

## **Investigation of the emitter-effect in HID-lamps by absorption- and emission-spectroscopy**

Untersuchung des Emitter-Effektes in HID-Lampen durch Absorptions- und Emissions-Spektroskopie

### **Kurzfassung**

Hochdruckentladungslampen (HID-Lampen) werden gegenwärtig in verschiedenen Hochleistungs-Beleuchtungssystemen verwendet, z.B. in Kfz-Frontscheinwerfern, in Videoprojektoren und in der Straßenbeleuchtung. Die Lebensdauer von HID-Lampen, in denen Licht von einem Hochdruck-Plasma erzeugt wird, kann durch Absenkung der Elektrodenoberflächentemperatur mit Hilfe des Emitter-Effektes deutlich verbessert werden. Um den Emitter-Effekt zu erzeugen, werden Elemente wie z.B. Th, Ba, Dy oder Ce in Form von Jodsalzen in den Lampenkolben eingebracht und während des Betriebes verdampft. Die Emitterstoffe bilden auf der Elektrodenoberfläche eine atomare Monolage, welche die effektive Elektronenaustrittsarbeit und damit den Energieaufwand für die Elektronenemission der Elektrode reduziert. Dadurch wird die Elektrode bei gleicher Strombelastung deutlich kühler, wodurch die Lebensdauer der Lampe bis um das Zehnfache verlängert wird.

In der Arbeit werden zwei neue Messmethoden und -aufbauten entwickelt, um einerseits die Temperatur der Lampenelektrode im Betrieb und andererseits die Emitter-Teilchendichte vor der Elektrode zu bestimmen. Um die Temperaturverteilung auf der Elektrode phasenaufgelöst zu messen, wird diese durch ein Interferenzfilter für 890nm mit einer intensivierten CCD-Zoom-Kamera aufgenommen, die mit einem Strahlungsnormal in absoluten Einheiten kalibriert wurde. Die Aufnahme liefert mit dem Planckschen Strahlungsgesetz unter Berücksichtigung der Emissivität  $\varepsilon(\lambda, T)$  von Wolfram die Temperaturverteilung. Um die Emitterstoff-Dichte in der Gasphase zu messen, wird eine Breitband- Absorptionsspektroskopie (BBAS) Methode mit einer leistungsstarken UHP (engl. ultra-high-pressure) Lampe als Hintergrundlichtquelle entwickelt. Die BBAS Methode hat den Vorteil, dass sich mit ihr absolute Werte der Dichte an jedem Ort der Lampe aus einem spektroskopisch ermittelten relativen Intensitätsverhältnis bestimmen lassen. Die BBAS Messung kommt daher ohne eine Absolutkalibrierung aus, sie ist außerdem unabhängig von optischen Störeinflüssen, z.B. einer unbekanntem Transmission des Lampenkolbens.

Anschließend werden die beiden Messmethoden auf verschiedene HID-Lampensysteme angewendet, um grundlegende Zusammenhänge und Optimierungsmöglichkeiten des Emitter-Effektes zu untersuchen: Die Untersuchungen zeigen, dass der Emitterstoff hauptsächlich durch einen Ionenstrom aus dem Plasma zur kathodischen Elektrode transportiert wird, unabhängig davon, wie der Stoff in die Lampe eingebracht wird. Durch eine zusätzliche Simulation wird gezeigt, dass die effektive Austrittsarbeit von Wolfram ( $\phi = 4,55\text{eV}$ ) bei Zugabe von Thorium in einer Modelllampe auf  $\phi = 3\text{eV}$  reduziert wird. Ein anodischer Emitter-Effekt kann für höhere Lampenbetriebsfrequenzen in geschlossenen HID-Lampen ebenfalls nachgewiesen werden. Mit Hilfe der BBAS Messung wird dann der Diffusionsprozess von Barium entlang der Elektrode in einer Hochdruck-Natriumlampe charakterisiert. Die gewonnenen Messergebnisse sind dabei wichtige Eingabeparameter für eine theoretische Lampensimulation des Industriepartners Philips Lighting, NL. Außerdem wird in dieser Arbeit der Emitter-Effekt von Dysprosium in speziellen Forschungs-HID-Lampen aus transparentem YAG-Material nachgewiesen. Mit systematischen Messreihen wird gezeigt, dass der Dy Emitter-Effekt durch eine Beimischung von Thallium zur Lampenfüllung deutlich abgeschwächt wird, wohingegen eine Beimischung von Natrium keinen erkennbaren Einfluss hat.

Am Ende der Doktorarbeit werden die Möglichkeiten und Grenzen der BBAS Dichtemessung in nichttransparenten, kommerziellen HID-Lampen untersucht und diskutiert. Außerdem wird gezeigt, dass die Plasmatemperatur  $T_{\text{pl}}$  innerhalb der HID-Lampe durch eine Kombination von Emissions- mit Absorptionsspektroskopie am Emitterstoff bestimmt werden kann. Die vorgestellte Messmethode der Plasmatemperatur ist eine verlässliche Alternative zur üblichen Bestimmung von  $T_{\text{pl}}$  anhand von Hg-Emissionslinien, was speziell für Untersuchungen an zukünftigen, Hg-freien HID-Lampen von großer Bedeutung sein kann.