

Ionentriebwerk Kraft des Plasmarückstoßes

SOWAS-Projekt 2014 von Joscha Denzel, Clara Junggebauer, Henning Mays, Michael Meischein, Martin von Prondzinski

Idee: Der Plasmarückstoß

Satelliten sind neben den bekannten chemischen Triebwerken häufig mit sog. **Ionentriebwerken** ausgestattet. Diese nutzen, dass in Plasmen **Ionen beschleunigt** werden.

Warum beschleunigte Ionen?

Ein Plasmavolumen ist quasineutral (gleiche Anzahl Elektronen (-) / Ionen (+)). Vor einer Oberfläche (Pendel) können die leichten Elektronen das Plasma am Rand verlassen. Dadurch entsteht ein el. Feld, welches die nun überschüssigen Ionen zur Oberfläche hin beschleunigt.

So wird mit wenig Treibstoff ein effektiver **Rückstoß** erzeugt. Diese Kraft soll gemessen werden.

In welcher Größenordnung liegt die erzeugte Kraft?

Lassen sich Abhängigkeiten (von Leistung, Druck) erkennen?

Aufbau

Für die Kraftmessung wurde ein möglichst langes **leichtes Pendel** gebaut, an dessen unterem Ende ein Target und eine Nadel angebracht sind. Am oberen Ende sind Rasierklingen als Auflage befestigt, um die Reibung zu verringern.

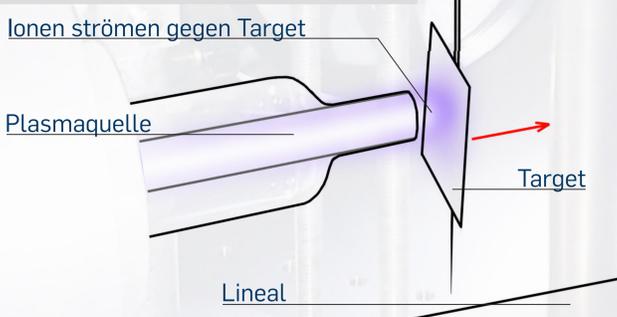
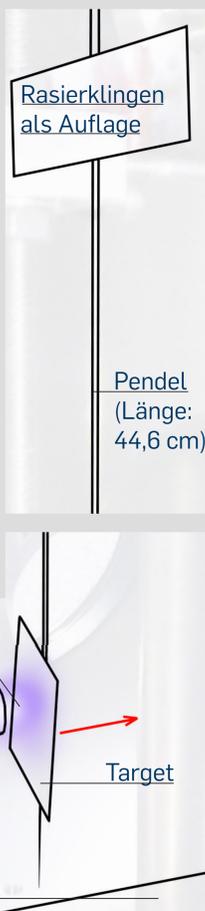


Abb. 1: Skizze: Plasmaquelle und Pendelaufbau in der Vakuumkammer. Beschleunigte Ionen treffen Pendeltarget.

Die beschleunigten Ionen des Plasmas treffen auf das Target, das Pendel wird ausgelenkt.



Abb. 2: Vakuumkammer. Rechts: Plasmaquelle Links: Kamera zur Aufnahme der Pendelauslenkung

Kalibrierung

Wie kommt man von der Auslenkung auf die Kraft?

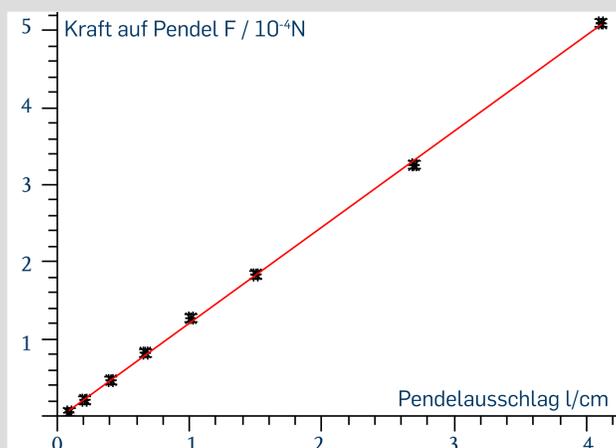
Die Schubkraft eines Gasstromes kann mit Hilfe weniger Parameter berechnet werden:

$$F = \frac{1}{2} \cdot \frac{Mp}{RT} \cdot \frac{\dot{V}^2}{\pi r^2}$$

\dot{V} : Gasausfluss M : mol. Masse p : Druck r : Rad. Gasaustritt R : id. Gask. T : Temp.

Um das Pendel zu kalibrieren, wurde bei Normaldruck das Target mit Argon angeströmt. Der verwendete Gasstrom \dot{V} konnte über einen Flow-Regler reguliert werden.

Die weiteren Parameter in der Formel waren bekannt oder wurden gemessen. Somit konnte der **Pendelausschlag linear einer Kraft auf das Pendeltarget zugeordnet** werden.



Graph 1: Auswertung der Kalibrierung. Jedem Pendelausschlag kann nun linear eine Kraft zugeordnet werden.

Messung

Bei Betrieb des Plasmas konnte eine **Pendelauslenkung beobachtet** werden (Abb. 3). Diese wurde über ein Spiegelsystem mit einer **Kamera dokumentiert**. (Abb. 2) Die Auslenkung konnte damit auf 1 Pixel (0,035mm) genau ausgelesen werden.

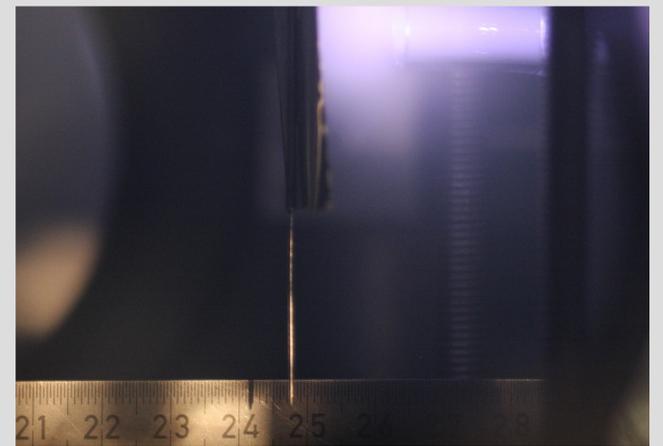
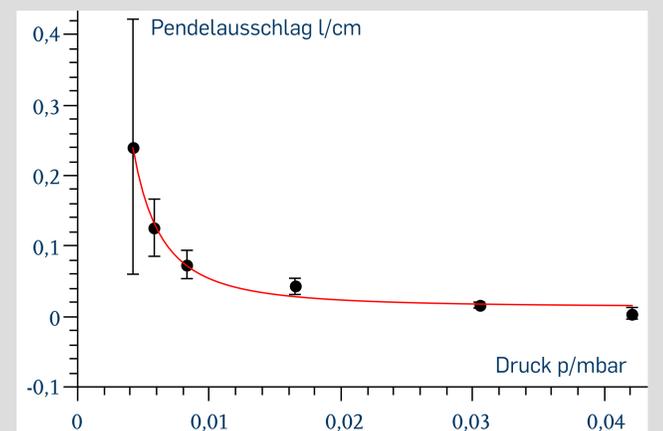


Abb. 3: Aufnahme aus Messreihe: Ionen werden gegen Target beschleunigt. Pendelausschlag wird an Lineal abgelesen.

An der Kammer wurde der **Druck** mit jeder Messreihe **gesenkt**. Es konnte **jeweils ein stärkerer Ausschlag beobachtet** werden. **Graph 2** zeigt den ermittelten Zusammenhang.



Graph 2: Versuchsergebnis. Je geringer der Druck, desto stärker der Ausschlag (und damit die Kraft).

ZUSAMMENFASSUNG

- Der Plasmarückstoß lässt sich mechanisch messen.
- Die Kraft lag bei 0,5 - 29 µN.
- Je geringer der Druck, desto größer die Kraft.

Herzlichen Dank an Prof. Dr. Achim von Keudell Dr. Marc Böke Björn Redeker Tomasz Domanski Lukas Merten

QR-Code zu Video-Erläuterung des Versuchsaufbaus.

