

Halbleiter und Nanostrukturen - Charakteristik einer Vakuumanlage, Praktikum, Prof. Förster

Christoph Hansen, Christian große Börding

chris@university-material.de

Dieser Text ist unter dieser [Creative Commons](#) Lizenz veröffentlicht.

Ich erhebe keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Richtigkeit. Falls ihr Fehler findet oder etwas fehlt, dann meldet euch bitte über den Emailkontakt.

Inhaltsverzeichnis

Versuchsaufbau	2
Versuchsdurchführung	2
Funktionsweise der Komponenten	2
Auswertung	4

Versuchsaufbau

In diesem Versuch geht es darum eine Vakuumanlage zu vermessen. Dabei sollen charakteristische Daten wie das effektive Saugvermögen der Pumpen und die Leckrate bestimmt werden.

Zu diesem Zweck hatten wir einen Pumpenstand aus einer Drehschieberpumpe, die mit einer Turbomolekularpumpe gekoppelt war. Zur Druckmessung wurde ein 2 in 1 Druckmessgerät verwendet, damit alle erreichbaren Druckbereiche abgedeckt sind.

Zu Anfang wurde die ganze Anordnung gesäubert und dann zusammengebaut. Schematisch sah der Aufbau so aus:

Bild!!!

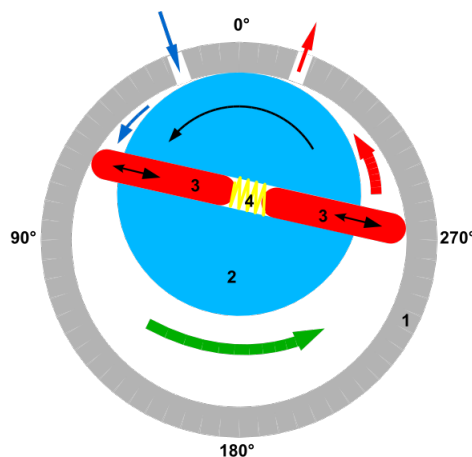
Versuchsdurchführung

Zuerst erzeugen wir mit der Drehschieberpumpe ein Vorvakuum im Bereich von $\text{ca } 2 \cdot 10^{-2} \text{ mbar}$, anschließend schalten wir die Turbomolekularpumpe hinzu. Nach Erreichen des Enddrucks sperren wir die Kammer mehrfach ab, bestimmen darüber die Leckrate. Danach schalten wir die Turbomolekularpumpe ab, warten bis der Enddruck der Drehschieberpumpe erreicht wird. Daraus können wir das Saugvermögen bestimmen.

Funktionsweise der Komponenten

Drehschieberpumpe

Im Prinzip ist eine Drehschieberpumpe nichts anderes als zwei ineinandergesetzte Zylinder, von denen der innere exzentrisch rotiert. Im ersten Schritt wird Luft aus einer Öffnung eingelassen. Anschließend wird die Luft mit der Rotation aus der zweiten Öffnung rausgedrückt. Der ganze Prozess wird zum Dichten und Schmieren mit Öl versorgt.



Turbomolekularpumpe

Eine Turbomolekularpumpe besteht aus mehreren Stufen von fest angeordneten Statoren. Zwischen diesen Statoren sind Rotoren, die im Bereich von 10000 – 90000 Umd/min rotieren. Das sind Geschwindigkeiten, die im Bereich der Molekülgeschwindigkeiten liegen und dadurch fügen die Ro-

toren den Molekülen einen zusätzlichen seitlichen Impuls hinzu. Wenn diese Komponenten groß genug ist, können die Teilchen den Rezipienten verlassen.

Thermovac

Diesen Messgerät arbeitet mit der Wärmeleitfähigkeit von Gasen. Es wird eine Heizspule mit einem konstanten Strom durchflossen und auch die Temperatur soll konstant gehalten werden. Je weniger Gas vorhanden ist desto höher muss man die Spannung regeln, damit eine konstante Temperatur erreicht wird. Man kann damit bis runter auf ca 10^{-3} mbar messen.

Ionivac

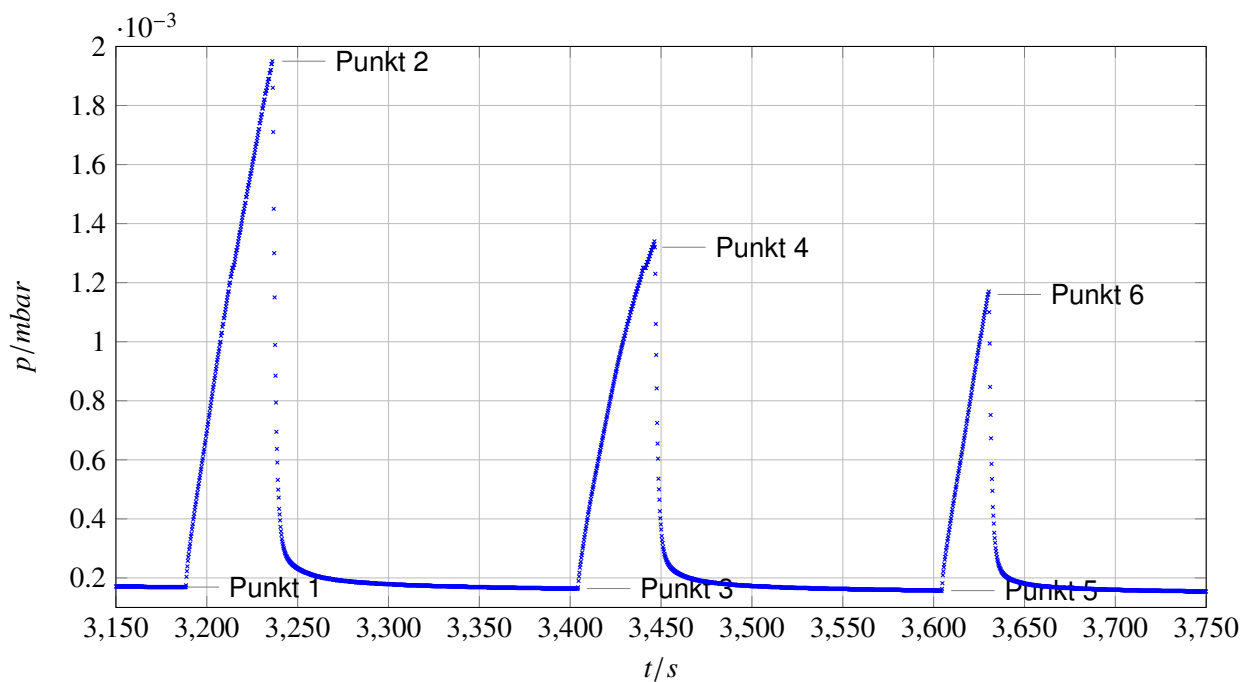
Ein Ionisations Druckmessgerät macht sich die Restelektronen in der Vakuumkammer zu nutze. Es besitzt eine Anode und eine Kathode zwischen denen eine Spannung angelegt ist. Die Elektronen werden nun von der Anode angezogen und man erhält einen von den Restelektronen abhängigen Strom. Das Ionisations Druckmessgerät funktioniert nur bei Drücken die niedriger sind als 10^{-2} mbar, da sonst ein konstanter Strom zwischen Anode und Kathode fließen würde

Auswertung

Leckrate

Turbomolekularpumpe

Wir bestimmen zunächst die Leckrate und betrachten dazu den Druckverlauf, als wir das Ventil dreimal kurz geschlossen haben. Für die Ausgleichsgeraden haben wir die 6 relevanten Punkte markiert:



Die Punkte sind:

Punkt	t/s	$p/mbar$
1	$3,177 \cdot 10^3$	$1,69 \cdot 10^{-4}$
2	$3,236 \cdot 10^3$	$1,95 \cdot 10^{-3}$
3	$3,403 \cdot 10^3$	$1,64 \cdot 10^{-4}$
4	$3,445 \cdot 10^3$	$1,32 \cdot 10^{-3}$
5	$3,604 \cdot 10^3$	$1,57 \cdot 10^{-4}$
6	$3,629 \cdot 10^3$	$1,16 \cdot 10^{-3}$

Daraus können wir die Steigungen berechnen:

$$m_1 = \frac{1,95 \cdot 10^{-3} - 1,69 \cdot 10^{-4}}{3,23609 \cdot 10^3 - 3,17759 \cdot 10^3} = 3,01 \cdot 10^{-5} \text{ mbar/s}$$

$$m_2 = \frac{1,32 \cdot 10^{-3} - 1,64 \cdot 10^{-4}}{3,44534 \cdot 10^3 - 3,40384 \cdot 10^3} = 2,75 \cdot 10^{-5} \text{ mbar/s}$$

$$m_3 = \frac{1,16 \cdot 10^{-3} - 1,57 \cdot 10^{-4}}{3,62984 \cdot 10^3 - 3,60434 \cdot 10^3} = 4,01 \cdot 10^{-5} \text{ mbar/s}$$

Der Mittelwert ist dann:

$$\bar{m} = 3,25 \cdot 10^{-5} \text{ mbar/s}$$

Den Rezipienten haben wir vermessen und kommen auf ein Volumen von $\approx 12,1 \text{ l}$ bei einer Unsicherheit von $\approx 0,4 \text{ l}$. Die Leckrate berechnen wir dann so:

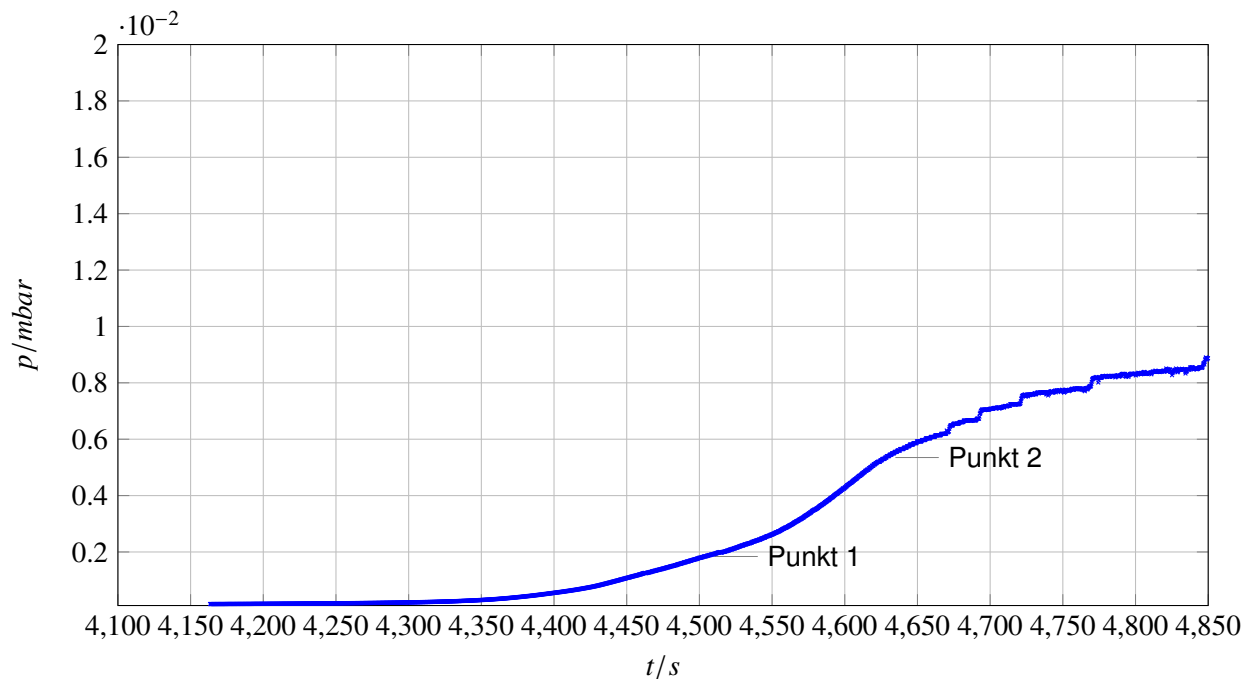
$$q_{pv} = m \cdot V_{Rez} = 3,25 \cdot 10^{-5} \cdot 12,1 = 3,93 \cdot 10^{-4} \text{ mbar l/s}$$

$$\Delta q_{pv} = \frac{\partial q_{pv}}{\partial V_{Rez}} = m \cdot \Delta V_{Rez} = 3,25 \cdot 10^{-5} \cdot 0,4 = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ mbar l/s}$$

Damit ist unsere Leckrate $(3,93 \pm 0,13) \cdot 10^{-4} \text{ mbar l/s}$.

Drehschieberpumpe

Nach genau dem selben Schema betrachten wir die Leckrate der Drehschieberpumpe:



Die Punkte sind:

Punkt	t/s	p/mbar
1	$4,50 \cdot 10^3$	$1,84 \cdot 10^{-4}$
2	$4,62 \cdot 10^3$	$5,35 \cdot 10^{-3}$

Daraus können wir die Steigungen berechnen:

$$m_1 = \frac{5,35 \cdot 10^{-3} - 1,84 \cdot 10^{-4}}{4,62 \cdot 10^3 - 4,50 \cdot 10^3} = 4,305 \cdot 10^{-5} \text{ mbar/s}$$

Wie oben ergibt sich dann die Leckrate zu:

$$q_{pv} = m \cdot V_{Rez} = 4,305 \cdot 10^{-5} \cdot 12,1 = 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ mbar l/s}$$

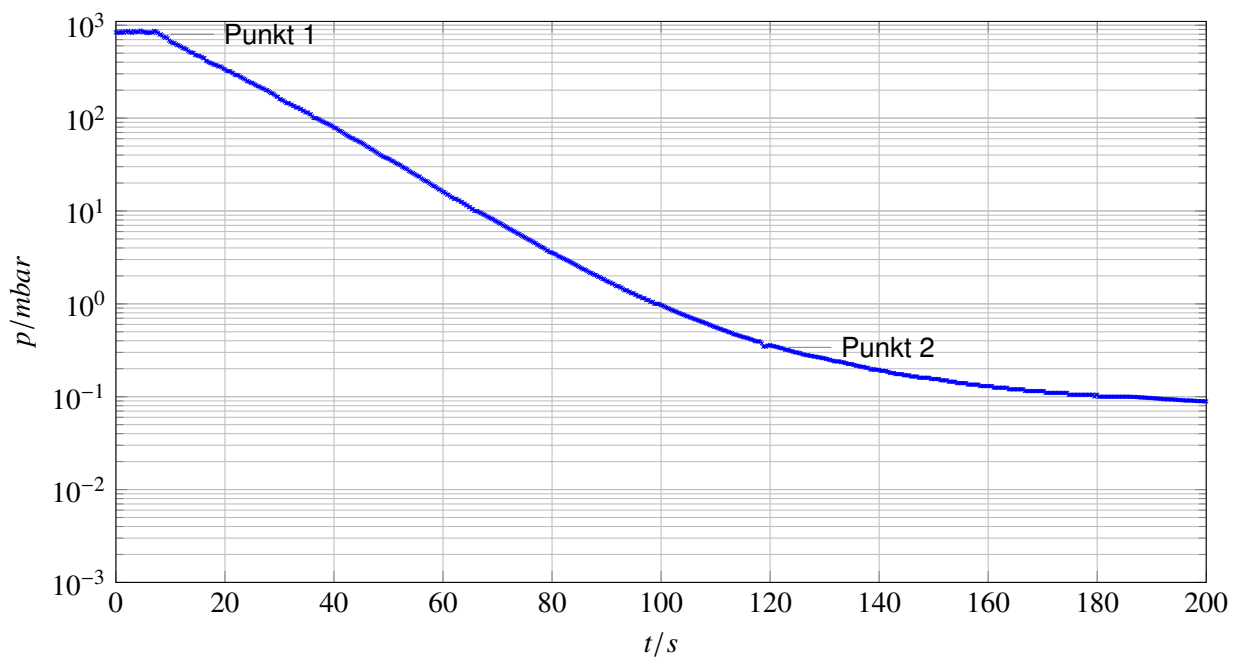
$$\Delta q_{pv} = \frac{\partial q_{pv}}{\partial V_{Rez}} = m \cdot \Delta V_{Rez} = 4,305 \cdot 10^{-5} \cdot 0,4 = 2,08 \cdot 10^{-4} \text{ mbar l/s}$$

Damit ist unsere Leckrate $(5,2 \pm 2,08) \cdot 10^{-4} \text{ mbar l/s}$.

Saugvermögen

Drehschieberpumpe

Um das Saugvermögen zu berechnen legen wir wieder eine Gerade durch zwei markante Punkte;



Die Punkte sind:

Punkt	t/s	p/mbar
1	$8,24547 \cdot 10^0$	$8,00 \cdot 10^2$
2	$1,21497 \cdot 10^2$	$3,40 \cdot 10^{-1}$

Daraus können wir die Steigungen berechnen:

$$|m_1| = \left| \frac{\log(-3,40 \cdot 10^{-1} + 8 \cdot 10^2)}{1,21 \cdot 10^2 - 8,24 \cdot 10^0} \right| = 0,075 \text{ mbar/s}$$

Die Saugrate ergibt sich dann so:

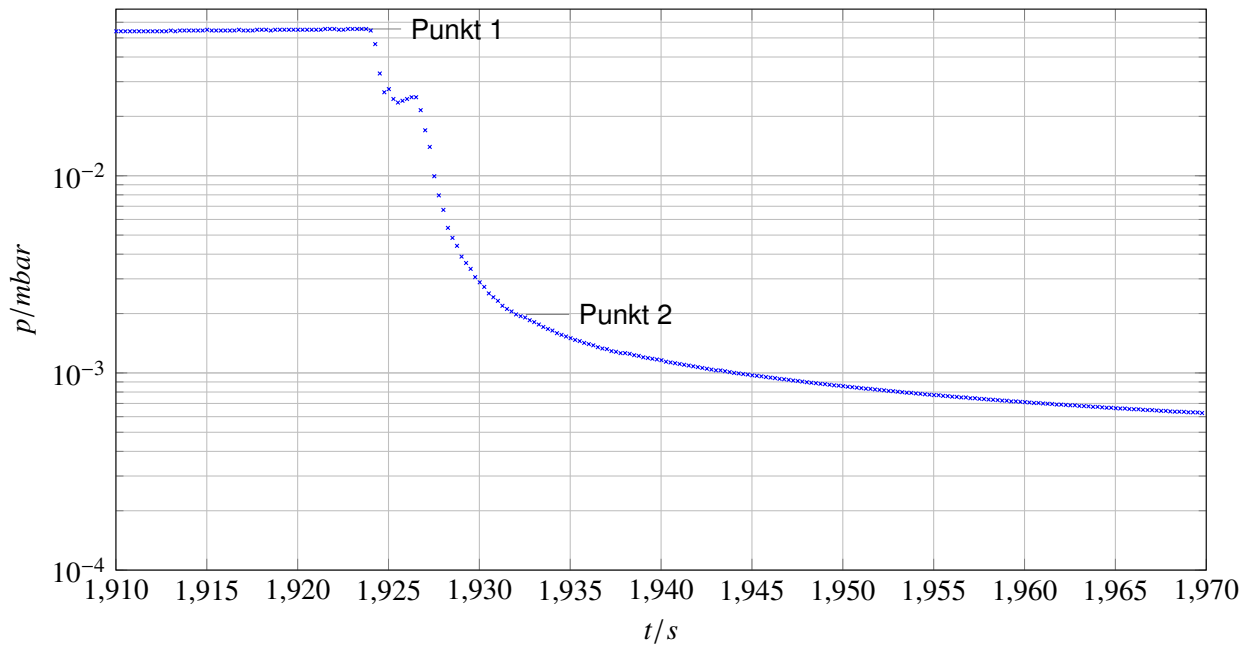
$$S_{eff} = m \cdot V_{Rez} = 0,075 \cdot 12,1 = 0,901/s$$

$$\Delta S_{eff} = \frac{\partial S_{eff}}{\partial V_{Rez}} = m \cdot \Delta V_{Rez} = 0,075 \cdot 0,4 = 0,031/s$$

Die Saugrate der Drehschieberpumpe ist also $(0,9 \pm 0,03)1/s$

Turbomolekularpumpe

Um das Saugvermögen zu berechnen legen wir wieder eine Gerade durch zwei markante Punkte;



Die Punkte sind:

Punkt	t/s	$p/mbar$
1	$1,922 \cdot 10^3$	$5,55 \cdot 10^{-2}$
2	$1,932 \cdot 10^3$	$1,98 \cdot 10^{-3}$

Daraus können wir die Steigungen berechnen:

$$|m_1| = \left| \frac{\log(-1,98 \cdot 10^{-3} + 5,55 \cdot 10^{-2})}{1,932 \cdot 10^3 - 1,922 \cdot 10^3} \right| = 0,127 \text{ mbar/s}$$

Die Saugrate ergibt sich dann so:

$$S_{eff} = m \cdot V_{Rez} = 0,127 \cdot 12,1 = 1,51/s$$

$$\Delta S_{eff} = \frac{\partial S_{eff}}{\partial V_{Rez}} = m \cdot \Delta V_{Rez} = 0,127 \cdot 0,4 = 0,051/s$$

Die Saugrate der Turbomolekularpumpe ist also $(1,5 \pm 0,05) \text{ l/s}$

Theoretisches Saugvermögen der Turbopumpe

Um das theoretische Saugvermögen zu bestimmen, müssen wir die Rohrdurchmesser und Längen der einzelnen Abschnitte berücksichtigen. Zudem wissen wir aus dem Datenblatt, das die maximale Pumpleistung der Turbopumpe bei $\approx 55 \text{ l/s}$ liegt. Daraus erhalten wir nun:

	Länge / cm	Durchmesser / cm	Klausius	Leitwert / l/s	1/Leitwert / s/l
Schiebeventil 1	1,8	3,2	0,27084054	60,7674301	0,01645618
Schiebeventil 2	1,8	3,2	0,27084054	60,7674301	0,01645618
Schiebeventil 3	2,4	2,4	0,38571429	27,3821773	0,03652011
Winkelstück	15,394	3,6	0,70553244	26,3543786	0,03794436
Flansch	8,7	2,3	0,68101282	11,7381407	0,08519237
Pumpe				55	0,01818182

Die Leitwerte werden nach folgender Formel berechnet:

$$c = K'' \cdot 3,81 \cdot \sqrt{\frac{T}{M}} \cdot \frac{D^3}{L}$$

Der Klausiusfaktor K'' lässt sich dann so bestimmen:

$$K'' = \frac{15 \cdot \frac{L}{D} + 12 \cdot \left(\frac{L}{D}\right)^2}{20 + 38 \cdot \frac{L}{D} + 12 \cdot \left(\frac{L}{D}\right)^2}$$

Zudem wir die Länge des gekrümmten Rohrs wie folgt umgerechnet:

$$l = l_{ax} + 1,33 \cdot \frac{90}{180} \cdot D$$

Für das theoretische Saugvermögen ergibt sich dann:

$$S_{theo} = \frac{1}{\sum (1/Leitwert)} = 4,755 \text{ l/s}$$

Das theoretische Saugvermögen liegt also um knapp den Faktor 4 über dem gemessenen.

Leckraten bei laufenden Pumpen

Die Leckraten können wir nach folgender Formel bestimmen:

$$C = \frac{P_e \cdot S_{eff}}{P_a}$$

Turbopumpe

Für die Turbopumpe ergibt sich dann:

$$C = \frac{1,5 \cdot 1,69 \cdot 10^{-4}}{1013} = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ l/s}$$

Drehschieberpumpe

Für die Drehschieberpumpe ergibt sich dann:

$$C = \frac{0,9 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{1013} = 7,1 \cdot 10^{-6} \text{ l/s}$$