

Charakterisierung thermisch emittierender Kathoden für Hochdruckgasentladungslampen durch optische Untersuchungen

Daniel Nandelstädt, AG Grundlagen der Elektrotechnik

In den vergangenen Jahren hat die Bedeutung von Hochdruckgasentladungen für Beleuchtungszwecke stetig zugenommen. Die Entwicklung sehr kleiner und leuchtstarker HID-Lampen (*High Intensity Discharge*) macht diese in zunehmendem Maße auch für den Einsatz in der Allgemein- oder Automobilbeleuchtung interessant. Trotz dieser Entwicklung beruht das Design der Elektroden für diese Lampen bislang immer noch mehr auf empirischen Erfahrungswerten denn auf einem detaillierten Verständnis der an den Elektroden relevanten technisch-physikalischen Prozesse. Dies liegt zum einen darin begründet, daß zwischen dem Entladungsplasma und den Elektroden sehr komplexe Wechselwirkungen stattfinden, deren theoretische Berechnung einen hohen numerischen Aufwand erfordert. Auf der anderen Seite fehlte es bislang an systematischen experimentellen Untersuchungen der Elektroden in dem für HID-Lampen relevanten Strombereich.

In einem BMBF-Verbundprojekt wurde während der vergangenen vier Jahre in enger Zusammenarbeit zwischen experimentellen und theoretischen Teilprojekten ein beträchtlicher Fortschritt auf beiden Gebieten dieses Problems erzielt. Im Bochumer Teilprojekt wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Modell-Lampe zur experimentellen Charakterisierung von Lampenelektroden entwickelt. Dazu wird in einem zylindrischen Quarzrohr zwischen zwei Wolframelektroden ein Gleichstromlichtbogen bei wenigen Ampere Strom betrieben. Als Füllgas kommen Argon und Xenon im atmosphärennahen Druckbereich zum Einsatz. Zahlreiche Betriebsparameter können variiert werden.

Der negativen Elektrode der Entladung kommt eine besondere Bedeutung hinsichtlich der Lebensdauer und Effizienz von Lampen zu. Um der Kathode den für die Entladung benötigten Elektronenstrom zu entziehen, werden in der vorgelagerten Randschicht Ionen zur Elektrode hin beschleunigt. Das resultierende Ionenbombardement heizt die Kathode, so daß Elektronen durch Thermoemission aus dem Festkörper austreten können. Die in der Randschicht umgesetzte Leistung stellt für die Lampe einen Verlustterm dar. Ein großer Teil dieser Leistung wird dem Elektrodenkörper als Wärmestrom zugeführt. Durch Abstrahlung und Wärmeleitung wird dieser Wärmestrom von der Elektrode an ihre Umgebung abgegeben.

Um den Wärmehaushalt von Lampenkathoden in der Modell-Lampe systematisch zu untersuchen, wurde in dieser Arbeit mit orts aufgelösten pyrometrischen Messungen die Temperaturverteilung der Elektrode bei Variation von Entladungs- und Elektrodenparametern bestimmt. Ergänzt durch kalorische Messungen am Fuß der Elektrode kann aus den Meßergebnissen die thermische Kathodenverlustleistung ermittelt werden. Daneben wurden spektroskopische Messungen zur Bestimmung von Elektronentemperatur und -dichte im Lichtbogen durchgeführt. Diese gestatten die Abschätzung des Leistungsflusses aus der Randschicht in die Plasmasäule, so daß der Kathodenfall ermittelt werden kann. Die Ergebnisse zeigen eine starke Abhängigkeit der Kathodenverluste von der Elektrodengeometrie sowie der Austrittsarbeit des Materials. Die Resultate sind in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus parallel zu diesen Untersuchungen durchgeführten Sondenmessungen sowie aus theoretischen Berechnungen. Diese Übereinstimmung belegt die Vermutung, daß der Ionenstrom den maßgeblichen Heizmechanismus der Kathode in dem untersuchten Parameterbereich darstellt.

Die Untersuchungen an der Modell-Lampe ließen ferner die Beobachtung zweier unterschiedlicher Moden des Stromübergangs auf die Kathode zu. Im Falle einer gut gekühlten Elektrode kontrahiert der Lichtbogen an der Kathode zu einem Brennfleck, dessen Ausdehnung deutlich kleiner als der Elektrodendurchmesser ist. Andernfalls umfaßt der Lichtbogen die Kathodenstirnfläche mit einem diffusen Ansatz. Durch Anwendung der genannten Meßverfahren und Untersuchungen mit einem Kamerasystem wurden beide Moden charakterisiert und ihre Existenzbereiche umrissen. Es zeigt sich, daß der brennflecklose Ansatz mit einer höheren Kathodenverlustleistung einhergeht.