fahrtrichtungsanzeiger) dargestellt. Der Farbort der konventionellen amber LED durchquert diesen Farbraum und liegt nur bei Temperaturen zwischen 10 °C und 60 °C der Metallkernplatine innerhalb des Toleranzbereiches.

Die Farbörter der phosphorkonvertierten amber LEDs liegen nicht auf dem Spektralfarbenzug. Dies begründet sich mit dem breiteren Spektrum des Phosphors. Dies führt zu einer geringeren Sättigung und verschiebt die Farbörter hin zum Unbuntpunkt. Deutlich ist auch hier die geringere Temperaturabhängigkeit der phosphorkonvertierten LEDs.

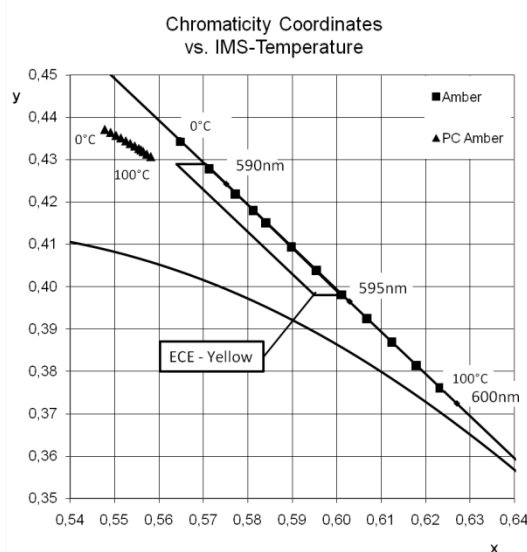


Abbildung 7: Farbörter in Abhängigkeit von der Platinentemperatur

---

## 4 Fazit

Alle Ergebnisse der Messungen haben gezeigt, dass die phosphorkonvertierten amberen Hochleistungs-LEDs deutlich temperaturstabiler sind und einen höheren Lichtstrom bzw. eine höhere Lichtausbeute besitzen. Diese Effekte machen sich vor allem bei praxisrelevanten Metallkernplatinen-Temperaturen bemerkbar.

Die durch die Messungen aufgezeigten Eigenschaften der phosphorkonvertierten LEDs machen viele Anwendungsbereiche vorstellbar. Die höhere Temperaturstabilität wäre zum Beispiel bei Signalanwendungen oder Anwendungen bei denen weiße und ambere LEDs auf einem Kühlkörper untergebracht sind von Vorteil. Durch den ähnlichen Aufbau von weißen und phosphorkonvertierten amberen LEDs (blauer LED Chip mit gelbem bzw. amberem Phosphor) besitzen weiße und die phosphorkonvertierten amber LEDs ein ähnliches Temperaturverhalten. Dies wirkt sich positiv in Anwendungen bei denen eine Mischung aus weißem und amberen Licht notwendig ist aus. Bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen weicht der eingestellte Farbort bei der Verwendung von phosphorkonvertierten amberen LEDs weniger vom Sollwert ab als bei der Verwendung von konventionellen amberen LEDs.

Auch alle Anwendungen, welche in einem größeren Temperaturbereich eingesetzt werden sollen, bei denen vor allem der ausgesandte Lichtstrom die begrenzende Größe ist wären durch die geringere Temperaturabhängigkeit der konvertierten LEDs leichter realisierbar. So müssten diese Anwendungen nicht ganz so stark überdimensioniert werden um zum Beispiel notwendige Standards und Normen zu erfüllen.

Eine weitere Eigenschaft der phosphorkonvertierten amberen LEDs kann ein Nachteil aber auch ein Vorteil sein. Durch die höhere Halbwertsbreite des Emissionsspektrums und die damit verbundene geringere Sättigung des ausgesandten Lichtes geht der quasi monochromatische Charakter der LEDs verloren (vgl. Abbildung 2 und Abbildung 3). Dies könnte zum Beispiel bei Signalanwendungen ein Problem darstellen, welches allerdings durch Filterungen leicht zu lösen wäre.

Berücksichtigt man all diese Eigenschaften der neuen phosphorkonvertierten amberen Hochleistungs-LEDs erkennt man, dass diese Technologie ein großes Potential besitzt.

Welche der beiden Technologien letztlich sinnvoller ist hängt jedoch von der Anwendung ab. Anhand der Messergebnisse ist es ersichtlich, dass die phosphorkonvertierten amberen LEDs die herkömmlichen amberen LEDs nicht vollständig ersetzen können.

Basierend auf der Phosphorkonversions-Technologie wird es in Zukunft vielleicht möglich sein verschiedene, farbige, effiziente Hochleistungs-LEDs herzustellen welche mit den klassischen Materialsystemen nicht erzeugbar wären. Beispiele hierfür wären unter anderem violette oder auch LEDs welche eine Dominantwellenlänge zwischen dem grünen und gelben Wellenlängenbereich besitzen.