

# Plasmen: Wenn Elektronen zu heiß werden

## Der vierte Aggregatzustand



Prof. Jürgen Janek  
Physikalisch-Chemisches Institut

Plasmen (gr.-lat.: „Geformtes, Gebilde“) sind ionisierte Gase. Sie besitzen elektrische Leitfähigkeit und faszinieren aufgrund ihrer charakteristischen Aussendung von Licht. Da alle Stoffe bei sehr hohen Temperaturen in den Plasmazustand übergehen, wird häufig vom „vierten Aggregatzustand der Materie“ gesprochen. Plasmen werden sowohl in der Physik (Plasmaphysik) wie auch in der Chemie (Plasmachemie) aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften untersucht und spielen eine wichtige Rolle in der Material-, Oberflächen- und Lichttechnologie.

Sie wollen mehr wissen ?

**...mehr!**

- Wie kann man mit Plasmen Diamanten herstellen?
- Sind in Plasmabildschirmen wirklich Plasmen?
- Was passiert mit einer Glühbirne in einem Mikrowellenofen?
- Warum verbrennen wir uns an heißen Elektronen nicht die Finger?

Ausführlichere Informationen über Plasmen allgemein, über unsere Arbeiten und interessante Verknüpfungen erhalten Sie auf der Homepage unserer Arbeitsgruppe in Gießen:

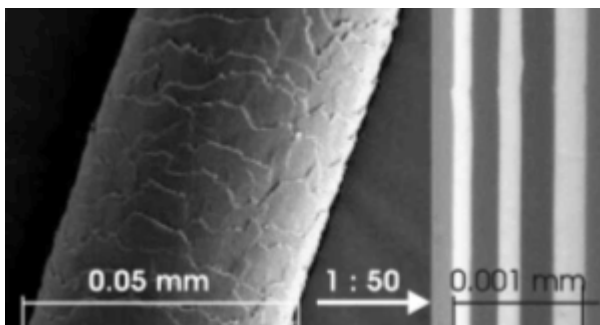
<http://www.uni-giessen.de/pci/plasma>

... und was können Chemiker mit Plasmen anfangen?

**...mehr!**

Plasmen haben besondere Eigenschaften, die für chemische Reaktionen genutzt werden können:

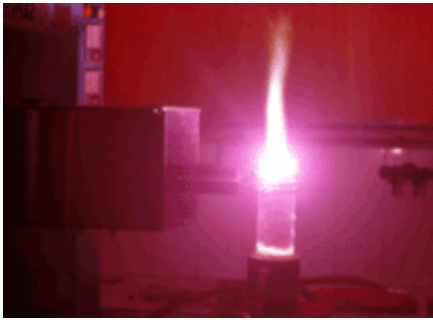
- Plasmen enthalten Ionen, die gezielt beschleunigt werden können
- Plasmen enthalten freie Elektronen
- Plasmen enthalten energetisch angeregte und reaktive Teilchen
- Plasmen sind elektrisch leitfähig
- Plasmen liefern elektromagnetische Strahlung im UV/VIS-Bereich



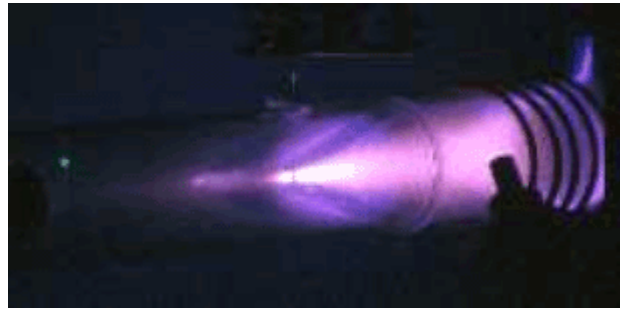
*Rechts: Schichtpaket aus Aluminiumoxid und Zirconiumdioxid, hergestellt mittels Laserdeposition; links: menschliches Haar.  
Foto: C. Korte (PCI/JLU 2002)*

In der Chemie werden besonders die reaktiven Eigenschaften der energetisch angeregten Plasmateilchen genutzt (Plasmaätzen, Plasmaoxidation, Plasmapolymerisation, plasmaunterstützte Gasphasendeposition, etc.). Plasmen werden eingesetzt zur Erzeugung von dünnen keramischen Funktionsschichten, zur Nitridierung von Eisen, zur Oxidation von Silicium in der Chip-Herstellung, zur Verbesserung der Adhäsion von Kunststoffolien und für viele andere chemische Anwendungen und Reaktionen.

Der Einsatz von Plasmen erweitert sich kontinuierlich. Die Verfügbarkeit neuer Plasmaquellen erlaubt die Erzeugung von Plasmen bei Atmosphärendruck und wird sicher zu einer ganzen Reihe neuer Anwendungen in der Chemie führen. Vielversprechend ist der Einsatz von Plasmen z. B. auch im Bereich der Schadstoffentsorgung: Energiereiche Koronaentladungen ermöglichen die Zerstörung toxischer Moleküle unter relativ einfachen Bedingungen.



*Plasmafackel in Stickstoff/Argon bei einem Druck von 1 Bar und  $T = 10.000^{\circ}\text{C}$ . Foto: J. Amouroux (LGPPTS/ENSCP 2002)*



*Plasmafackel (Radiofrequenzanregung) zur Herstellung von dünnen keramischen Schichten aus wässrigen Lösungen. Foto: J. Amouroux (LGPPTS/ENSCP 2002)*

... und was funktioniert nur mit Plasmen?

**...mehr!**

Die meisten und wichtigsten Beispiele für die Anwendung von Plasmen finden sich heute vor allem in den modernen Bereichen der Oberflächentechnologie, der Materialsynthese, der analytischen Chemie und der Lichttechnologie. Die folgende Liste enthält einige Beispiele und ist bei weitem nicht vollständig:

- Gasentladungslampen („Neonröhren“)
- Vergütungsschichten von Brillengläsern („Antireflex-Schichten“)
- Schadstoffzerstörung in dielektrischen Gasentladungen
- Oberflächenbehandlung von Kunststofffolien
- Plasmaoxidation von Silicium
- Plasmaätzen von Halbleitern
- ...

... und wie entstehen Plasmen?

**...mehr!**



*Abb. 1: Flammenfärbung durch anorganische Salze. Foto: W. Scheld (JLU 2001)*

Bei sehr hohen Temperaturen werden zunehmend auch die äußeren Elektronen in den Atomen oder Molekülen angeregt, wie man sehr schön am Beispiel der Flammenfärbung durch bestimmte anorganische Salze erkennt (z. B. die gelbe Flammenfärbung einer Flamme durch Natriumsalze). Die Energie, die zur Ionisation von Gasen notwendig ist, beträgt einige 100 kJ/mol (mehrere Elektronenvolt (eV)) und wird erst bei sehr hohen Temperaturen in der Größe von mehreren 1000 Kelvin (absolute Temperatur:  $T/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15$ ) erreicht.

Die entstehenden „thermischen“ Plasmen, in denen Ionen und Elektronen eine „Teilchensuppe“ bilden, sind bei extrem hohen Temperaturen von Millionen  $^{\circ}\text{C}$  von großer Bedeutung für die Kernfusionsforschung und sind ein wichtiges Arbeitsgebiet der Atomphysik.

Von weitaus größerer Bedeutung sind Plasmen, die nicht durch Zufuhr thermischer Energie, sondern unter dem Einfluss von starken elektrischen Feldern gezündet werden (elektrische



Gasentladungen). Im Unterschied zu den thermischen Plasmen sind nur sehr wenige Atome oder Moleküle ionisiert (häufig nur ein Anteil von 0,0001 – 0,001 %), und wir bemerken meist nur geringe Temperaturerhöhungen der Plasmabehälter.

*Niedertemperaturplasma (Koronaentladung) zur Oberflächenbehandlung von Polymerfolien. Foto: C. Korte (PCI/JLU 2002)*

... und was sind heiße Elektronen?

[...mehr!](#)

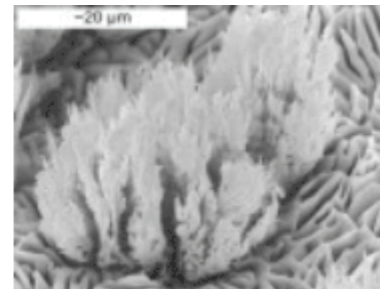
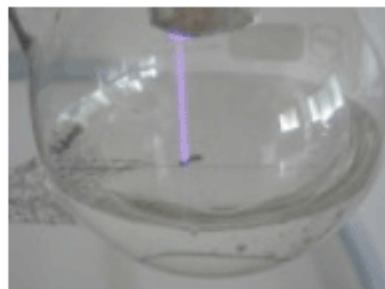
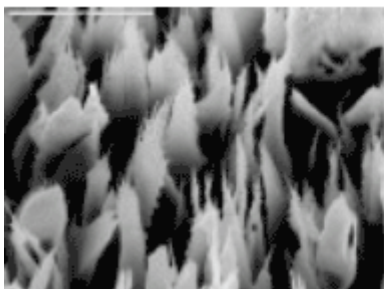
Aufgrund ihrer geringen Masse, die weniger 0,01 % der Masse der meisten Atome oder Moleküle ausmacht, und ihrer großen freien Weglänge können Elektronen in den elektrischen Anregungsfeldern von Plasmen sehr viel mehr kinetische Energie aufnehmen als Ionen. Die entstehende Energieverteilung unter den Elektronen entspricht damit einer sehr viel höheren Temperatur als der Temperatur der Ionen und Neutralteilchen (s. Geschwindigkeitsverteilung nach Maxwell und Boltzmann). Ist der Ionisationsgrad des Plasmas gering, was bei den meisten Anwendungen der Fall ist, dann bestimmen die Stöße der „kalten“ Neutralteilchen und Ionen die Temperatur der Wände des Plasmas. Entsprechend empfinden wir ein solches Plasma als „kalt“, obwohl die Elektronen durchaus Temperaturen von 10.000 °C und mehr besitzen, und bezeichnen es auch als „Niedertemperatur-“ oder „Nichtgleichgewichtsplasma“.



*Radiofrequenz-Entladung in Sauerstoff/Stickstoff ( $p = 100$  Pa). Foto: M. Rohnke (PCI/JLU 2003)*

Gibt es Elektrochemie in Plasmen?

[...mehr!](#)



*Links und rechts: Plasma-anodisch hergestellte AgCl-Schichten; Mitte: Plasma-elektrochemische Reduktion von Silbernitratlösung. Fotos: H. Reinshagen, M. Vennekamp (PCI/JLU 2002)*

Praktisch alle chemischen Reaktionen in Plasmen laufen unter der Beteiligung elektrisch geladener Teilchen

ab und können daher als elektrochemische Reaktionen betrachtet werden. Die Übertragung elektrochemischer Konzepte auf plasma-chemische Reaktionen und die darauf basierende Entwicklung neuer Anwendungen von Niedertemperaturplasmen in der Materialchemie ist ein wichtiges Arbeitsgebiet unserer Arbeitsgruppe.

Das Jahr der Chemie – Justus Liebig – Gießen!

**...mehr!**

Im Jahr der Chemie feiert die Justus-Liebig-Universität den 200. Geburtstag ihres Namensgebers und einen der international bekanntesten Chemiker. Während des Liebig-Semesters 2003 finden Ausstellungen, Vorlesungen und Feste statt, die Liebig und die Chemie in das Licht der Öffentlichkeit rücken sollen. Sie finden alle Termine unter der Adresse:

<http://www.liebig2003.de>

Kontakt:

Prof. Jürgen Janek  
Physikalisch-Chemisches Institut  
Justus-Liebig-Universität Gießen  
Heinrich-Buff-Ring 58  
35392 Gießen

Tel.: 0641 99 34500 Fax: 0641 99 34509

Email: [juergen.janek@phys.chemie.uni-giessen.de](mailto:juergen.janek@phys.chemie.uni-giessen.de)

Gestaltung:

Prof. Jürgen Janek  
Dr. Carsten Korte

Texte und Bilder:

Prof. Jürgen Janek  
Holger Reinshagen  
Marcus Rohnke  
Dr. Martin  
Vennekamp