

## Kurzfassung

### **Modellierung und Analyse aktiver Plasmaresonanzspektroskopie mit funktionalanalytischen Methoden**

Jens Oberrath

Aktive Plasmaresonanzspektroskopie ist eine Methode zur Plasmadiagnostik, die eine wesentliche Eigenschaft von Plasmen ausnutzt, nämlich die Fähigkeit zur Resonanz in der Nähe der Plasmafrequenz. Dies geschieht, indem eine Sonde in ein Plasma eingeführt und an deren Elektroden ein Hochfrequenzsignal angelegt wird. Das Plasma wird daraufhin gestört und die resultierende Systemantwort mit der Sonde gemessen. Mit einer Frequenzvariation ist es möglich, das gesamte Spektrum aufzuzeichnen, um mögliche Resonanzfrequenzen zu detektieren. Diese Resonanzfrequenzen beinhalten Informationen über Plasmaparameter wie Elektronendichte und -temperatur. Um allerdings auf schnelle und einfache Art und Weise solche Plasmaparameter aus einer Messung zu ermitteln, ist ein gutes Modell notwendig, das einen möglichst einfachen Zusammenhang zwischen den Resonanzfrequenzen und den Plasmaparametern aufzeigt. Zwei mögliche Bauformen dieser Diagnostikmethode sind die Impedanz- und die Multipol-Resonanz-Sonde, die in dieser Arbeit im Fokus stehen.

Zuerst wird ein allgemeines fluiddynamisches Modell der aktiven Plasmaresonanzspektroskopie mit funktionalanalytischen Methoden untersucht und anschließend exemplarisch für die erwähnten Bauformen mit diesen Methoden gelöst. Die auf diesem Weg berechneten Resonanzfrequenzen werden als spezielle Eigenwerte des allgemeinen dynamischen Systems identifiziert. Die zugehörigen Spektren verdeutlichen die Relevanz unterschiedlicher Moden und werden zur Rekonstruktion von Messungen herangezogen. Die Lage der auftretenden Resonanzen wird mit dem fluiddynamischen Modell gut vorhergesagt, aber der Vergleich zu Messungen in Druckbereichen von wenigen Pa und geringer, zeigt einen signifikanten Unterschied der Halbwertsbreite, der auf kinetische Effekte zurückzuführen ist. Zur Untersuchung dieser Resonanzverbreiterung und zur Verbesserung der Auswertung resonanzspektroskopischer Messungen ist ein kinetisches Modell notwendig.

Nach der Analyse des fluiddynamischen Modells wird ein allgemeines kinetisches Modell der aktiven Plasmaresonanzspektroskopie hergeleitet und mit Hilfe der Methoden der Funktionalanalysis untersucht. Es wird gezeigt, dass die Resonanzverbreiterung als eine Art kinetische Dämpfung angesehen werden kann und mathematisch in einem kontinuierlichen Spektrum des dynamischen Systemoperators begründet ist. Im Anschluss an die allgemeine Untersuchung wird eine analytische Lösung des Modells für kugelgeometrische Sonden berechnet, die dann jeweils für die Spezifikationen der Impedanz- und Multipol-Resonanz-Sonde ausgewertet wird. Die zugehörigen Spektren müssen numerisch ermittelt werden und zeigen Resonanzfrequenzen, die mit denen aus der fluiddynamischen Berechnung übereinstimmen. Zusätzlich weisen sie eine deutliche Resonanzverbreiterung auf, die nur auf die kinetischen Effekte zurückzuführen ist. Damit kann das kinetische Modell die Resonanzverbreiterung vorhersagen und erlaubt die eindeutige Auswertung einer Messung mit derartigen Sonden. Darüber hinaus ermöglicht das Modell die Bestimmung einer approximierten Elektronenverteilungsfunktion und macht die aktive Plasmaresonanzspektroskopie zu einem ausgezeichneten Kandidaten für eine industriekompatible Diagnostikmethode in Niederdruckplasmen.