Vakuum

Anfängerpraktikum für B.Sc. Physik

Teil II

Ajello Patrick
Matr. 03731453
Luis Walther
Matr. 03728424

21.01.2021

Contents

1 Abstract

2 Grundlagen

In diesem Versuch werden wir verschiedene Vakuums Techniken benutzen um die Eigenschaften von Idealen Gasen zu untersuchen.Wichtig ist dabei dass Luft sich, bei den gegebenen Drücken wie ein ideales Gas verhält. Das konzept von Vakuum muss auch klar sein: ein echtes Vakuum wäre ein komplett leerer Raum, was nicht realisierbar ist, aber annährbar.

2.1 Eigenschaften eines idealen Gaases

Ideale Gase folgen der sogenannten *idealen Gasgleichung*:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T = N \cdot k_B \cdot T \tag{1}$$

mit p[Pa] der Druck, V[m^3] dem Volumen, n[mol] der Anzahl an Mol, R $\approx 8,312 {}^{J}/_{molK}$ der Universellen Gaskonstante, T[K] der Temperatur, N der Teilchenzahl und $k_B \approx 1,381 \cdot 10^{-23} {}^{J}/_{K}$ der Boltzmann-Konstante. Eine mol eines Stoffes enthält eine Anzahl an teilchen gleich der Avogadro-Konstante N_A. Es gilt der Zusammenhang $R = N_A \cdot k_B$

2.1.1 Grundgleichung der Kinetischen Gastheorie

Auf Molekularer Ebene fliegen alle Teilche in einem Gas mit verschiedenen geschwindigkeit umher. Zur vereinfachung wird der mittlere Wert $\bar{v} = \sqrt{\bar{v^2}}$ benutzt. Man kann zeigen dass auf die Wände der folgende Druck wirkt

$$p = \frac{1}{3}\rho \cdot m \cdot \bar{v^2} \tag{2}$$

Zusammen mit Gleichung 1 ergibt sich

$$E_{kin} = \frac{1}{2}m \cdot \bar{v^2} = \frac{3}{2}k_B \cdot T \tag{3}$$

Im Mittel gilt also eine Proportionalitäts zwischen Kinetischer Energie und Temperatur eines Moleküls.

2.1.2 Mittlere freie Weglänge

Gasmoleküle kollidieren nicht nur mit den Wänden ihres behälters, sonder auch mit anderen Teilchen. Mit *Mittlerer freier Weglänge(λ)* bezeichnet man die Strecke die die Teilchen im Mittel zurücklegen bevor sie Kollidieren.

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{32}\rho F} \tag{4}$$

mit F den Querschnitt eines Moleküls und ρ die Teilchendichte.

2.1.3 Wärmeleitung

Der Wärmestrom zwischen zwei Platten ist proportional zum Temperaturunterschied ΔT und zur Wärmeleitungskonstante κ des Gases

$$P \propto \kappa \cdot \Delta T \tag{5}$$

Aus der kinetischen Gastheorie folgt dann für nicht zu kleine Drücke

$$\kappa = \frac{1}{2}\lambda \cdot \rho \cdot k_B \cdot \bar{v} \tag{6}$$

Mir λ aus Gleichung 4 folgt dann $\lambda \propto {}^1/_\rho$, d.h κ ist unabhängig von der Gasdichte. Bei kleinen Drücken wird λ aber gleich oder größer als der Abstand zwischen den Platten und damit folgt dass $\kappa \propto \rho$. Diese Eigenschaft nutzen wir in diesem Experiment beim Piranimanometer aus.

2.1.4 Viskosität eines idealen Gases

Für die Viskosität eines idealen Gases gilt

$$\nu = \frac{1}{3}\lambda \cdot \rho \cdot m \cdot \bar{v} \tag{7}$$

Bei Drücken von über 1 hPa wird auch die Viskosität ν unabhängig von der Dichte. Dann gilt auch $\nu \propto \rho$

2.1.5 Druckmessung

Die direkte Methode Druck zu messen ist die Kraft zu messen die auf eine Fläche ausgeübt wird. Dafür kann man zum Beispiel ein Quecksilbermanometer oder ein Membran-Manometer benutzen. Andere Arten von Manometer sind Wärmeleitungsmanometer wie das Piranimanometer in diesem Experiment, Kaltkathodenmanometer und Ionisationsmanometer. All diese Instrumente müssen vor der benutzung vor kalibriert werden.

2.2 Vakuumstechnische Begriffe

Eine Vakuumapparatur besteht aus einem Rezipienten der zu evakuieren ist und einer Pumpe. In diesem Versuch wird eine Drehschieberpumpe benutzt die aus 2 Rotoren besteht die durch Schieber und dass sich drehen die abgesaugte Luft raus schieben. Es wird üblicherweise ein Endvakuum von 10^{-3}hPa und niedriger erreicht. Dieses Vakuum wird als *Feinvakuum* klassifiziert. Am Anfang des Saugvorgangs befinden wir uns noch im *Grobvakuum* (1-1000hPa). Höhere Arten von Vakuum werden nicht erreicht.

Die *Saugleistung* einer Pumpe $Q_p = \frac{p \cdot V}{dt}$ ist bei der Drehschiebepumpe über einen Bereich proportional zum Druck.

$$Q_p = S \cdot p \tag{8}$$

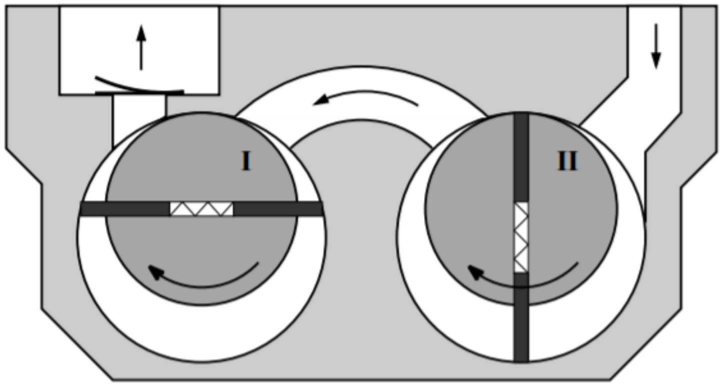


Figure 1: Drehschiebepumpe im Schnitt

S ist das Saugvermögen. Es gilt also

$$\frac{d(p \cdot V)}{dt} = S \cdot p \tag{9}$$

Das Saugvermögen kann aber praktisch nie ganz ausgenutzt werden weil es begrenzt wird von den kleinen leitwerten von Rohren, Engstelle, usw. Für das effektive Saugvermögen gilt

$$\frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{S} + \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + ... \tag{10}$$

mit $L_{1,2,...}$ die Leitwerte der hintereinander geschalteten Komponenten. Seien S_{eff} und V überall konstant dann bekommt man durch Integration der Gleichung 9.

$$p(t) = p_0 \cdot exp(-\frac{S_{eff}}{V} \cdot t) \tag{11}$$

S_{eff} ist normalerweise auf großen Bereichen nicht konstant aber man kann Gleichung trotzdem auf kleine bereiche anwenden wo S_{eff} annähernd konstant ist.

2.3 Gasströmung und Leitwerte

Bei hohen Drucken kann man Gas als zähes Medium sehen und das Hagen-Poiseuillsche Gesetz anwenden. Wenn man statt dem Volumenstrom durch das Rohr den Gasmengenstrom betrachtet erhält man die Formel

$$Q = p(x) \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot \eta} \cdot \frac{dp}{dx} \tag{12}$$

mit d Rohrdurchmesser. Da die strömende Menge des Gases im ganzen Rohr konstant sein muss ist Q unabhängig von x. Daraus folgt $p(x) \cdot \frac{dp}{dx}$ muss konstant sein. Mann kann schreiben

$$Q = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot \eta \cdot l} \cdot \bar{p} \cdot \Delta p = L \cdot \Delta p \tag{13}$$

mit L dem Leitwert des Rohrs

$$L = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot \eta \cdot l} \cdot \bar{p} \tag{14}$$

Bei niedringen Drücken wird die Gleichung 14 ungültig und wenn man λ mit dem Rohrdurchmesser ersetzt erhält man

$$L = \sqrt{\frac{\pi \cdot k_B \cdot T}{18 \cdot m}} \cdot \frac{d^3}{l} \tag{15}$$

In unseren Laborbedingungen bei $20C$ gilt dann

$$L = 121\frac{m}{s} \cdot \frac{d^3}{l} \tag{16}$$

Im dritten Teil unseres Experimentes haben wir einen Aufbau mit einer Reihenschaltung von Rohren, dort gilt

$$\frac{1}{L_{gesamt}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + ... \tag{17}$$

2.4 Pirani-Manometer

In der Messröhre befindet sich ein dünner Draht (in unserem Versuch Wolframdraht mit $10\mu m$ durchmesser). Seine Temperatur und damit sein Widerstand wird konstant gehalten. Die Leistung die dafür gebraucht wird ist dann proportional zur Wärmeleitfähigkeit des Gases. gemessen wird der Strom I.

3 Experimentelles Vorgehen

3.1 Kalibrierung des Pirani-Manometers

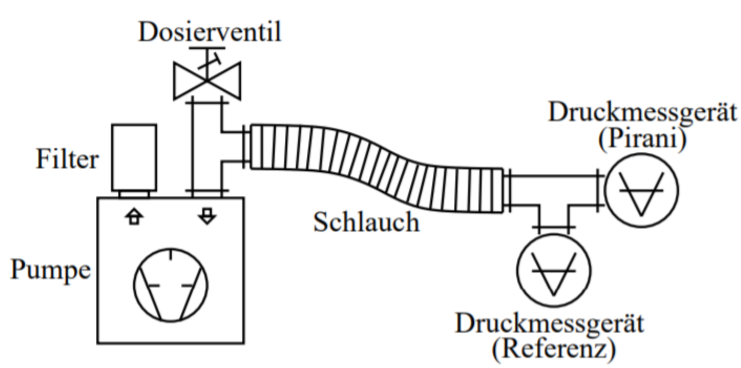


Figure 2: Aufbau zur kalibrierung des Pirani-Manometers

Nach dem Aufbau des Versuchs wie im folgenden Bild, den wert des Stroms bei mindestens 20 verschiedenen Drücken messen. Die Pumpe einschalten bis man auf einen konstanten druck kommt. Bei kleinen Drücken wird dies nur erreicht wenn man die Pumpe anlässt. Bei höheren Drücken die Pumpe zwischen Messungen ausmachen. Durch das Dosierventil kann Luft rausgelassen werden.

3.2 Saugvermögen der Pumpe

Man schließt die Pumpe wie in der folgenden Figur an einen Kolben an und misst die Zeit die gebraucht wird um 80ml Volumen auszusaugen. Der Dreiwegehahn ermöglicht es uns Messungen zu haben die nicht von dem Einschaltungsprozess der Pumpe und der Luft die im Schlauch zwischen pumpe und Kolben ist, verfälscht sind. Der Hahn wird erstmal zu gehalten, dies ermöglicht der Pumpe einen konstanten druck im Hahn zu kreieren, der dann, wenn man den dreiwegehahn dreht an dem Kolben zieht.

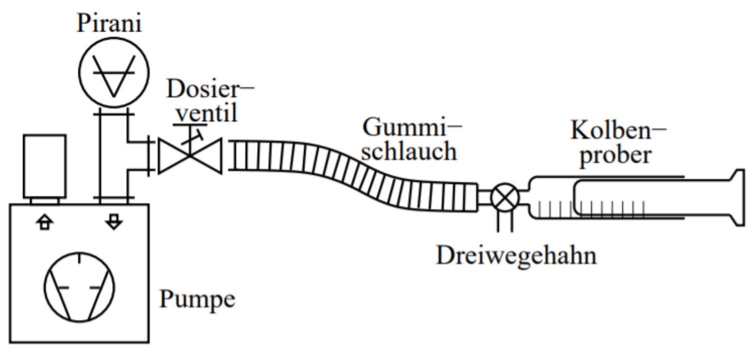


Figure 3: Aufbau zur messung des Sehvermögens der Pumpe

3.3 Effektives Saugvermögen der Pumpe

Ein Mssing- Rezipient wird wie in der Figur mit 3 verschiedenen Verbindungsrohren ausgepumpt. Das Volumen vom Messing Behälter beträgt V= $(3,0 \pm 0,1)dm^3$. Die verbidungen sind:

- Schlauch mit 22mm durchmesser über 2 Minuten.
- Schlauch mit Kapillare mit $(2,0 \pm 0,1)mm$ Durchmesser und $(9,5 \pm 0,2)cm$ Länge über 8 Minuten.
- Schlauch mit Kapillare mit $(3,0 \pm 0,1)mm$ Durchmesser und $(9,5 \pm 0,2)cm$ Länge über 6 Minuten.

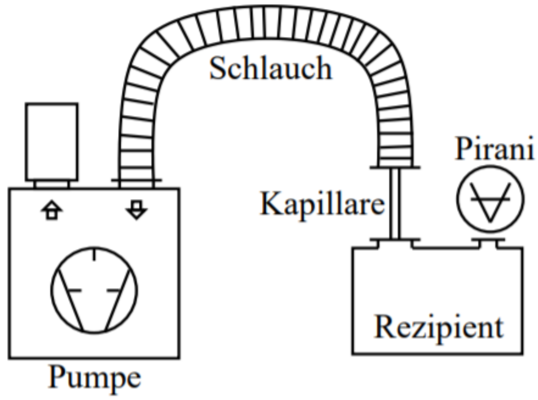
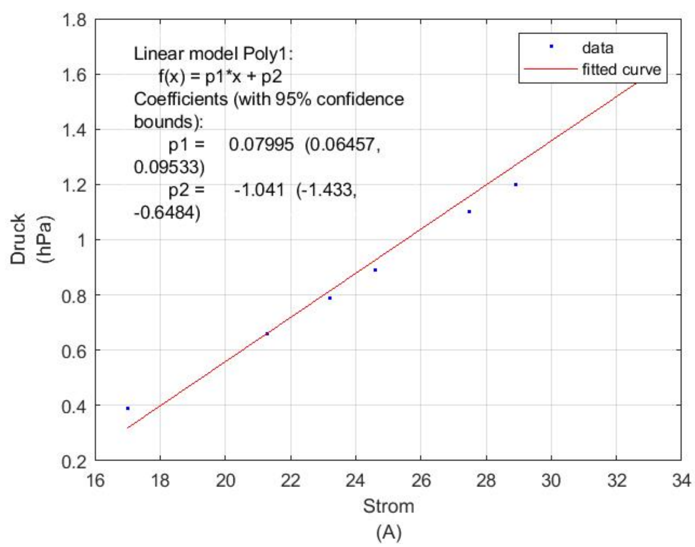


Figure 4: Aufbau zur messung effektiven Sehvermögens der Pumpe

4 Diskussion

4.1 Kalibrierkurve

Die Kalibrierkurve kann in verschieden Bereiche geteilt werden, von besonderem Interesse ist der Bereich zwischen 20 und 55 Ampere, da wir dort unsere Messungen für das Saugvermögen durchgefürt haben. Einen ersten Bereich ist der zwischen 17 und 34 A, dort sieht man ein lineare Abhangigheit zwischen Druck und Strom.



Wir haben eigentlich noch Messungen die unter diesem Bereich liegen aber wegen der geringen Anzahl (n=2), der nichtlinearität des Anstieg und da sie nicht für die Kalibrierung relevant sind, da unsere Messungen weit entfernt sind, wird dieser Bereich bis auf weiteres ignoriert.

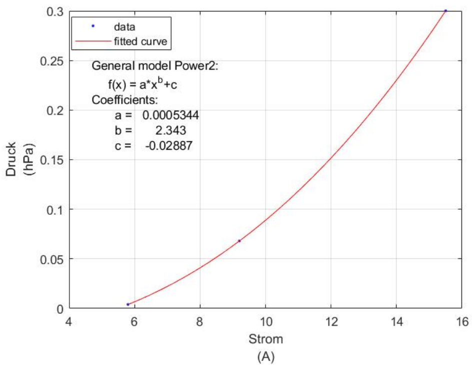


Figure 5: Kalibrierungskurve I<17A. Keine wirkliche statistische relevanz wegen n=3, aber ist für Aufgabe 3 notwendig

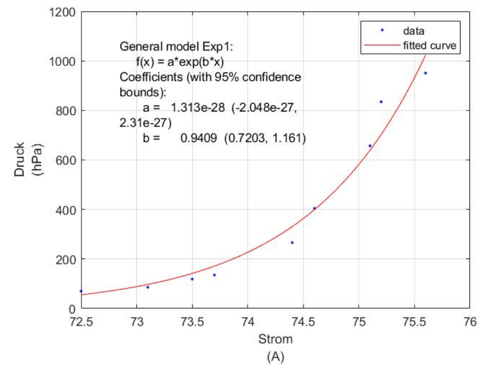
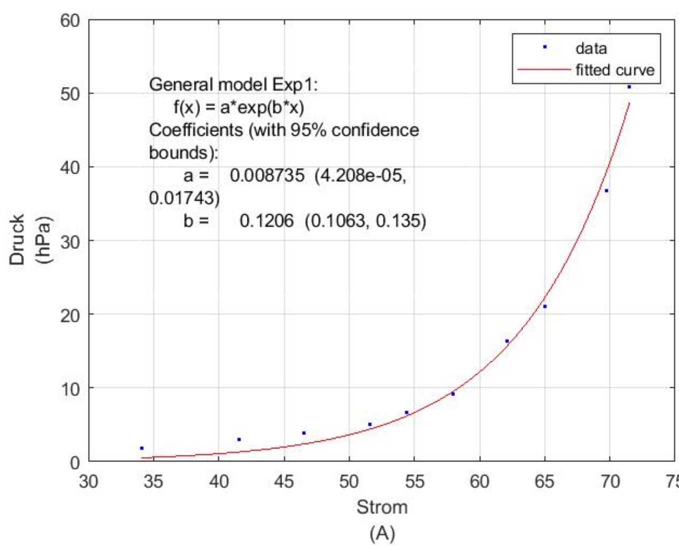


Figure 6: Kalibrierungskurve I>74A

Ein zweiter Bereich der von interesse ist, ist der zwischen 34 und 72 Ampere, dort ist der Wachstum exponentiell.



In dem bereich danach wächst der Druck sehr stark an, fast so als waeren wir nahe an einer Singularitaet.

Man kennt den zusammenhang zwischen Leistung P und Stromstärke $P = RI^2$ mit den gegeben widerstands $\Omega 44$. Um den Strom auszurechnen stellen wir die zwei Gleichungen die wir durch den Fit gewonnen haben nach I um. Wir erhalten dann

$$\begin{cases} I(p) = \frac{p+1.041}{0.07995} & 17 \leq I \leq 34 \\ I(p) = \frac{1}{0.1206} \ln \frac{p}{0.008735} & 34 \leq I \leq 72 \end{cases} \tag{18}$$

Die bereiche haben natürlich keine scharfen grenzen wie es hier in den Formeln aussieht. Dass ist aber für dieses experiment von weniger Bedeutung. Es ist uns jetzt möglich durch die Fehler von dem Druck die Fehler der Leistung zu berechnen. Es sind vom Hersteller 2 Unsicherheiten angegeben. Für das Grobvakuum ist der Gesamtfehler $\Delta p_g = 0.08 \cdot p$. Für das Feinvakuum 20%p+2Digits und eine Auflösung von A=0.001hPa.

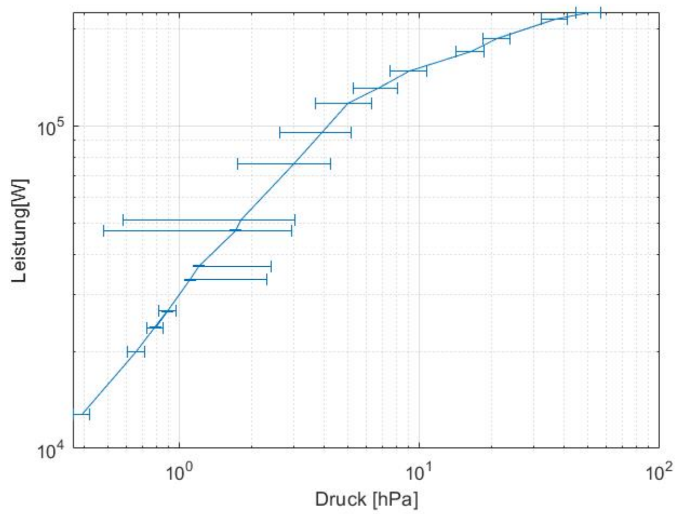


Figure 7: Leistung als Funktion vom Druck. Doppellogaritmische Skala

Im unteren Bereich, bis zum Druck von 1 hPa sieht man aus dem Graphen sofort dass es linear ist. Im Bereich 1-10 hPa findet man immer noch ein wenig von diesem Verhalten, auch wenn weniger markant, danach ist die linearität nicht mehr vorhanden. De Vermutung ist dass das Verhalte sich zwischen Grob und Feinvakuum verandert und die zone zwischen 1-10 hPa eine Transitionszone ist mit gemischtem verhalten. Die Fehler der Leistung sind extrem klein. Das ist so weil für größeren Werte von dem Druck als Fit eine exponentialkurve benutzt würde, nach dem strom umgestellt gibt dass eine logarithmische kurve die nach p abgeleitet auf einen $^1/_p$ Term im F ehler führt. Daraus folgt dass der Fehler invers proportional zu p ist. Es kann sein dass gaußsche Fehlerfortpflanzung in diesem Falle nicht die beste Lösung ist da dass auf so extrem kleine Fehler führt.

4.2 Saugvermögen der Pumpe

Das Saugvermoegen der Pumpe wurde durch die Formel 9 berechnet. $^{\partial V}/_{\partial t}$ wird hier zu $^{\Delta V}/_{\Delta t}$ diskretisiert. Wir erhalten so de folgende Formel

$$S = \frac{V \cdot p_0}{t \cdot p} \tag{19}$$

mit $p_0 = 960 mbar$ dem Normaldruck in Garching. In

Table 1: Ergbnisse bei konstantem Strom

p[hPa]	$\Delta t[s]$	**S** $[m^3/h]$
0,6699$\pm 0,1040$	247,7333$\pm 1,0000$	1,2470$\pm 0,5436$
1,2536$\pm 1,2117$	112,1133$\pm 0,5000$	1,6919$\pm 0,4639$
1,3671$\pm 1,2103$	49,8200$\pm 0,2500$	6,5447$\pm 1,4884$
4,6779$\pm 1,3160$	35,5967$\pm 0,2500$	4,6175$\pm 0,3582$

In der folgenden tabelle sehen wir den zusammenhang zwischen vier verschiedenen Drücken und dem Saugvermögen. Gemittelt erhalten wir als Saugvermögen $(3,5253 \pm 0,7135)^{m^3}/_h$, was im Mittel recht gut mit der Herstellerangabe von $3,7^{m^3}/_h$ übereinstimmt. Man muss aber feststellen dass alle einzelnen errechneten Werte von S recht weit entfernt davon sind und mit nur 4 Messunge es schwer is zu behaupten dass sich statische Fehler untereinander aufgehoben haben. Diese ungenauigkeit kann an der großen unsicherheit der Pirani-manometers bei geringen Drücken liegen.

4.3 Effektives Saugvermögen der Pumpe

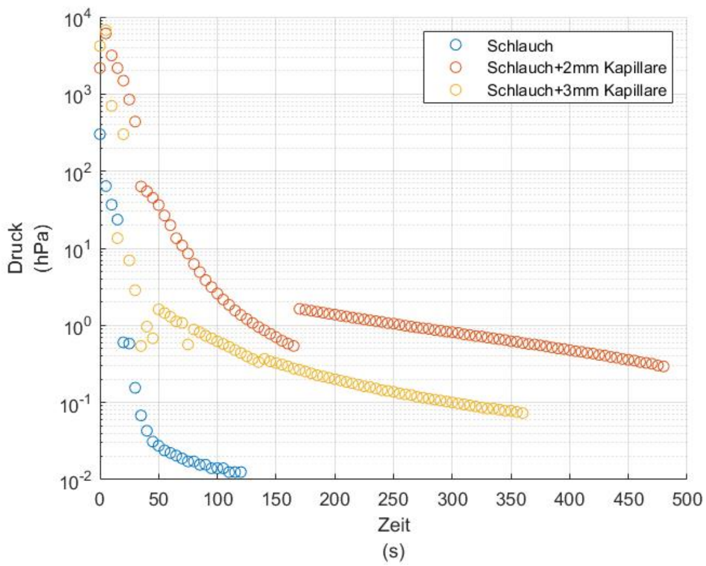


Figure 8: Druck als Funktion der Zeit für die drei verschiedenen Verbindungen. Halblogaritmische Skala

Besonders markant sind die Stellen im Graphen wo der Druck springt. Dies ist kein physikalisches Phenomen, sonder liegt daran dass an diesen punkte die funktion die zum fitten benutzt wurde sich ändert und dort nicht zuverlässig ist. Man sieht auch sofort die hohen Anfangs Drücke; bei allen Messungen ist der Druck kurz nach oben geschossen, bevor er angefangen hat schnell zu fallen. Dies liegt wahrscheinlich am Instrument da es keinen Grund gibt warum im gefäß der Druck höher sein sollte als außen, wenn wie keine Luft reingepumpt haben. Das effektive Saugvermögen lässt sich durch Gleichung 11 bestimmen.

$$S_{eff} = -\ln\left(\frac{p(t)}{p_0}\right) \cdot \left(\frac{V}{t}\right) \tag{20}$$

Der theoretische Wert wird bestimmt durch die Gleichung 17. Mit $S = 3,7\frac{m^3}{h}$, und L durch Gleichung 14 für viskose Strömung und 16 für molekulare Strömung. η_{luft} sei gegeben als $1,82 \cdot 10^{-5} kg/ms$ und $\bar{p}$ sei gegeben als 5hPa. Die logaritmische Steigung ist gegeben durch

$$m_{eff} = \frac{ln(p) - ln(p_0)}{t} \tag{21}$$

Table 2: Logaritmische Steigung

Strömung	**Schlauch**	**Kapillare 3mm**	**Kapillare 2mm**
Viskos	-0,54175	-0,72713	-0,90309
Molekular	-0,85256	-1,44283	-1,09469

Table 3: Theoretische Leeitwerte m^3/h

Strömung	**Schlauch**	**Kapillare 3mm**	**Kapillare 2mm**
Viskos	$(1,50 \pm 0.02) \cdot 10^3$	$(2,1 \pm 0,3)$	$(0,41 \pm 0.01)$
Molekular	$(10,8 \pm 1,1)$	$(0,13 \pm 1,01)$	$(37 \pm 5) \cdot 10^{-3}$

Für die theoretischen Leitwerte wurden Formeln 16 und 14 benutzt.

Table 4: Theoretisches effektive Saugvermögen m^3/h

Strömung	**Schlauch**	**Kapillare 3mm**	**Kapillare 2mm**
Viskos	$(3,69 \pm 0,01)$	$(1,3 \pm 0,2)$	$(0,37 \pm 0,06)$
Molekular	$(2,7 \pm 0,1)$	$(0,12 \pm 0,01)$	$(0,035 \pm 0,005)$

Table 5: Experimentelles effektive Saugvermögen m^3/h

Strömung	**Schlauch**	**Kapillare 3mm**
Viskos	$(4,0133 \pm 0,0701)$	$(0,7992 \pm 0,0259)$
Molekular	$(1,9401 \pm 0,0014)$	$(3,4360 \pm 0,0014)$

Drei von Vier Werten liegen in der Selben größenordnung, auch wenn sie im Fehler nicht übereinstimmen, weil die Fehler extrem klein sind gegen unsere Daten. Nur der Wert für Molekulare strömung bei der 3mm Kapillaren ist sehr anders als der theoretisch errechnete. Eine sehr große Fehlerquelle die aber nicht direkt im Fehler quantifiziert wurde ist die Ungenauigkeit des Fits über große Bereiche, besonders markant in der Figur 4.3, wo die "Funktion" sogar unstetig ist, für dass es in diesem experiment keinen physikalischen Grund gibt.

4.4 Fragen

4.4.1 Frage 1

Viskose Strömung entsteht bei Grobvakuum, wo es noch, im vergleich mit Fein und Hochvakuum, viele Moleküle gibt. Dies bedeutet dass die mittlere freie Weglänge sehr kurz ist und es viele Kollisionen zwischen Molekülen gibt. Für Molekulare Strömung ist ein stärkeres Vakuum nötig. Da die Teilchendichte dort geringer ist gibt es auch weniger Kollisionen und die mittlere freier Weglänge ist größer.

4.4.2 Frage 2

Durch Vergleich mit Abbildung 4.3 und der Annahme dass sich das benehmen des Drucks bei einem Kapillar von d=1mm nicht von den anderen verändert, kann man vermuten dass der Druck nach 10 Minuten etwas über 1 hPa sein wird.

4.4.3 Frage 3

Mit der Gleichung 1 kann man den Druck bei 1 Molekül pro m^3

$$p = \frac{N}{V} \cdot k_b \cdot T \approx 4,04 \cdot 10^{-21} Pa \tag{22}$$

angenommen Tempeatur=20°C

5 Anhang

5.1 Fehlerechnung

5.1.1 kalibrierkurve

Für die Leistung des Manometers haben wir die Fehler wie folgt berechnet:

$$\Delta P = \sqrt{(\Delta R)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial I}\right)^2 \cdot (\Delta I)^2} \tag{23}$$

mit $\Delta I = \left(\frac{\partial I}{\partial p}\right) \cdot \Delta p$ unterteilt wie folgt

$$\begin{cases} \left(\frac{\partial I}{\partial p}\right) = \frac{1}{0.0795} & 0.39 \leq p \leq 0.79 \\ \left(\frac{\partial I}{\partial p}\right) = \frac{1}{0.0795} & 1.1 \leq p \leq 1.7 \\ \left(\frac{\partial I}{\partial p}\right) = \frac{1}{0.1206 \cdot p} & 1.7 \leq p \leq 72 \end{cases} \begin{cases} \Delta p_{Grob} = 0.08 \cdot p & 0.39 \leq p \leq 0.79 \\ \Delta p_{Fein} = \sqrt{\left(\frac{\frac{20}{100} \cdot p}{\sqrt{3}}\right)^2 + (2Digits + 1)^2 + \left(\frac{0.001}{\sqrt{3}}\right)^2} & 1.1 \leq p \leq 1.7 \\ \Delta p_{Fein} = \sqrt{\left(\frac{\frac{20}{100} \cdot p}{\sqrt{3}}\right)^2 + (2Digits + 1)^2 + \left(\frac{0.001}{\sqrt{3}}\right)^2} & 1.7 \leq p \leq 72 \end{cases}$$

5.1.2 Saugvermögen der Pumpe

$$S = \frac{dV}{dt} \cdot \frac{p_0}{p} \tag{24}$$

$$\Delta S = \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial V} \cdot \Delta V\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial t} \cdot \Delta t\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial p} \cdot \Delta p\right)^2} \tag{25}$$

$$\Delta p = \sqrt{(\Delta p_{Grob/fein*})^2 + \left(\frac{\partial p}{\partial I} \cdot \Delta I\right)^2} \tag{26}$$

mit Δp_{grob} und Δp_{fein} aus der vorherigen Aufgabe.

5.1.3 Effektives Saugvermögen der Pumpe

Im viskosen Bereich gilt Gleichung 14, im molekularem 16.. Der Fehler bleibt:

$$\Delta L = \sqrt{\left(\frac{\partial L}{\partial d} \cdot \Delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial l} \cdot \Delta l\right)^2} \tag{27}$$

Für die Berechnung des Fehlers des effektiven Saugvermögen würde Gaußsche Fehlerfortpflanzung benutzt, für die Variablen V, mit gegebenem Fehler, und p, mit Fehler errechnet so wie in den vorherigen aufgaben mit verschiedenen Formeln für viskose und molekulare Strömung

5.2 Literaturverzeichnis

- https://www.ph.tum.de/academics/org/labs/ap/ap2/VAK.pdf
- Praktikumsseite auf Moodle
- Demtröder Experimentalphysik 2, ISBN 978-3-642-29944-5
- https://www.ph.tum.de/academics/org/labs/ap/org/ABW.pdf

5.3 Bilderverzeichnis

- https://www.ph.tum.de/academics/org/labs/ap/ap2/VAK.pdf

5.4 Daten

Aufgabe1	
druck in mBar (=	strom mA
0,004	5,8
0,068	9,2
0,3	15,5
0,39	17
0,66	21,3
0,89	24,6
0,79	23,2
1,1	27,5
1,2	28,9
1,7	32,8
1,8	34,1
3	41,6
3,9	46,5
5	51,6
6,7	54,4
9,1	58
16,4	62,1
21,1	65
36,7	69,7
50,8	71,5
70,1	72,5
86	73,1
118,9	73,5
135,3	73,7
266,1	74,4
404,3	74,6
657,2	75,1
834,8	75,2
950,8	75,6

Strom	deltaStrom	DeltaV(ml)	Zeit1(s)	Zeit2(s)	Zeit3(s)
21,4	0,1	20	82,74	83,06	80,02
28,7	0,3	40	65,18	62,99	63,38
41,9	0,5	80	30,9	38,56	31,83
52,1	0,5	80	12,8	13,99	12,72

t in sec	Strom in mA	Druck	t in sec	Strom in mA	Druck	t in sec	Strom in mA	Druck
0	74,3	301,509641	0	76,4	2174,80001	0	77,1	4202,02567
5	73,8	64,062724	5	77,5	6122,23186	5	77,6	6726,24281
10	69,2	36,785460	10	76,8	3168,62174	10	75,2	703,17936
15	65,5	23,544274	15	76,4	2174,80001	15	71	13,51543
20	35,1	0,602085	20	76	1492,68530	20	74,3	301,50964
25	20,3	0,581985	25	75,4	848,77318	25	55,4	6,96448
30	12,1	0,155136	30	74,7	439,29097	30	48	2,85303
35	9,2	0,067963	35	73,7	63,29477	35	34,2	0,54016
40	8,1	0,042983	40	72,5	54,76672	40	39	0,96366
45	7,5	0,031128	45	70,9	45,15598	45	36,1	0,67926
50	7,3	0,027446	50	69,1	36,34449	50	33,2	1,61334
55	7,1	0,023897	55	66,5	26,56203	55	31,1	1,44545
60	7	0,022172	60	64,1	19,88653	60	29,2	1,29354
65	6,9	0,020480	65	60,9	13,51936	65	27,1	1,12565
70	6,8	0,018821	70	59,1	10,88127	70	26,5	1,07768
75	6,7	0,017194	75	57,1	8,54924	75	20,1	0,56600
80	6,7	0,017194	80	54,5	6,24813	80	24,1	0,88580
85	6,6	0,015599	85	52,5	4,90906	85	23,2	0,81384
90	6,6	0,015599	90	50,5	3,85697	90	22,2	0,73389
95	6,5	0,014036	95	48,8	3,14201	95	21,5	0,67793
100	6,5	0,014036	100	47,2	2,59063	100	20,8	0,62196
105	6,5	0,014036	105	45,7	2,16193	105	20,2	0,57399
110	6,4	0,012506	110	44,4	1,84822	110	19,6	0,52602
115	6,4	0,012506	115	43	1,56109	115	19	0,47805
120	6,4	0,012506	120	41,9	1,36714	120	18,5	0,43808
			125	40,9	1,21182	125	18	0,39810
			130	39,9	1,07414	130	17,6	0,36612
			135	38,9	0,95211	135	17,2	0,33414
			140	38,1	0,86454	140	16,8	0,36811
			145	37,2	0,77562	145	16,3	0,34098
			150	36,4	0,70428	150	16	0,32522

			155	35,5	0,63184	155	15,7	0,30986
			160	34,8	0,58069	160	15,4	0,29489
			165	34,2	0,54016	165	15	0,27553
			170	33,5	1,63733	170	14,8	0,26611
			175	32,9	1,58936	175	14,5	0,25229
			180	32,4	1,54938	180	14,2	0,23885
			185	31,8	1,50141	185	13,9	0,22578
			190	31,3	1,46144	190	13,7	0,21728
			195	30,7	1,41347	195	13,5	0,20894
			200	30,3	1,38149	200	13,3	0,20077
			205	29,7	1,33352	205	13,1	0,19276
			210	29,3	1,30154	210	12,9	0,18492
			215	28,8	1,26156	215	12,7	0,17723
			220	28,4	1,22958	220	12,5	0,16971
			225	28	1,19760	225	12,3	0,16234
			230	27,6	1,16562	230	12,2	0,15872
			235	27,2	1,13364	235	12	0,15159
			240	26,9	1,10966	240	11,8	0,14462
			245	26,4	1,06968	245	11,7	0,14120
			250	26,2	1,05369	250	11,6	0,13781
			255	25,8	1,02171	255	11,4	0,13116
			260	25,4	0,98973	260	11,3	0,12789
			265	25,1	0,96575	265	11,2	0,12466
			270	24,8	0,94176	270	11	0,11831
			275	24,5	0,91778	275	10,9	0,11519
			280	24,3	0,90179	280	10,8	0,11212
			285	23,9	0,86981	285	10,7	0,10908
			290	23,7	0,85382	290	10,6	0,10608
			295	23,4	0,82983	295	10,5	0,10311
			300	23,2	0,81384	300	10,4	0,10019
			305	23	0,79785	305	10,3	0,09730
			310	22,6	0,76587	310	10,2	0,09445

			315	22,4	0,74988	315	10,1	0,09163
			320	22,1	0,72590	320	10	0,08885
			325	22	0,71790	325	9,9	0,08611
			330	21,7	0,69392	330	9,8	0,08341
			335	21,5	0,67793	335	9,8	0,08341
			340	21,3	0,66194	340	9,7	0,08075
			345	21,1	0,64595	345	9,6	0,07812
			350	20,8	0,62196	350	9,6	0,07812
			355	20,7	0,61397	355	9,5	0,07552
			360	20,4	0,58998	360	9,4	0,07297
			365	20,2	0,57399			
			370	20,1	0,56600			
			375	19,9	0,55001			
			380	19,7	0,53402			
			385	19,5	0,51803			
			390	19,3	0,50204			
			395	19,2	0,49404			
			400	19	0,47805			
			405	18,8	0,46206			
			410	18,7	0,45407			
			415	18,5	0,43808			
			420	18,4	0,43008			
			425	18,2	0,41409			
			430	18,1	0,40610			
			435	17,9	0,39011			
			440	17,8	0,38211			
			445	17,6	0,36612			
			450	17,5	0,35813			
			455	17,4	0,35013			
			460	17,2	0,33414			
			465	17,1	0,32615			
			470	17	0,31815			

475	16,8	0,30216
480	16,7	0,29417