

Auswertung

Vakuum
Versuch P2-41,42

Iris Conradi und Melanie Hauck
Gruppe Mo-02

28. Juni 2011

Inhaltsverzeichnis

1	Überblick über die Apparatur	3
2	Leitwertbestimmung	3
3	Saugvermögen der Drehschieberpumpe	5
4	Saugvermögen der Turbomolekularpumpe	6
5	Einstufiges statisches Kalibrierungsverfahren	7
6	Durchschlagfestigkeit	8
7	Randschärfe aufgedampfter Flecken	9

1 Überblick über die Apparatur

Wir haben die einzelnen Bauteile der Apparatur anhand der Schaltskizze auf dem Aufgabenblatt identifiziert. Zudem haben wir uns mit der Funktionsweise der Ventile beschäftigt.

2 Leitwertbestimmung

Wir haben den Versuch entsprechend der Anleitung durchgeführt und dabei alle 10 s die Messwerte abgelesen.

Zu Beginn war die Veränderung der Drücke sehr schnell, sodass es schlecht abzulesen war. Bei niedrigen Drücken war die Messung verlässlicher.

Zunächst müssen wir S und S_{eff} bestimmen. Dazu haben wir aus Gleichung (3) aus der Vorbereitung mittels Separation der Variablen die folgende Beziehung erhalten:

$$\ln \frac{P}{P_0} = - \underbrace{\frac{S}{V}}_{=m} t \quad (1)$$

dabei ist P_0 der Druck zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ s, dies bezeichnet den Zeitpunkt bei dem sich eine der Druckanzeigen das erste mal änderte. Wir führten für jede Messreihe eine lineare Regression (vgl. Abbildung 1) durch, um aus der Steigung die Saugleistung bestimmen zu können. Dabei verwendeten wir die gesamte Messreihe von 0 s bis 300 s. Zwar war bei

T2 zu Beginn keine Veränderung zu sehen, weil aus dem Rezipienten Luft nachströmen konnte. Dass ein Überdruck herrschte (Messgerät kann nur bis 1bar anzeigen) glauben wir nicht. Da zur Berechnung der Saugleistungen auch der zeitliche Verlauf der Drücke entscheidend ist, verwenden wir diese Werte auch. Die Regressionen ergaben folgende

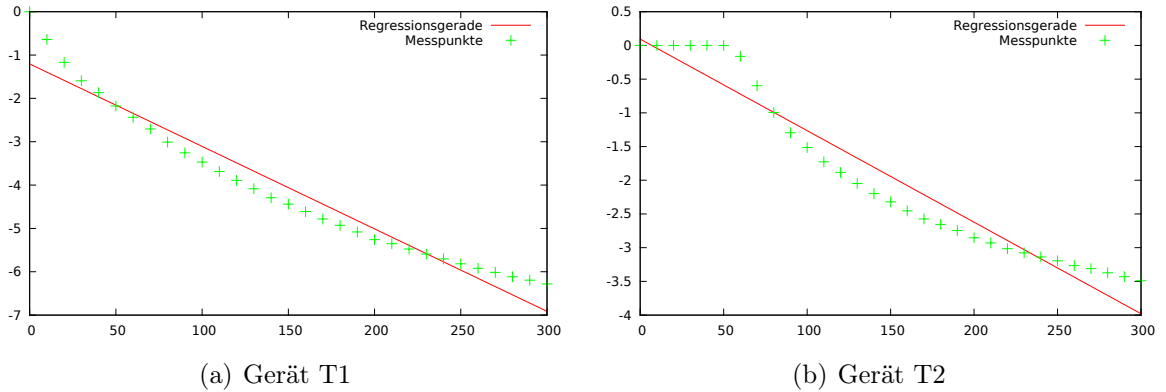


Abbildung 1: Bestimmung der Saugleistungen

Parameter:

- Messung an T1:
 - Steigung: $m_1 = (-0.0190314 \pm 0.0008286) 1/s$
 - y- Achsenabschnitt: $b_1 = -1.20451 \pm 0.1447$
- Messung an T2:
 - Steigung: $m_2 = (-0.0135786 \pm 0.000644) 1/s$
 - y- Achsenabschnitt: $b_2 = 0.0935076 \pm 0.1125$

Die Steigungen sind nur mit sehr geringen Unsicherheiten behaftet. Auch die Werte für die y-Achsenabschnitte zeigen, dass eine lineare Annahme nicht falsch ist, da sie wie erwartet nahe an der Null liegen. Bei der Messung an T2 liegt die Null sogar im Fehlerbereich.

Aus den Steigungen können wir nun direkt die Saugleistungen bestimmen (vgl. Gleichung (1)). Dazu benötigen wir die Angabe bezüglich V . Wir verwenden in beiden Fällen den Wert, der auf dem Aufgabenblatt für das Volumen des Rezipienten bis zu V_2 angegeben ist. Das Volumen des verwendeten Rohres ist dagegen vernachlässigbar.

Aus der Steigung für die Messung an T1 erhalten wir $S = 0.19493863 1/s$. Die Messung an T2 gibt uns die effektive Saugleistung $S_{eff} = 0.1390856 1/s$.

Damit ergibt sich für den Leitwert (vgl. Gleichung (2) aus der Vorbereitung):

$$L = \frac{S \cdot S_{eff}}{S - S_{eff}} \approx 0.4854 \text{ l/s} \quad (2)$$

Mit der Gleichung (4) aus der Vorbereitung haben wir einen Vergleichswert für L aus den Messwerten bestimmt. Dabei muss der Druck in mbar und die Längen in cm eingegeben werden. Wir haben dies für die Werte ab 70s durchgeführt, da die vorigen eine große Messunsicherheit enthalten. Der Mittelwert aus den so bestimmten Leitwerten beträgt 0.34 l/s . Jedoch ist dieser Wert recht willkürlich da die so bestimmten Werte abfallen. Durch hinzunehmen weiterer Werte kann man einen Mittelwert bis zu etwa 1 l/s erreichen. Man kann jedoch sehen, dass der oben bestimmte Wert in der richtigen Größenordnung liegt.

3 Saugvermögen der Drehschieberpumpe

Das Vorgehen war analog zur vorherigen Aufgabe, jedoch wurde nur an T1 gemessen. Auch das Berechnen der Saugleistung ist analog zu oben. Wie man sieht, ist die Saugleistung proportional zur Steigung der Kurve.

Abbildung 2 zeigt die von uns aufgenommenen Werte in der Auftragung $\ln P/P_0$ über t . Man erkennt, dass die Steigung also das Saugvermögen in zwei Bereichen in etwa konstant ist. Daher führten wir für diese Bereiche einen linearen Fit durch um die jeweilige Saugleistung zu ermitteln. In Tabelle 1 sieht man die Ergebnisse des Fits und die be-

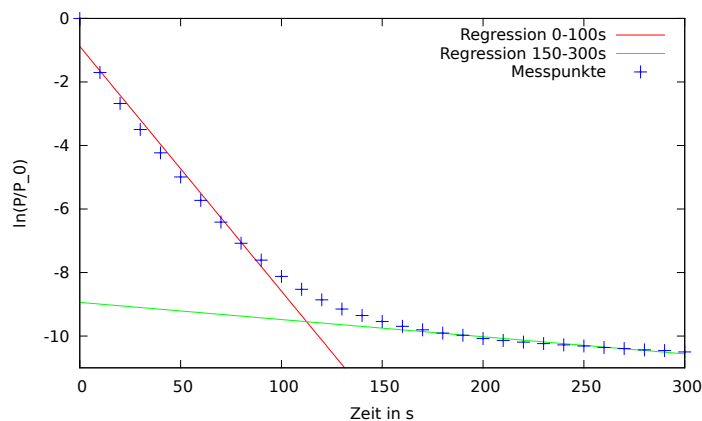


Abbildung 2: Saugvermögen der Drehschieberpumpe

rechneten Saugleistungen. Dass der y-Achsenabschnitt bei 150 – 300s so groß ist, haben wir erwartet. Denn es muss einen Offset geben, da wir den Druck durch den Wert zum Zeitpunkt Null geteilt haben, nicht durch den Wert zum Zeitpunkt 150s.

Man erkennt, dass die Saugleistung also mit sinkenden Druck kleiner wird. In der Ab-

	0 – 100s	150 – 300s
Steigung in $1/s$	-0.0770608 ± 0.003764	$-0.00541099 \pm 0.0003242$
y-Achsenabschnitt	-0.87873 ± 0.2227	-8.93911 ± 0.07587
Saugleistung in l/s	0.8002	0.0562

Tabelle 1: Fit-Parameter, Saugleistung

bildung erkennt man eine starke Änderung der Saugleistung im Bereich von 100 – 150s. Vor und nach diesem Bereich ist die Saugleistung etwa konstant. Wir nehmen an, dass in diesem Bereich der Übergang von viskoser Strömung zu Knudsenströmung stattfand. Somit änderte sich das Strömungsverhalten und damit auch die Saugleistung.

Außerdem haben wir erwartet, dass die Drehschieberpumpe bei kleinen Drücken nicht mehr effektiv arbeitet. Dies liegt am grundsätzlichen Funktionsprinzip. Genau dies können wir erkennen. Mit der Drehschieberpumpe kann also nur ein „Vorvakuum“ erreicht werden, da jede Apparatur Lecks hat.

Das Nennsaugvermögen liegt bei $0.694 l/s$ laut Angaben auf dem Aufgabenblatt. Unsere Werte liegen also in der richtigen Größenordnung. Da nicht klar ist, in welchem Druckbereich das Nennsaugvermögen bestimmt wird, können wir keine weiteren Vergleiche ziehen.

4 Saugvermögen der Turbomolekularpumpe

Das Vorgehen in dieser Aufgabe war exakt gleich zu dem aus der vorherigen Aufgabe. Jedoch begann der Versuch erst bei niedrigeren Drücken, da die Turbomolekularpumpe erst im Vorvakuum verwendet werden darf, da sie sonst zerstört wird.

Abbildung 3 zeigt die Messwerte und die zwei Fits für die annähernd linearen Bereiche. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse des Fits und die Saugleistungen eingetragen.

Wir stellen fest, dass die von uns bestimmten Werte mehrere Zehnerpotenzen vom

	0 – 20s	90 – 300s
Steigung in $1/s$	-0.132099 ± 0.001109	$-0.00177943 \pm 0.00005175$
y-Achsenabschnitt	-0.0640085 ± 0.1431	-3.36838 ± 0.01061
Saugleistung in l/s	1.3717	0.0185

Tabelle 2: Fit-Parameter, Saugleistung

angegebenen Wert abweichen. Jedoch ist wieder nicht bekannt in welchem Druckbereich der angegebene Wert gilt. Wir erwarten, dass für steigenden Druck die Saugleistung

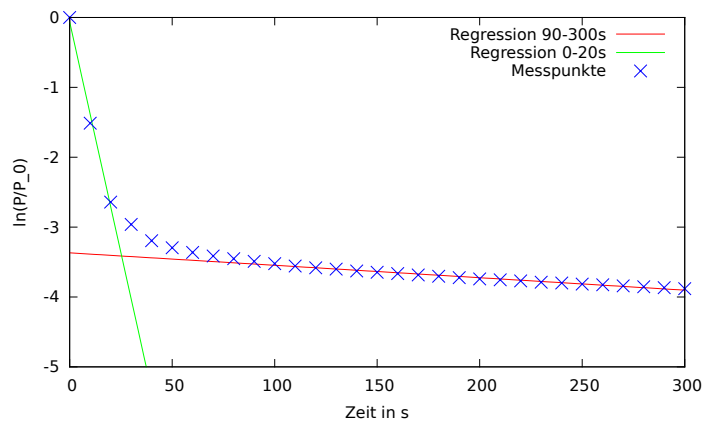


Abbildung 3: Saugvermögen der Turbomolekularpumpe

höher ist, allerdings darf in diesen Druckbereichen die Turbomolekularpumpe garnicht verwendet werden. Deshalb verwundert uns unser Messergebnis im Bezug auf diesen Wert.

5 Einstufiges statisches Kalibrierungsverfahren

Abbildung 4 zeigt den Druckverlauf über die Iterationsschritte. Wie erwartet (vgl. Vorbereitung) ergibt sich ein linearer Zusammenhang. Diese Näherung gilt jedoch nur bei niedrigen Drücke, also kleinen Teilchenzahlen.

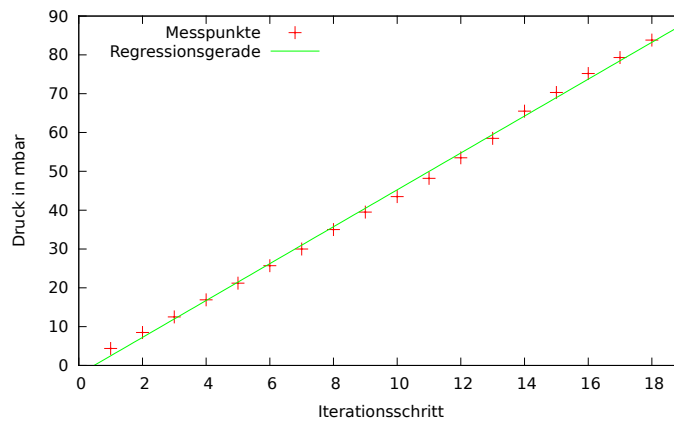


Abbildung 4: Regressionsgerade

Die Fit-Parameter lauten:

- Steigung: $m = (4.75156 \pm 0.05496)$ mbar
- y-Achsenabschnitt: $b = (-2, 2819 \pm 0.5949)$ mbar

Der y-Achsenabschnitt sollte sehr nahe an Null liegen und positiv sein, da zuvor der Rezipient mit der Turbomolekularpumpe evakuiert wurde. Der y-Achsenabschnitt resultiert aus der Ableseungenauigkeit. Es kann aber nicht sein, dass wir die Iterationsschritte falsch abgezählt haben, da der y-Achsenabschnitt betragsmäßig deutlich kleiner ist, als die Steigung.

Aus der Steigung können wir das Rezipientenvolumen berechnen (vgl. Gleichung (7)) aus der Vorbereitung:

$$V_{ref} = \frac{m \cdot V_{Rez}}{P_{at}} \approx 0.0491 \quad (3)$$

Auf dem Aufgabenblatt ist ein Volumen von 0.0431 angegeben. Selbst bei perfekten Messapparaturen können wir nur eine Genauigkeit bis zur dritten Nachkommastelle erhalten, da das Rezipientenvolumen nicht genauer angegeben ist.

Unser Messwert stimmt sehr genau mit der Angabe überein. Da wir von dem großen Rezipientenvolumen unter Verwendung eines ungenauen Wertes für den Atmosphärendruck (1 bar) auf das kleine Referenzvolumen geschlossen haben, bedeutet die Genauigkeit unseres Wertes, dass die Messapparaturen sehr gut sind.

6 Durchschlagfestigkeit

Den Spannungswert haben wir bestimmt, indem wir am Spannungsmessgerät beobachtet haben, wie sich der Wert ändert, wenn man die Spannungsquelle aufdreht. Kurz vor der Entladung sieht man den Maximalwert. Nach der Entladung ist die Spannung relativ konstant. Diesen Maximalwert haben wir als Messwert aufgenommen.

Zuerst haben wir den Druck schrittweise mit der Drehschieberpumpe verringert. Danach haben wir die Turbomolekularpumpe angeschaltet und ein möglichst gutes Vakuum erzeugt. Nun haben wir die Turbomolekularpumpe abgeschaltet.

Nach Abschalten der Pumpe läuft sie aufgrund der guten Lagerung sehr lange weiter. Mit dem Ventil V2 konnten wir nun den Druck hoch und runter regeln. Dies liegt an der Funktionsweise des Ventils, denn es wird in einen Leerraum hineingedreht, sodass sich dort der Druck erhöht. Außerdem verschließt es die Turbomolekularpumpe teilweise. Durch die Überlagerung dieser beiden Effekte konnte man versuchen relativ konstante Drücke zu erreichen, bei denen man messen konnte, obwohl sich die leichten Lecks bei diesen niedrigen Drücken stark bemerkbar machen.

Bei den ersten Messwerten nahe dem Atmosphärendruck sah man blaue Linien zwischen den Kugeln, ähnlich Blitzen. Doch schon bei Drücken um 100 mbar sah man einen anderen Effekt. Es war kein exakter Strahl mehr zu sehen, sondern man sah ein diffuses lila Glimmen. Bei weiter sinkenden Drücken war auch dieses Glimmen kaum noch zu erkennen.

Abbildung 4 zeigt die von uns aufgenommenen Messwerte. Wir haben sie logarithmisch aufgetragen, damit man die Werte bei kleinen Drücken noch voneinander unterscheiden kann.

Es ist das erwartete Minimum zu sehen. Durch die logarithmische Auftragung wirkt es sehr breit.

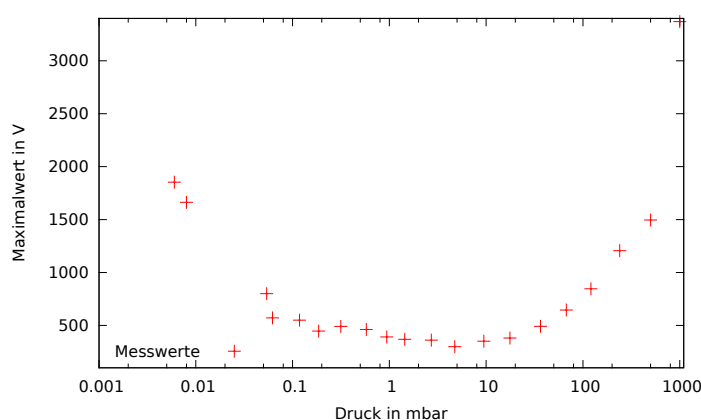


Abbildung 5: Durchschlagfestigkeit

In der Vorbereitung haben wir vermutet, dass das Minimum mit dem Wechsel der Entladungsarten zusammenfällt. Dies ist jedoch nicht der Fall. Die Glimmentladung trat schon bei recht hohen Drücken ein.

Der Grund für das Minimum liegt darin, dass an diesem Punkt die mittlere freie Weglänge in die Größenordnung des Abstandes der Kugeln kommt. Bei noch geringeren Drücken sinkt die Zahl der Teilchen soweit, dass die Spannung wieder ansteigt.

Der Abstand der Kugeln beträgt etwa 1 mm. Eine solche mittlere freie Weglänge hat man ungefähr im Bereich vom Feinvakuum zum Grobvakuum. Dies passt etwa dazu, dass wir das Minimum im Bereich von 10^{-1} bis 10^1 mbar sehen.

7 Randschärfe aufgedampfter Flecken

Den Heizstrom konnten wir nicht ablesen, da wir für die nötige Hitze die Stromquelle über dem Maximalausschlag verwenden mussten.

Außerdem reichte das Indium nicht aus, um alle drei Flecken aufzudampfen. Den Fleck bei 10^{-2} mbar konnten wir nicht mehr herstellen. Das Indium war teilweise auf der Seite herausgekommen.

Man konnte sehen, dass bei 10^{-5} mbar der Fleck sehr scharfe Ränder hatte. Bei 10^{-3} mbar waren die Ränder deutlich verschwommener. Dies entspricht unseren in der Vorbereitung formulierten Erwartungen.