

Charakterisierung von HID-Lampen im Mikrowellenbetrieb relativ zum Wechselstrombetrieb

Stephan Holtrup

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Mikrowellenanregung von Hochdruckgasentladungslampen mit Elektroden, die derzeit kommerziell mittels eines Wechselstroms betrieben werden. Dabei ist die zentrale Fragestellung, welchen Einfluss die erhebliche Erhöhung der Betriebsfrequenz primär auf die Elektrodentemperatur und auf andere Eigenschaften, wie z.B. die Strahlstärke und das Spektrum der Lampe hat. Zur Untersuchung dieses Einflusses sind kommerzielle D-Lampen so modifiziert worden, dass dieselbe Lampe sowohl mit Wechselstrom als auch mit Mikrowellenenergie betrieben werden konnte. Dadurch können die zu charakterisierenden Parameter unmittelbar miteinander verglichen werden. Eine Besonderheit des Mikrowellenbetriebs ist die einseitige Einspeisung, so dass die zweite Elektrode nur zur Ortsstabilisierung des Bogens verwendet wurde, aber keine Leistung unmittelbar über dieses Elektrodensystem in die Lampe eingekoppelt wird. Dadurch sind für die Gestaltung der Lampe neue Freiheitsgrade gegeben.

Zur Bestimmung der Elektrodentemperatur ist die bildgebende Einwellenlängen-Pyrometrie verwendet worden. Durch ein iteratives Verfahren wird die Verfälschung der Elektrodentemperatur bedingt durch die unzureichend bekannte Emissivität korrigiert. Verfälschungen der Temperatur der Elektrodenspitze durch Oberflächenrauigkeiten oder Reflexionen des Plasmas werden durch die Extrapolation der Elektrodentemperatur mittels der Wärmeleitungsgleichung korrigiert. Diese Methodik zur Bestimmung der Elektrodentemperatur ist einem Mehrwellenlängen-Pyrometrieverfahren gegenübergestellt worden, und so die Genauigkeit der bildgebenden Einwellenlängen-Pyrometrie verifiziert worden. Die bildgebenden Mehrwellenlängen-Pyrometrieverfahren sind auf eine präzise Ortsüberlagerung der abgebildeten Objekte bei den einzelnen Wellenlängen angewiesen. Für eine zeitsynchrone Messung der Elektrodentemperatur ist eine aufwändige Strahlteiler-Apparatur erforderlich. Darüber hinaus wird das Rauschen der Elektrodentemperatur bei der Zweiwellenlängen-Pyrometrie durch die Verhältnisbildung deutlich verstärkt.

Der Vergleich der Betriebsarten zeigt für die Elektrodentemperatur nur marginale Unterschiede, sowohl für die Temperaturwerte der Elektrodenspitze als auch für das Temperaturprofil bei identischer Eingangsleistung. Der spektrale Vergleich im sichtbaren Bereich von 380 nm bis 780 nm zeigt lediglich eine sehr geringe Rotverschiebung im Mikrowellenbetrieb, wodurch die Strahlstärke für beide Betriebsarten nahezu identisch ist. Im Mikrowellenbetrieb der HID-Lampe bildet sich ein Spot-Ansatz aus, der im Wechselstrombetrieb ebenso vorhanden ist und die Strahldichten des Lichtbogens der jeweiligen Betriebsart weisen eine hohe Korrelation auf.

Als größter Unterschied konnte im Mikrowellenbetrieb bei geringen Leistungen (rund 50 % der Nennleistung) ein kapazitiver Mode erzeugt werden, der in dieser Form noch nicht dokumentiert ist. Dieser Mode zeichnet sich durch seine geringe Elektrodentemperatur und einen diffusen Bogenansatz aus, der nicht mit dem bekannten diffusen Bogenansatz im Gleich- und Wechselstrombetrieb verwechselt werden darf. Die Elektroden weisen sowohl für den Spot- wie auch für den diffusen Bogenansatz hohe Temperaturen im Bereich des Ansatzpunktes auf, die auf eine hohe Stromdichte bedingt durch die thermionische Emission hinweisen. Die Elektrodentemperatur des kapazitiven Bogenansatzes hingegen ist sehr gering und die Stromdichte, resultierend aus der thermionischen Emission der Elektrode, ist im Gegensatz zum Spot-Mode um etwa eine Größenordnung geringer. Diese geringe Stromdichte und die Messungen der Lampenimpedanz lassen darauf schließen, dass der Lichtbogen im Gegensatz zum Spot-Mode bzw. diffusen Mode, bei denen der Lichtbogen über einen Leitungsstrom aufrechterhalten wird, kapazitiv an die Elektrode ankoppelt. Die geringe thermische Belastung der Elektrode durch den kapazitiven Mode könnte zudem die Lebensdauer der HID-Lampe signifikant erhöhen.