



Thomas Mosbach (Autor)

Besetzungsdynamik von molekularen Wasserstoff in einer magnetischen Multipol-Plasmaquelle

Thomas Mosbach

**Besetzungsdynamik von molekularem Wasserstoff
in einer magnetischen Multipol-Plasmaquelle**



Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/3565>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

1 Einleitung

Molekularer Wasserstoff

Molekularer Wasserstoff, als das einfachste stabile neutrale Molekül, besitzt Modellcharakter für unser Verständnis von molekularen Systemen. Da das Wasserstoff-Molekül weitgehend theoretisch betrachtet werden kann, erlauben Vergleiche mit experimentellen Ergebnissen eine Überprüfung unseres aktuellen physikalischen Verständnisses. Vom astrophysikalischen Standpunkt aus gesehen, ist anzumerken, dass molekularer Wasserstoff die am häufigsten vorkommende molekulare Teilchensorte im Universum darstellt. Astrophysikalische Modelle von interstellaren Wolken und Nebeln und der oberen solaren und planetarischen Atmosphären bauen auf unser aktuelles Verständnis von Molekülen auf. Neben den inneren Zuständen eines Moleküls, die im Fall des Wasserstoff-Moleküls gut bekannt sind, spielen auch die vielfältigen Stoßwechselwirkungen, die Moleküle sowohl untereinander als auch mit anderen Teilchen eingehen können, eine besonders wichtige Rolle. Zur Beschreibung von molekularen Systemen müssen die Wirkungsquerschnitte für die möglichen elastischen und inelastischen Stoßwechselwirkungen bekannt sein. Eine Überprüfung von gemessenen und berechneten Querschnitten kann nur durch Experimente an molekularen Systemen und deren Beschreibung durch Modelle geschehen.

Bei den sogenannten partiell ionisierten Plasmen ist der Dissoziationsgrad der molekularen Spezies in der Regel gering, so dass die Plasmaeigenschaften auch wesentlich von den ablaufenden molekularen Prozessen beeinflusst werden. Solche in den Laboratorien und in der industriellen Fertigungstechnologie sehr häufig anzutreffenden Plasmen – man spricht auch von Niedertemperaturplasmen – eignen sich hervorragend zur Untersuchung der molekularen Eigenschaften und der Wechselwirkung der Moleküle mit den restlichen Bestandteilen des Plasmas und der Wand der Entladungskammer.

Selbstkonsistente Modelle von Plasmaentladungen wurden entwickelt, welche sowohl den Plasmazustand – gegeben durch einen Satz von Plasmaparameter – als auch die Besetzung der atomaren und molekularen Zustände für gegebene makroskopische Parameter beschreiben. Voraussetzung für die Modellierung – mit dem Ziel der Optimierung und der Kontrolle von Plasmen für die verschiedensten Anwendungen – ist natürlich ein detailliertes Wissen um die vielfältigen ablaufenden Stoßprozesse in solchen Plasmen (Plasmachemie). Dabei muss bemerkt werden, dass es sich bei den relevanten Niedertemperaturplasmen um anisotherme Plasmen handelt, d. h. es treten Nichtgleichgewichtsprozesse auf, die zudem im Regelfall extrem komplex sind. Reaktionen, an denen Moleküle beteiligt sind, hängen außer von der kinetischen Energie der Moleküle auch kritisch von deren innerer Energie, d. h. vom Grad ihrer rovibronischen und elektronischen Anregung ab. Der Energietransfer zwischen den Bestandteilen des Plasmas ist somit ein wichtiger Schlüssel zu dessen Verständnis. Die große Anzahl der verschiedenen energetischen Zustände eines Moleküls führt zwangsläufig zu einer fast unüberschaubaren Anzahl von Reaktionsmöglichkeiten. In diesem Zusammenhang spielt das Wasserstoffplasma eine wichtige Rolle, da

die Datenbasis der Wirkungsquerschnitte der verschiedenen Stoßprozesse zwischen den auftretenden Teilchensorten zwar noch nicht vollständig, aber vergleichsweise gut entwickelt und verifiziert ist. Ein Vergleich der Vorhersagen von Modellrechnungen über die Besetzungen der Zustände des molekularen Wasserstoffs mit experimentellen Ergebnissen bietet deshalb hier ein besonders empfindliches Instrument für unser Verständnis der Besetzungsdynamik von molekularen Zuständen in Plasmen.

Negative Ionen

Die Besetzung der rovibronischen Zustände des Wasserstoff-Moleküls ist dabei von besonderem Interesse im Zusammenhang mit der Volumenbildung von negativen Wasserstoff-Ionen in Plasmaquellen. Negative Wasserstoff-Ionen im *MeV* Energiebereich werden aufgrund ihrer hohen Neutralisationseffizienz als primäre geladene Teilchen für die Neutralteilchenheizung von Fusionsplasmen in Betracht gezogen [57, 99]. Die aus Plasmen extrahierten negativen Wasserstoff-Ionen dienen auch zur Erzeugung von geladenen und neutralen Teilchenstrahlen für Beschleunigersysteme (Hochenergiebeschleuniger, Speicherringe). Nicht zuletzt bestimmen negative Ionen entscheidend das Verhalten von elektronegativen Plasmen, welche in vielen industriellen Prozessplasmen, wie z. B. bei den plasmagestützten Bearbeitungsverfahren von Oberflächen, eingesetzt werden.

Magnetische Multipol-Plasmaquellen produzieren überraschend hohe Anzahldichten von negativen Wasserstoff-Ionen [7, 8, 93]. Verschiedene Bauweisen von Multipol-Plasmaquellen, verschiedene Magnetfeld-Konfigurationen und Anregungsformen werden seit den ersten Beobachtungen dieses Phänomens für die Optimierung der Produktion und der effizienten Extraktion der Ionen entwickelt und untersucht [57, 98, 99, 113]. Auch die Auswirkungen von Fremdgasen und des Einbringens von Cäsium in die Entladungskammer auf die Dichte der negativen Ionen werden betrachtet [10, 45, 187, 188].

Die für die Bildung von negativen Ionen im Plasmavolumen verantwortlichen Prozesse und deren Abhängigkeiten von den Plasmaparametern wurden in den letzten zwei Jahrzehnten immer wieder kontrovers diskutiert [10, 15, 66, 68, 78, 85, 94, 97, 165]. Die dissoziative Anlagerung von niederenergetischen Elektronen an rovibronisch angeregte Moleküle im elektronischen Grundzustand wird als einer der wesentlichen Bildungsprozesse angesehen. Dabei spielen besonders die rovibronisch hochangeregten Moleküle – aufgrund der günstigeren Wirkungsquerschnitte für den Anlagerungsprozess – eine besondere Rolle [2, 71, 89, 189]. Ein alternativer Bildungskanal für negative Wasserstoff-Ionen könnte die dissoziative Anlagerung von Elektronen an elektronisch angeregte Zustände des molekularen Wasserstoffs sein. In letzter Zeit wurden vor allem hochliegende Rydberg-Zustände diskutiert, da für diesen Prozess eine hohe Anlagerungsrate gemessen wurde [47, 85].