

## Auswertung

# Vakuum

Carsten Röttele      Stefan Schierle

Versuchsdatum: 29.05.2012

### Inhaltsverzeichnis

<b>1 Demoversuch</b>	<b>2</b>
<b>2 Leitwert eines Metallrohrs</b>	<b>3</b>
<b>3 Saugvermögen der Drehschieberpumpe</b>	<b>5</b>
<b>4 Saugvermögen der Turbomolekularpumpe</b>	<b>5</b>
<b>5 Einstufiges statistisches Kalibrierungsverfahren</b>	<b>7</b>
<b>6 Elektrische Durchschlagfestigkeit</b>	<b>9</b>
<b>7 Aufdampfen eines Indium-Flecks auf Plexiglas</b>	<b>10</b>
<b>8 Vorbereitung der Apparatur</b>	<b>11</b>

# 1 Demoversuch

Bei diesem Demonstrationsversuch mussten, da dieser Versuchsaufbau nur einmal vorhanden ist, alle drei Gruppen an einer Versuchsanlage die Gasentladung in Abhängigkeit des Druckes beobachten.

Hierfür evakuierten wir die Gasentladungsröhre mit der Drehschieberpumpe und legten eine Spannung an den Elektroden in der Gasentladungsröhre an. Nun war zu sehen, dass bereits bei einem geringen Unterdruck von  $13,6\text{mbar}$  am oberen Ende der Kathode eine Leuchten wahrzunehmen war. Ab hier müssen also gerade so wenige Teilchen da sein, sodass die Elektronen nicht mehr durch die Stöße mit den anderen Atomen daran gehindert werden das Gas zum leuchten zu bringen. Bei größer werdendem Vakuum füllte der leuchtende Bereich fast die ganze Gasentladungsröhre aus, diesen Zustand erreichten wir bei einem Druck von  $3,6\text{mbar}$ . Beim weiteren Evakuieren bildeten sich ab einem Druck von  $1,5\text{mbar}$  Scheiben, die sich immer stärker voneinander abheben, was man im unteren Bild erkennen kann. Im Bereich von  $2,6 \cdot 10^{-1}\text{mbar}$  bis  $1,5 \cdot 10^{-1}$  konnte man die Trennung der Scheiben sehr schön erkennen. Das Abwechseln der leuchtenden Scheiben mit den dunklen Gebieten resultiert nicht nur aus der mittleren freien Weglänge, sondern auch aus der angelegten Spannung, bzw. der daraus resultierenden Energieübertragung. Trifft ein Elektron auf ein Teilchen und bringt es durch seine Energieabgabe zum Leuchten, so benötigt es wieder Energie, die es auf einer gewissen Wegstrecke durch die Spannung erhält, damit es die nächsten Teilchen anregen kann. Je geringer der Druck wird, desto weniger Teilchen gibt es und die mittlere freie Weglänge steigt und gleichzeitig werden auch die Scheiben immer deutlicher, da kein Elektron seine Energie zu früh durch einen Stoß abgibt.

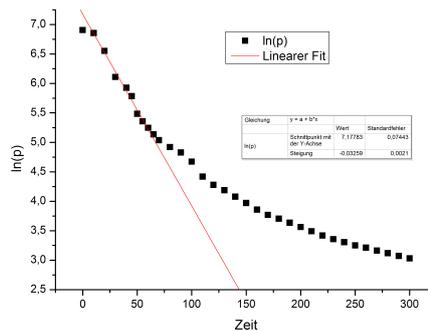
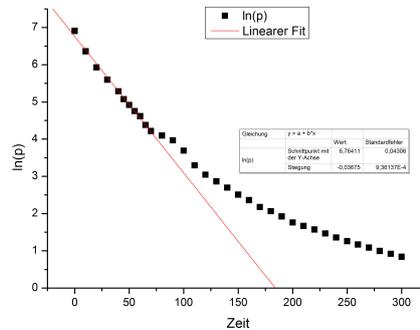


## 2 Leitwert eines Metallrohrs

In dieser Aufgabe soll nun der Leitwert eines Rohres mit 2 mm Innendurchmesser bestimmt werden, hierfür mussten wir den bereits angeschlossenen Metallwellschlauch gegen diesen austauschen. Im Anschluss maßen wir in Intervallen von 10 Sekunden den Druck vor und hinter dem Rohr. Dadurch können wir, mit der in der Vorbereitung bereits erwähnten Gleichung, auf die Saugleistung schließen. Es gilt:

$$\ln(p) = -\frac{S}{V}t + \ln(p_0) \quad \text{und} \quad L = \frac{S \cdot S_{eff}}{S - S_{eff}}$$

Wir müssen nun also jeweils die beiden Saugleistungen bestimmen, welche man mithilfe der Steigung des ersten linearen Bereichs bei einem  $\ln(p)$ -t Diagramm erhält. Wir trugen also beide Kurven auf und erhielten:



Wir erhalten die Steigungen von  $m_1 = -0,03675 \frac{1}{s}$  und  $m_2 = -0,03259 \frac{1}{s}$ . Um daraus das Saugvermögen zu erhalten, muss man die beiden Steigungen noch mit dem negativen Volumen, dass bei unserer Apparatur 2-44 9,2 l plus das 0,5 l Referenzvolumen beträgt, multiplizieren, wodurch man  $S = 0,3565 \frac{l}{s}$  und  $S_{eff} = 0,3161 \frac{l}{s}$  erhält. Daraus ergibt

sich für den Leitwert:

$$L = 2,793 \frac{l}{s}$$

Wie in der Vorbereitung bereits beschrieben, kann man zum Vergleich eine Formel für den theoretischen Leitwert mit einer Formel aus der Vorbereitungshilfe nehmen, nämlich:

$$L = 12,1 \cdot \frac{d^3}{l} \cdot \frac{1 + 203 \cdot d \cdot p_m + 2,78 \cdot 10^3 \cdot d^2 \cdot p_m^2}{1 + 237 \cdot d \cdot p_m} = 2,071 \frac{l}{s}$$

Diese Abweichung von etwa 79% ist relativ groß, was vermutlich daran liegt, dass das Rohr nicht gerade war, sondern schon stark verbogen. Dies wurde in der theoretischen Formel natürlich nicht berücksichtigt.

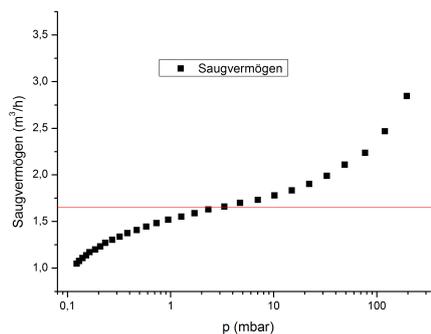
### 3 Saugvermögen der Drehschieberpumpe

Zur Durchführung dieser Aufgabe bauten wir wieder den Metallwellschlauch ein. dafür mussten wir den Versuchsaufbau vollständig belüften.

Die Messung erfolgte nun über die Thermovac-Messsonde T1 direkt am Ansaugstutzen der Drehschieberpumpe in Intervallen von 10 Sekunden. Die Messreihe begannen wir sobald die Drehschieberpumpe den Druck im Rezipienten messbar verringerte. Mit den so gewonnenen Messdaten können wir nun wieder auf die Saugleistung schließen. Für die Saugvermögen gilt:

$$S = -\frac{V}{t} \cdot \ln\left(\frac{p}{p_0}\right)$$

Tragen wir nun das Saugvermögen über den Druck auf, so erhalten wir folgende Kurve:



Dieses Bild entspricht leider überhaupt nicht unserer Erwartung von einem umgedrehten U. Leider konnten wir auch nach vielfachen Überprüfen unserer Eingabe der Messwerte

und der Formel nicht unseren Fehler finden. Wir haben nun stattdessen den Bereich genommen, der einigermaßen linear war und haben dort das mittlere Saugvermögen bestimmt. Dieses betrug etwa:

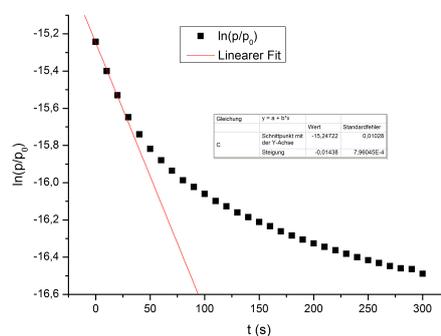
$$\bar{S} = 1,65 \frac{m^3}{h}$$

Dieses ist verglichen mit dem angegebenen Wert von  $1,6 \frac{m^3}{h}$  sogar erstaunlich gut, wobei wir natürlich wissen, dass wir irgendwo einen groben Fehler gemacht haben müssen und deshalb dieser Wert mit Vorsicht zu betrachten ist.

## 4 Saugvermögen der Turbomolekularpumpe

Bei der Bestimmung des Saugvermögens der Turbomolekularpumpe mussten wir erst ein Vorvakuum mit der Drehschieberpumpe erzeugen, damit die sehr teure Turbomolekularpumpe nicht beschädigt wird. Die Druckmessung konnte hier auch nicht mit den bisher verwendeten Thermovac-Messsonden erfolgen, sondern mit dem auch noch im Hochvakuum funktionierenden Ionisationsmanometer. Die Messung erfolgte auch wie bei Aufgabe 3 in Intervallen von 10 Sekunden.

Wir trugen nun wieder  $\ln(p/p_0)$  über die Zeit auf und erhielten folgenden Graphen:

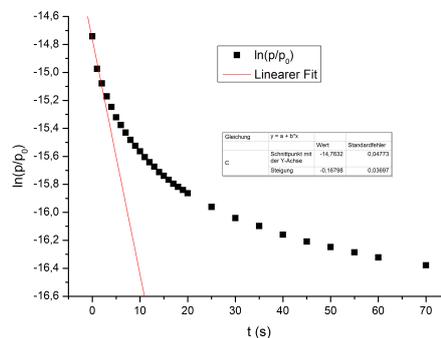


Wir erhalten von Origin eine Steigung von  $m = -0,01438 \frac{1}{s}$ , womit wir für das mittlere Saugvermögen erhalten:

$$\bar{S} \approx m \cdot V = 0,139 \frac{l}{s}$$

Man erkennt, dass das Saugvermögen immer kleiner wird, mit laufender Zeit. Der Grund hierfür ist, dass die Pumpe weniger Impuls den Teilchen übertragen kann, wenn nur noch leichte Teilchen in der Pumpe sind. Die schweren Teilchen werden am Anfang aus der Pumpe gebracht, weshalb dort das Saugvermögen noch größer ist. Am Schluss sind aber

nur noch leichte Teilchen in der Pumpe, die nur einen kleinen Impulsübertrag erhalten und somit drinnen bleiben, weshalb die Leistung der Pumpe gegen null geht. Der oben gemessene Wert der mittleren Saugleistung ist viel kleiner als die angegebenen  $30 \frac{l}{s}$ , was vermutlich daran liegt, dass wir nicht genügend Messwerte am Anfang aufnehmen konnten. Außerdem ist der Druckbereich nicht angegeben, für welchen diese Saugleistung gilt. Ein weiterer wichtiger Grund ist mit Sicherheit die Leckrate der Apparatur. Um zumindest den ersten Fehler zu minimieren, erhielten wir von unserem Betreuer Messwerte, die mit einer Kamera aufgenommen wurden. Trägt man diese in ein Schaubild auf, so erhält man:



Jetzt erhalten wir schon eine Steigung von  $m = -0,16798 \frac{1}{s}$ , womit wir ein mittleres Saugvermögen erhalten von:

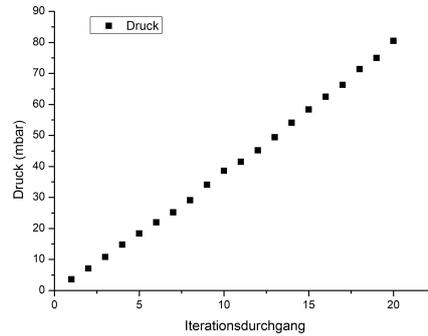
$$\bar{S} = 1,629 \frac{l}{s}$$

Dies ist schon eine deutliche Steigerung zu unserem Messwert, liegt aber immer noch weit unter den erwarteten  $30 \frac{l}{s}$ , weshalb die Leckrate sehr groß sein muss.

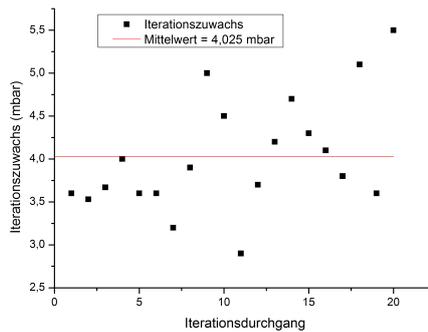
## 5 Einstufiges statistisches Kalibrierungsverfahren

Beim einstufigen statistischen Kalibrierungsverfahren begannen wir unsere Messung bei einem Druck von  $2,6 \cdot 10^{-3} mbar$  im Rezipienten. Bei der Messung erweiterten wir das Rezipientenvolumen, indem wir das zuvor belüftete und wieder verschlossene Rohrstück zwischen Ventil V3 und dem Belüftungsventil B2. Wir öffneten also V3, und maßen den Druck, der nun im Gesamtvolumen vorliegt. Anschließend schlossen wir V3 und belüfteten das Rohrstück wieder. Dieses verfahren wiederholten wir 20 mal bis zu einem Druck von  $80 mbar$ .

Wir haben nun als erstes den jeweils gemessenen Druck über den dazugehörigen Iterationsdurchgang aufgetragen und erhielten dabei folgendes Diagramm:



Man erkennt, dass der Iterationszuwachs nicht ganz konstant ist, denn sonst müsste man eine lineare Kurve in das Diagramm reinlegen können. Dies wird noch deutlicher, wenn man wie im folgenden geschehen in ein Diagramm den jeweiligen Iterationszuwachs über den Iterationsdurchgang aufträgt:



Wie schon gerade eben erwähnt, sieht man hier deutlich, dass der Iterationszuwachs nicht konstant ist, denn sonst müsste man eine Gerade mit Steigung 0 erhalten. Man erkennt vor allem, dass mit größer werdendem Druck der Iterationszuwachs viel stärker variiert. Der Hauptgrund hierfür ist mit Sicherheit die Leckrate der Apparatur, welche auch mit größer werdendem Druck steigt. Ein weiterer Grund könnte sein, dass wir die Messung ziemlich schnell durchgeführt haben und so sich das System vielleicht noch nicht genau im Gleichgewicht war, weil die Atome sich noch nicht gleichmäßig im freien Raum verteilt haben.

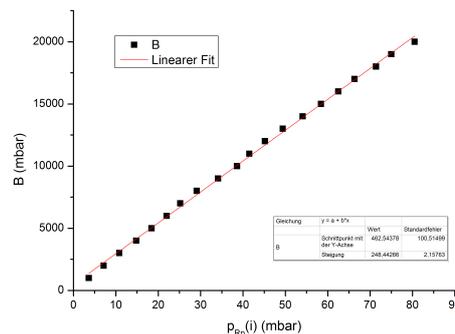
Zuletzt sollte in dieser Aufgabe noch das Expansionsverhältnis  $\epsilon$  bestimmt werden. Wir verwenden dazu eine Formel, die wir von unserem Betreuer erhalten haben, nämlich:

$$\epsilon = \frac{V_{Rp}}{V_{Ref}} = i \cdot \frac{p_{Luft}}{p_{Rp}(i) - p_{Rp}(0)} \approx i \cdot \frac{p_{Luft}}{p_{Rp}(i)}$$

Wir haben nun die Gleichung so umgestellt, sodass wir das Expansionsverhältnis als Steigung von einer Gerade erhalten:

$$\underbrace{i * p_{Luft}}_{\equiv B} = \epsilon \cdot p_{Rp}(i)$$

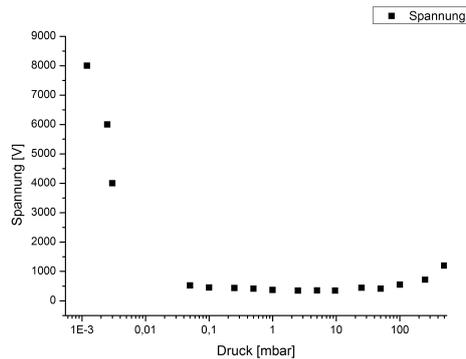
Hierbei bezeichnet B eine Hilfsgröße, die wir nun über  $p_{Rp}(i)$  auftragen:



Wir erhalten demnach für das Expansionsverhältnis durch unseren Plotter Origin einen Wert von  $\epsilon = 248,44$ . Dies ist verglichen mit dem theoretischen Wert von  $\epsilon_{theo} = 200$  kein schlechter Wert, bei dem natürlich auch die gerade eben genannten systematischen Fehler wie die Leckrate eine Rolle für die Abweichung spielen.

## 6 Elektrische Durchschlagfestigkeit

Da dieser Versuch an unserer Apparatur 2-44 nicht durchführbar war, haben wir uns mit der Gruppe 4 zusammengeschlossen und an ihrer Apparatur den Versuch mitgemacht. Hier sollte die elektrische Durchschlagfestigkeit im Vakuum getestet werden. Wir haben dazu bei Atmosphärendruck begonnen und dabei jeweils die Spannung zwischen zwei Metallkugeln erhöht, bis sie sich entluden, wobei wir dann den höchsten vor dem Absinken der Spannung gemessenen Wert notierten. Danach halbierten wir in etwa immer den Druck und wiederholten jeweils unsere Messung. Leider haben wir dabei vergessen einen Wert für den Atmosphärendruck zu nehmen. Wenn man nun die sich im Messprotokoll befindlichen Werte aufträgt, so erhält man folgendes Schaubild:



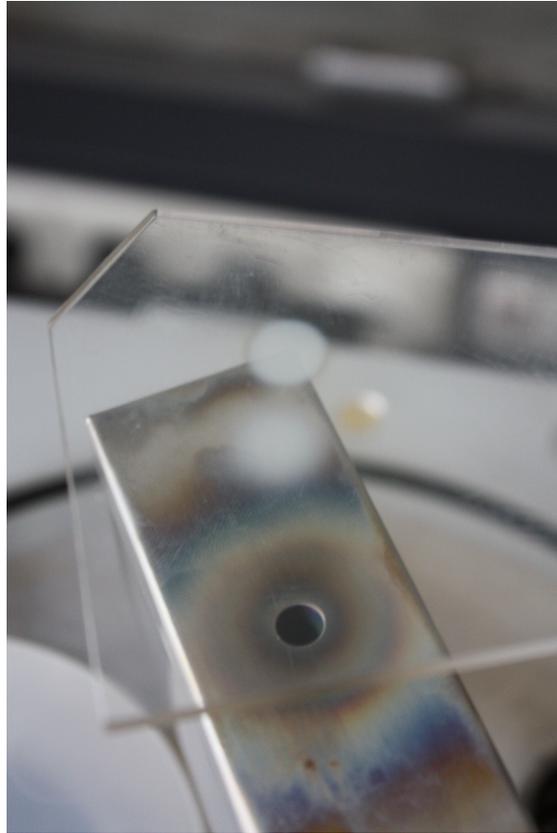
Man erkennt, dass in der Mitte die Spannung in etwa gleich bleibt, wohingegen bei niedrigen und hohen Drücken eine größere Spannung benötigt wird. Dies liegt bei den niedrigen Drücken daran, dass fast keine Teilchen mehr zum Übertragen der Ladung mehr vorhanden sind, weshalb man große Spannungen benötigt, damit die Ladungen direkt von einer Kugel zur nächsten springt. Bei höheren Drücken ist quasi genau das Gegenteil schuld an der höheren Spannung, nämlich dass die Elektronen mit zu vielen Atomen zusammenstoßen, sodass sie Energie verlieren, weshalb man also eine höhere Spannung benötigt. In der Mitte haben wir den Optimalfall, nämlich genügend Atome zum leiten, aber nicht zu viele Stöße mit den anderen Atomen.

Allgemein konnten wir bei höheren Drücken zwischen den Kugeln kleine Blitze erkennen, die mit abnehmendem Druck verschwanden und es kam nur noch zu einer Glimmladung, welche man mit sinkendem Druck fast nicht mehr erkennen konnte. Wenn man diesen Versuch mit dem ersten vergleicht, so stellt man fest, dass auch hier quasi ein Vorvakuum nötig war, bis man Blitze erkennt, wegen dem oben beschriebenen Grund.

## 7 Aufdampfen eines Indium-Flecks auf Plexiglas

Wie schon im Versuch davor haben wir auch diesen Versuch mit einer anderen Gruppe zusammen durchgeführt. Es sollte bei drei verschiedenen Drücken beobachtet werden, wie groß der benötigte Heißstrom ist, um einen Indium-Fleck auf der Plexiglasscheibe zu bekommen. Außerdem sollte die Randschärfe beschrieben werden. Zunächst muss bemerkt werden, dass wir mit unserer Apparatur keinen Druck niedriger als  $10^{-5}$  mbar erzeugen konnten, weshalb wir das erste Mal einen Indium-Fleck bei einem Druck von  $6,7 \cdot 10^{-5}$  mbar erzeugten. Schon nach einer kurzen Zeit konnten wir einen deutlichen Flecken auf der Scheibe erkennen. Anschließend steigerten wir den Druck auf  $3 \cdot 10^{-3}$  mbar, was daran lag, dass wir ein bisschen zu lange das Ventil offen hatten und so über den in der Aufgabenstellung angegebenen  $10^{-3}$  mbar waren. Dennoch konnten wir auch hier einen Indium-Fleck erkennen, der sich aber langsamer bildete und nicht so scharf war. Bei  $10^{-2}$  mbar dagegen, konnten wir keinen Indium-Fleck erkennen, was vermutlich daran lag, dass die Vorgängergruppe nicht genügend Indium aufgefüllt hatte. Der Heizstrom betrug dabei konstant 17 A. Wir haben von der Plexiglasscheibe nach dem

Versuch ein Bild gemacht, worauf man die Indium-Flecken erkennen kann, beginnend von hinten mit dem bei dem niedrigsten Druck:



Die unterschiedliche Randschärfe lässt sich dadurch erklären, dass wenn nur ein kleiner Druck herrscht, weniger Atome zwischen der Indiumquelle und der Plexiglasscheibe sind, d.h. die mittlere freie Weglänge ist größer, weshalb nicht so viele Indiumatome abgelenkt werden. Man erhält die größte Randschärfe, wenn die mittlere freie Weglänge genau so groß ist, wie der Abstand der Indiumquelle zur Glasscheibe ist. In diesem Fall muss der Heizstrom auch nicht sehr groß sein.

## **8 Vorbereitung der Apparatur**

Da wir die Apparatur 2-44 hatten, mussten wir nur die Apparatur belüften und nicht das Aufdampfschiffchen wieder mit Indium bestücken. Nachdem wir etwa 10 Minuten gewartet haben bis die Turbomolekularpumpe abgeschaltet war, konnten wir auch die Drehschieberpumpe ausschalten und somit die Apparatur so zurücklassen, wie wir sie vorgefunden haben.