

Dieses Dokument wurde von **Christian Buth** erstellt.

Es ist auf meinen Internetseiten unter

<http://www.Christian.Buth.mysite.de>

frei erhältlich.

Sollten Sie Probleme mit der Anzeige haben oder einen

Fehler entdecken, wenden Sie sich bitte an

cbuth@ix.urz.uni-heidelberg.de .

© 2000 Christian Buth. Dieser Text ist nach allen nationalen und internationalen Gesetzen urheberrechtlich geschützt. Das Verändern und anschließende Veröffentlichen unter meinem Namen ist verboten – auch auszugsweise. Das Veröffentlichen und Verbreiten unter einem anderen als meinem Namen ist nicht erlaubt. Das Dokument darf jedoch zu nichtkommerziellen Zwecken verbreitet und kopiert werden, sofern es unverändert bleibt. Kommerzielle Nutzung jeglicher Art – auch auszugsweise – ist nur mit einer schriftlichen Erlaubnis des Autors gestattet.

1 Die Theorie des Versuches

1.1 Plasmen

Bei einem **Plasma** handelt es sich um ein teil- oder vollionisiertes Gas. Man bezeichnet diese Form der Materie auch als **vierten Aggregatzustand**. Plasmen sind **quasineutral**, daß heißt sie enthalten gleich viele positive wie negative Ladungsträger. Lokal kann diese Quasineutralität verletzt sein.

Das Plasma dieses Versuches entsteht durch Gasentladungen in Gasentladungsröhren, die mit Helium oder Xenon unter verschiedenen Drücken befüllt sind. Dieses Plasma ist **kalt**, daß heißt Elektronen und Ionen befinden sich ohne äußere Felder in Ruhe.

1.2 Diagnose

Die Plasmen dieses Versuches sollen bezüglich ihrer Elektronendichte, ihres Ionisationsgrades und ihres Brechungsindex untersucht werden.

Erreicht wird dies indem Licht aus einem **Helium-Neon-Laser** durch die Plasmaröhren gestrahlt wird und danach die Lichtintensität in einem Detektor vermessen wird.

Die Röhren befinden sich in einem **Fabry-Perot-Interferometer**. Gemessen wird durch Zündung der Gasentladungen innerhalb der Röhren über einen kurzen Strompuls. Die hierbei detektierten Intensitätsschwankungen des Laserlichtes werden auf einem Oszilloskopschirm festgehalten.

Die Schwankungen rühren von der Veränderung des Brechungsindex des Plasmas und somit der Veränderung der optischen Weglänge innerhalb des Fabry-Perot-Interferometers her.

Die einzige Meßgröße dieses Versuches ist die Zahl der Intensitätsschwingungen vom Maximum des Entladungsstromes bis zum Untergrund.

2 Elektronendichte — Oszillationszahlbeziehung

2.1 Herleitung der Gleichung

Um die Beziehung zwischen der Elektronendichte im Plasma und der gemessenen Anzahl an Oszillationen herzustellen gehe ich von den Gleichungen (4.14a) $\omega_p^2 = \frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 m}$ und (7.2) $N = -\frac{x}{\lambda} \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$ in [1] aus. Man erhält durch

einsetzen

$$n_e = -\frac{\varepsilon_0 m \lambda \omega^2}{e^2 x} N = -\frac{4\pi^2 \varepsilon_0 m c^2}{e^2 x \lambda} N = C(x, \lambda) \cdot N. \quad (1)$$

2.2 Bestimmung der Proportionalitätskonstanten

Die Plasmalänge wurde nur bei der Xe Röhre mit einem Druck von 1,92 Torr zu $x = 28,4 \pm 0,4$ cm bestimmt. Aus den Musterwerten und unserem Wert ergibt sich $\bar{x} = (28,7 \pm 0,1)$ cm.

Es wurde bei der infraroten Wellenlänge $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ des Lasers gemessen.

Daraus folgt für die Proportionalitätskonstante

$$C = -(1,151 \pm 0,004) \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}.$$

3 Umskalierung der Diagrammachsen

Es wurde die Spannung V_{R_2} über dem Widerstand R_2 nach einer 20 dB Abschwächung gemessen. Die Abschwächung bedeutet, daß

$$20 \text{ dB} = 20 \cdot \lg \frac{V_{R_2}}{V_{pp}} \iff \frac{V_{R_2}}{V_{pp}} = 10,$$

mit der am Oszilloskop gemessenen Spannung V_{pp} .

Um aus der Spannung den geflossenen Strom zu erhalten verwendet man das Ohmsche Gesetz

$$I_{\max} = \frac{V_{R_2}}{R_2} = \frac{10 \cdot V_{pp}}{R_2} = 40 \cdot V_{pp} \frac{\text{A}}{\text{V}}.$$

Für den Brechungsindex gilt nach der Gleichung (7.1) des Skriptes

$$1 - n = \frac{\lambda}{2x} N = (5,90 \pm 0,02) \cdot 10^{-6} \cdot N.$$

4 Gerade für 1 mbar

Mit den Steigungen der beiden Geraden für die Xe-Röhren erhalte ich über die 2-Punkte-Form einer Geraden für eine Xe-Röhre mit einem Druck von 1 mbar = 0,75 Torr folgende Gleichung für den Achsenabschnitt

$$c_{0,75 \text{ Torr}} = c_{0,96 \text{ Torr}} + \frac{c_{0,96 \text{ Torr}} - c_{1,92 \text{ Torr}}}{0,96 \text{ Torr} - 1,92 \text{ Torr}} \cdot (0,75 - 0,96) \text{ Torr} \quad (2)$$

Für die Steigung ergibt sich aus der 2-Punkte-Form für die Steigungen:

$$m_{0,75 \text{ Torr}} = m_{0,96 \text{ Torr}} + \frac{m_{1,92 \text{ Torr}} - m_{0,96 \text{ Torr}}}{1,92 \text{ Torr} - 0,96 \text{ Torr}} \cdot (0,75 - 0,96) \text{ Torr} \quad (3)$$

Daraus ergibt sich mit

$$\begin{aligned} c_{1,92 \text{ Torr}} &= (-0,86 \pm 1) \\ c_{0,96 \text{ Torr}} &= (-0,07 \pm 2) \\ m_{1,92 \text{ Torr}} &= (1,35 \pm 0,11) \text{ V}^{-1} \\ m_{0,96 \text{ Torr}} &= (0,85 \pm 0,12) \text{ V}^{-1} \end{aligned}$$

für einen Druck von $0,75 \text{ Torr}$:

$$\begin{aligned} c_{0,75 \text{ Torr}} &= 0,1 \pm 2 \\ m_{0,75 \text{ Torr}} &= (0,74 \pm 0,13) \text{ V}^{-1} \end{aligned}$$

5 Berechnung des Ionisationsgrades

Aus Gleichung (1) erhält man die maximale Elektronendichte des Plasmas. Unter Voraussetzung einfacher Ionisation erhält man daraus die Ionenzahl-dichte. Bei bestimmter Temperatur und Druck sind daher in einem Volumen ΔV insgesamt $n_{ges} = \frac{p\Delta V}{kT}$ geladene Teilchen. Der Ionisationsgrad ist somit:

$$\eta = \frac{n_e \Delta V}{\frac{p\Delta V}{kT}} = \frac{n_e kT}{p} \quad (4)$$

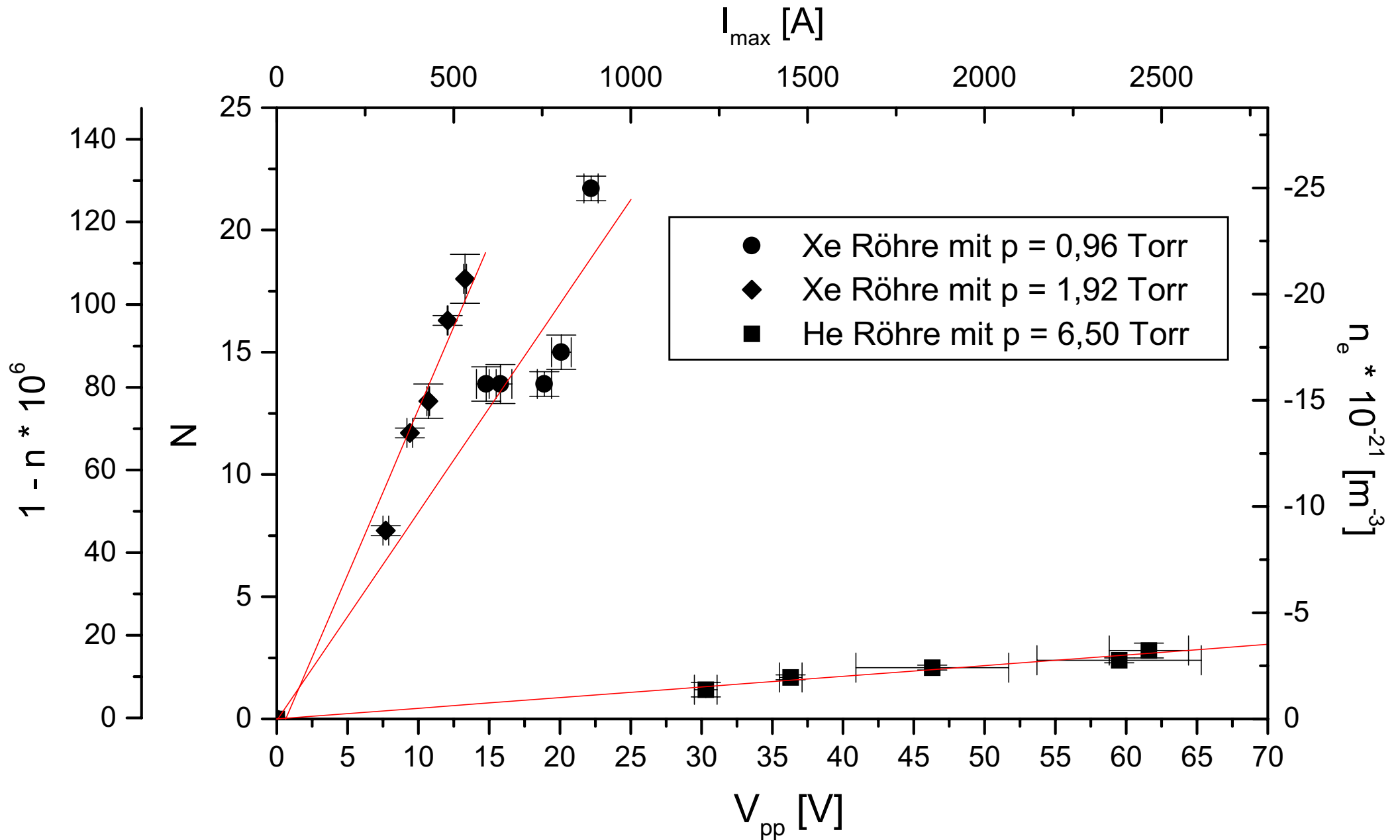
Für einen Entladestrom von $I = 500 \text{ A}$ erhält man hierfür bei einer Temperatur $T = 294 \text{ K}$:

$$\eta_{0,96 \text{ Torr}} \approx 29,4\% \quad \eta_{1,92 \text{ Torr}} \approx 39,7\% \quad (5)$$

Literatur

- [1] F38 plasmadiagnose. Skript zum Versuch F38 im Fortgeschrittenenpraktikum in Physik der Ruprecht-Karls Universität Heidelberg.

Oszillationszahl/Elektronendichte/Brechungsindex gegen Spannung/Strom



6 Kritische Diskussion

Im hier vorliegenden Versuch Plasmadiagnose wurden Zustandsdiagramme verschiedener Plasmaröhren gemessen. Es wurden bei Gasentladungen mit verschiedenen Strömen jeweils die Brechungsindexänderung und damit die Elektronendichte des Plasmas bestimmt. Diese wurden in ein Diagramm aufgetragen. Hier läßt sich leicht erkennen, daß die Steigungen mit abnehmendem Druck flacher wurden, was sich auch bei der berechneten Steigung für einen Druck von 1 mbar zeigt. Unsere doch relativ hohen Fehler kommen wohl hauptsächlich von den großen Problemen beim Erkennen und Auszählen der Maxima auf dem Oszilloskop. Außerdem lies sich der Strom nicht einstellen, da die Röhren alle nur sehr schwer zündeten. Daher konnten nicht wie geplant mehrere Messungen bei den selben Stromstärken gemacht werden, sondern es mußten einfach mehrere Messungen durchgeführt werden solange bis genügend verschiedene Stromstärken vorkamen und auch genügend Messungen bei ungefähr den selben Stromstärken vorlagen.

Bei der Messung des Ionisationsgrades ergab sich folgendes: bei einem Strom von $I = 500 \text{ A}$ war bei der Xe-Röhre mit $p = 0,96 \text{ Torr}$ erheblich geringer, als es bei der Röhre mit einem Druck von $p = 1,92 \text{ Torr}$ der Fall war.