

Versuch 3: Vakuum

Team 2-13: Jascha Fricker, Benedict Brouwer

31. August 2022

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Theorie	2
3	Ergebnisse und Diskussion	3
3.1	Kalibrierung des Piranimeters	3
3.2	Leistung des Piranimeters	3
3.3	Saugvermögen	4
3.4	effektives Saugvermögen	5
3.4.1	Theoretische Leitwerte	5
3.5	Fragen	6

1 Einleitung

In diesem Versuch wurden die verschiedenen Eigenschaften einer Vakuumpumpe mittels eines Piranimeters untersucht. Außerdem wurde das Piranimeter mithilfe einer Messreihe kalibriert, um genaue Werte messen zu können.

2 Theorie

Piranimeter Die Wärmeleitfähigkeit eines Gases ist bei kleinen Drücken abhängig vom dessen Druck. Damit einhergehend ist die benötigte Leistung um einen sich im Messaufbau befindlichen Wolframdraht auf Temperatur zu halten Druckabhängig. Diese Abhängigkeit kann genutzt werden indem Widerstand und Stromstärke gemessen werden um Rückschlüsse auf den Druck zu ziehen.

Saugvermögen Bei konstantem Druck kann das Saugvermögen S durch die (negative) Volumenänderung ΔV_L

$$\underbrace{\frac{d(p_L V_L)}{dt}}_{konst} = Q_S = Q_V = p_V \cdot S \quad (1)$$

$$\Rightarrow S = \left| \frac{p_L \cdot \Delta V_L}{p_V \cdot \Delta t} \right| \quad (2)$$

bestimmt werden. Dabei ist Q_s die Saugleistung bei Luftdruck p_L und Q_V die Saugleistung an der Vakuumpumpe mit Druck p_V .

effektives Saugvermögen Durch verschieden Strömungshindernisse kann das das volle Saugvermögen der Pumpe meist nicht ausgereizt werden. Daraus folgt ein kleineres effektiveres Saugvermögen

$$\frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{S} + \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots \quad (3)$$

$$(4)$$

Lokal kann der Druck beim auspumpen auch durch die Formel

$$p(t) = p_0 \cdot \exp\left(-\frac{S_{eff}}{V} \cdot t\right) \quad (5)$$

beschrieben werden, wobei p_0 geeignet gewählt werden muss. Theoretisch kann der Leitwert der Kapillare mit Durchmesser d und Länge l bei viskoser Strömung (mittlere freie Weglänge $\lambda \ll d$) durch die Formel

$$L = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot \eta \cdot l} \cdot \bar{p} \quad (6)$$

und bei molekularer Strömung ($\lambda \gg d$) mit der Formel

$$L = 121 \text{ m s}^{-1} \cdot \frac{d^3}{l} \quad (7)$$

berechnet werden, unter Voraussetzung, dass das Medium Luft auf Raumtemperatur ist.

Für den Leitwert mehrerer hintereinandergeschalteter Strömungshindernisse gilt die Formel

$$\frac{1}{L_{\text{ges}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \quad (8)$$

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Kallibrierung des Piranimeters

Durch die Messwerte des ersten Experiments konnte der Graph mit dem Verhältnis zwischen Druck p und Strom I aufgestellt werden. Durch diesen wurde eine abschnittsweise definierte Kurve gefittet, um in den nächsten Abschnitten durch den gemessenen Strom Rückschlüsse auf den vorherrschenden Druck ziehen zu können.

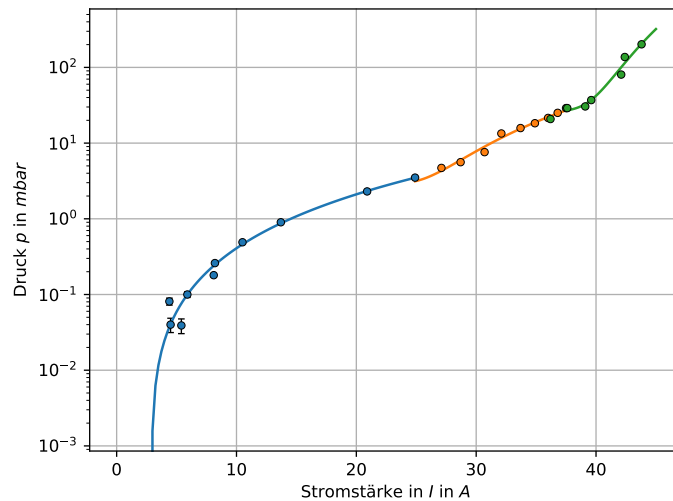


Abbildung 1: Kallibrierung des Piranimeters

3.2 Leistung des Piranimeters

Aus dem Widerstand des Piranimeters und der gemessenen Stromstärke kann mit $P_{\text{pir}} = R \cdot I^2$ die Leistung berechnet werden und mit den Daten

des Membranmanometers geplottet werden. Dabei lässt sich erkennen, dass die Leistung sich im Bereich von 0 bis 4 mbar annähernd proportional zum Druck verhält.

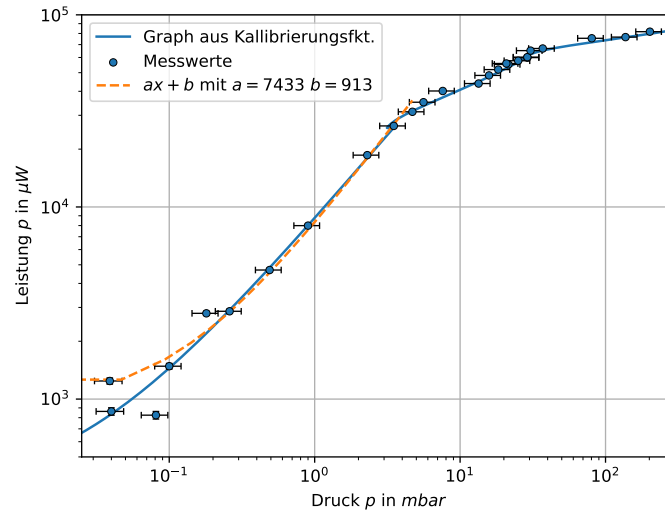


Abbildung 2: Leistung des Piranimeters

3.3 Saugvermögen

Durch auspumpen eines Beweglichen Kolbens und Messung der Kolbengeschwindigkeit konnte mit Formel 2 das Saugvermögen der Pumpe S bei verschiedenen Drücken p bestimmt werden. Die errechneten Werte sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Druck in Pa	Saugleistung in m^3/sec
82.7	2.11(15)
254.9	3.335(65)
154.5	2.960(36)
322.1	4.11(12)

Tabelle 1: Saugvermögen

Die Angabe von $3,5\text{m}^3\text{h}^{-1}$ ist wahrscheinlich die minimale Saugleistung bei Normdruck, so erklären sich die Werte $3,5\text{m}^3\text{h}^{-1}$. Die geringere Saugleistung bei niedrigerem Druck lässt sich vermutlich erklären durch mehr Lecks bei niedrigerem Druck welche einen Verhältnismäßig größeren Einfluss auf die Saugleistung haben und durch eine schlechteren Effizienz der Pumpe je kleiner der Druck.

3.4 effektives Saugvermögen

Durch den Schlauch und die Kapillaren wird das Saugvermögen gemindert. In Graph 3 wird der Druck beim Auspumpvorgang des 3.0(1)l Behälters geplottet. Aus den angelegten Geraden kann anschließend die effektive Saugleistung, die in Tabelle X ausgeführt wird, bestimmt werden. Diese unterscheidet zwischen viskoser Strömung, bei der die mittlere freie Weglänge viel kürzer ist als der Durchmesser des Rohr, also der Effekt einer Kollision mit der Gefäßwand unwesentlich ist, und molekularer Strömung, bei der die Weglänge viel größer als der Durchmesser ist, also Kollisionen mit der Wand wichtig, aber jene zwischen den Molekülen unwesentlich sind.

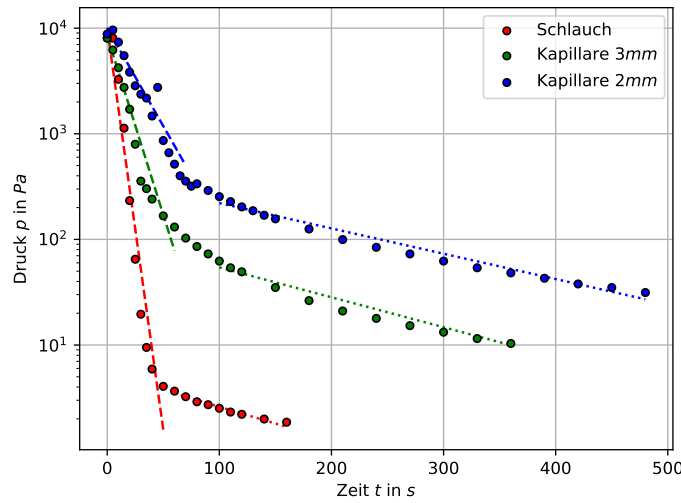


Abbildung 3: effektives Saugvermögen

Name	S_{eff} viskos	S_{eff} molekular
Schlauch	1.890	0.0786
3mm + Schlauch	0.842	0.0704
2mm + Schlauch	0.463	0.0596

Tabelle 2: Gemessene Werte

3.4.1 Theoretische Leitwerte

In der Tabelle 3 werden die theoretisch berechneten Leitwerte und effektive Saugleistungen der verschiedenen Konstellationen aus Schlauch und Kapillare dargestellt. Dabei wurde eine nominale Saugleistung von $S = 3,7 \text{ m h}^{-1}$ angenommen.

Name	L visk	L mol	S vis	S mol
Schlauch	0.470(76)	$3.38(41) \cdot 10^{-3}$	3.4928(12)	2.717(74)
Kapillare 2mm	$1.14(23) \cdot 10^{-4}$	$1.0(20) \cdot 10^{-5}$	0.366(66)	0.0363(55)
Kapillare 3mm	$5.75(78) \cdot 10^{-4}$	$3.4(40) \cdot 10^{-5}$	1.30(12)	0.120(12)
Schlauch + 2mm	$1.14(23) \cdot 10^{-4}$	$1.0(20) \cdot 10^{-5}$	0.366(66)	0.0362(55)
Schlauch + 3mm	$5.74(77) \cdot 10^{-4}$	$3.4(30) \cdot 10^{-5}$	1.30(12)	0.118(12)

Tabelle 3: Theoretische Werte

Die ermessenen Werte ähneln den theoretischen berechneten Leitwerten. Da aber die Messmethode sehr ungenau ist und die Berechnung durch den fit viel Ungenauigkeiten enthält, waren die relativ großen Abweichungen zu erwarten.

3.5 Fragen

Frage 1 Bei viskoser Strömung ist die mittlere freie Weglänge viel kürzer ist als der Durchmesser des Rohr. D.h. der Effekt einer Kollision mit der Gefäßwand ist unwesentlich. Bei molekularer Strömung hingegen ist die mittlere freie Weglänge viel größer als der Durchmesser, also sind Kollisionen mit der Wand wichtig, aber jene zwischen den Molekülen unwesentlich.

Frage 2 Wir nehmen an, dass durch den kleinen Durchmesser so wenig Luft fließt, dass für die ganze Zeit von $t = 600s$ ein viskoser Fluss angenommen werden kann. Es folgt mit Formel 6 und 3:

$$L_{1mm} = \frac{\pi \cdot 1mm^4}{128 \cdot 1,82 \cdot 10^{-5} kg \cdot ms^{-1} \cdot 9,5cm \cdot 957hPa} = 1,358 \cdot 10^{-6} m^3 s^{-1} \quad (9)$$

$$S_{eff} = \frac{1}{\frac{1}{9,72 \cdot 10^{-4} m^3 s^{-1}} + \frac{1}{1,358 \cdot 10^{-6} m^3 s^{-1}}} = 1,357 \cdot 10^{-6} m^3 s^{-1} \quad (10)$$

$$p(600s) = 957hPa \cdot \exp\left(-\frac{1,357 \cdot 10^{-6} m^3 s^{-1}}{3L} \cdot 600s\right) = 730hPa \quad (11)$$

Da bei 730hPa noch viskose Strömung vorliegt, ist unsere Annahme begründet.

Frage 3 Wenn wir annehmen, dass die Formel

$$p \cdot V = N \cdot k_b \cdot T \quad (12)$$

gilt und $T = 273,15\text{K}$ einsetzen, ergibt sich ein Druck von

$$p = \frac{N \cdot k_b \cdot T}{V} = \frac{1 \cdot 1,380649 \cdot 10^{-23} \text{J K}^{-1} \cdot 273,15 \text{K}}{1 \text{m}^3} = 3,774 \cdot 10^{-21} \text{Pa}.$$

(13)