

Praktikumsvorbereitung

Vakuu

André Schendel, Silas Kraus
Gruppe DO-20

4. Juli 2012

I. Grundlagen

Vakuu

Vakuu bedeutet „leerer Raum“. Wenn man also von einem Vakuu spricht, redet man im Idealfall von einem leeren oder im Realfall von einem fast leeren Raum. Im Bezug auf das Praktikum kann man somit ein Vakuu in verschiedene Kategorien unterteilen, je nachdem, wie viele Teilchen noch in einem Raum vorhanden sind. (*Hochvakuu*: $10^{-3} - 10^{-7} \text{ mbar}$, *Ultrahochvakuu*: $10^{-7} - 10^{-12} \text{ mbar}$) Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Einteilung der Vakuu-Kategorien nicht 1:1 auf die Teilchenzahl im Raum zurückführbar ist, da diese in Druckeinheiten angegeben ist, welcher zusätzlich von der Temperatur abhängt.

Druck

Der Druck p ist definiert als die Kraft F , die auf eine Fläche A einwirkt. Für die in den Versuchen auftauchenden Drücke ist dabei von entscheidender Rolle, welche kinetische Energie die Gasteilchen haben, die sich in dem zu untersuchenden Vakuu befinden. Denn diese kinetische Energie beschreibt die Brownsche Molekularbewegung, welche dazu führt, dass die Teilchen mit den Wänden des Raumes stoßen und dadurch einen infinitesimal kleinen Impulsübertrag auf die Wände vollziehen. Die Summe über alle Stöße auf die Fläche A kann als Druck gemessen werden.

Partialdruck

Liegen in einem Volumen mehrere ideale Gase vor, so ergibt sich der Gesamtdruck im Volumen als Summe der Partialdrücke der einzelnen Gase, wobei die Partialdrücke durch das ideale Gasgesetz bestimmt sind.

Dampfdruck

Der Dampfdruck ist der Druck, der sich in einem Volumen einstellt, wenn sowohl ein Gas als auch seine kondensierte Form gleichzeitig vorliegen. Im Gleichgewichtszustand stellt sich der Sättigungsdampfdruck

$$p = p_S(t)$$

ein, bei dem genau so viele Teilchen vom gasförmigen Zustand in den flüssigen Zustand übergehen wie umgekehrt. Der Sättigungsdampfdruck ist abhängig von der Temperatur und vom Stoff.

Boyle-Mariottesches Gesetz

Das Boyle-Mariottesche Gesetz besagt, dass

$$p \propto \frac{1}{V} \quad \text{wenn } T = \text{const} \quad n = \text{const}$$

Hierbei steht p für den Druck, V für das Volumen, T für die Temperatur und n für die Stoffmenge des Gases.

Gasgesetze

ideal

Die Moleküle eines idealen Gases werden als Massepunkte ohne Ausdehnung angesehen, die sich im gegebenen Volumen frei bewegen können und keinerlei Kräfte verspüren, jedoch mit den Wänden und untereinander stoßen können. Nach den Gasgesetzen von Boyle-Mariotte, Gay-Lussac, Amontons und dem Gesetz der Gleichförmigkeit ergibt sich zusammengefasst das Ideale Gasgesetz:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T = N \cdot k_B \cdot T$$

,wobei p für den Druck, V für das Volumen, n für die Stoffmenge, T für die Temperatur[K] und N für die Teilchenzahl des Gases stehen, sowie R für die molare Gaskonstante und k_B für die Boltzmann-Konstante

$$R = 8,314472 \frac{1}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$k_B = 1,380658 \cdot 10^{-23} \frac{1}{\text{K}}$$

Da Gase im Gegensatz zu Flüssigkeiten und Feststoffen eine sehr geringe Dichte aufweisen, benutzt man für Zustandsbeschreibungen von Gasen meist Formeln mit der Stoffmenge, da auch eine Beschreibung über die Teilchenzahl aufgrund der großen Teilchenanzahl sehr umständlich ist. Dafür wird die Teilchenzahl unter Zuhilfenahme der Avogadrokonstante N_A

$$N_A = 6,022142 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$$

in die Stoffmenge n umgeschrieben.

Unter Normalbedingungen ($T=273,15 \text{ K}$ und $p=1013,25 \text{ hPa} \hat{=} 1,01325 \text{ bar}$) gilt für das molare Volumen eines Gases

$$V_n = 22,414 \frac{\text{l}}{\text{mol}}$$

real

Die Beschreibung von Gasen durch das ideale Gasgesetz ist aufgrund der Idealisierung allerdings nicht vollkommen korrekt, gilt aber dennoch für viele Fälle zur Beschreibung von Gasen. Eine genauere Beschreibung liefert jedoch die Van-der-Waals Gleichung

$$(p + p_B) \cdot (V - V_{Ko}) = n \cdot R \cdot T$$

wobei $p_B = \frac{a \cdot n^2}{V^2}$ der Binnendruck ist mit $a = \frac{27 \cdot (r \cdot T_c)^2}{64 \cdot p_c}$

sowie $V_{Ko} = n \cdot b$ das Kovolumen mit $b = \frac{R \cdot T_c}{8 \cdot p_c}$

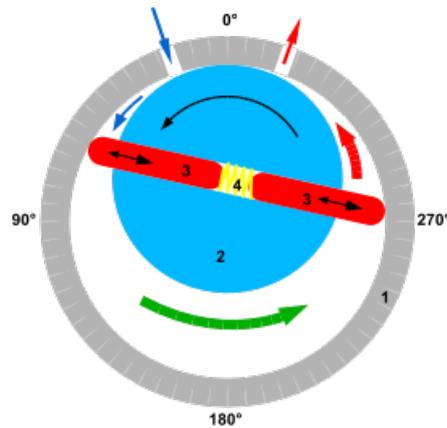
hierbei sind p_c der kritische Druck und T_c die kritische Temperatur.

Der kritische Druck und die kritische Temperatur sind die Punkte, ab denen man zwischen der Gas- und der flüssigen Phase eines Stoffes nicht mehr unterschieden kann, wenn die Parameter weiter erhöht werden.

Drehschieberpumpe/Rotierende Pumpe

Ein Drehschieber ist eine sehr einfach aufgebaute Pumpe für Gase.

Abbildung 1: Aufbau Drehschieberpumpe Quelle:[1]



In einem Stator befindet sich ein Rotor mit zwei oder mehr Drehschiebern, die radial vom Mittelpunkt des Rotors aus zur Innenwand des Stators verlaufen. Da der Rotor allerdings nicht mittig im Stator angebracht ist, sondern so, dass er die Verbindung zwischen Ein- und Auslassöffnung dauerhaft schließt, werden eine oder mehrere Federn im Inneren des Rotors benötigt, um den variablen Abstand zu den Wänden immer abschließen zu können. Alternativ zu Federn kann bei hohen Drehzahlen auch nur die Zentrifugalkraft genutzt werden, um die Schieber immer in Kontakt mit der Statorinnenwand zu halten. Beginnt nun die Pumpe zu arbeiten, dreht sich der Rotor von der Einlassöffnung Saugkammer (blau) über den Förderraum zur Druckkammer mit anschließender Auslassöffnung (rot). Diese Bauart benötigt allerdings große Mengen Öl zur Abdichtung, Schmierung, Wärmeleitung und zur Kompression.

Turbomolekularpumpe

Im Gegensatz zur Drehschieberpumpe schiebt die Turbomolekularpumpe das Gas nicht einfach aus dem Rezipienten heraus, sondern schlägt es durch ihre enorm hohe Umdrehungszahl förmlich zur Auslassöffnung.

Hierfür sind am Rotor sehr viele Rotorblätter mit einem Abstand von nur wenigen Millimetern angebracht. Dabei sind die Rotorblätter so konzipiert, dass sie eine möglichst große Fläche bieten, um das Gas möglichst effektiv zum Auslass zu befördern.

Damit eine Turbomolekularpumpe überhaupt effizient funktioniert, muss die Geschwindigkeit der Rotorblätter an der Innenseite des Stators in der Größenordnung der mittleren thermischen Geschwindigkeit der Gasatome/-moleküle liegen

$$\bar{c} = \sqrt{\frac{8 \cdot R \cdot T}{\pi \cdot M}}$$

mit $R = 83,14 \left(\frac{\text{mbar}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right)$ = allgemeine Gaskonstante, T = Temperatur und M = Molare Masse.

Das heißt je höher die Temperatur und je leichter die Atome/Moleküle sind, desto schneller müssen sich die Rotorblätter drehen.

Diese Art von Pumpe ist zwar sehr gut zur Erzeugung eines Ultrahochvakuums ($p < 10^{-7} \text{mbar}$) zu gebrauchen, benötigt allerdings ein Vorvakuum, da die benötigte Motorleistung zur direkten Erzeugung eines Hochvakuums den technischen Rahmen sprengen würden.

Diffusionspumpe

Eine Diffusionspumpe basiert darauf, dass Öl, früher Quecksilber, durch eine Heizung im Boden der Pumpe bis zum Sieden erhitzt wird und in der Diffusionspumpe aufsteigt.

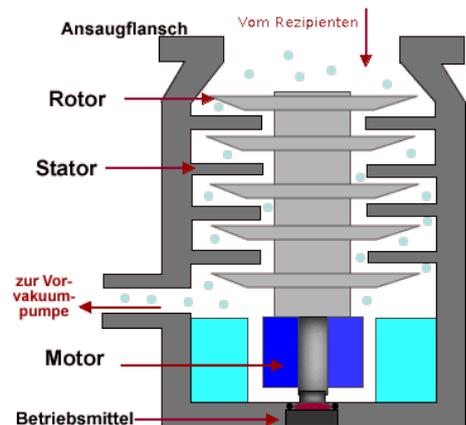


Abbildung 2: Aufbau einer Turbomolekularpumpe (Quelle:[2])

Durch den inneren Aufbau der Pumpe, der durch mehrere kegelförmige, teilweise offene Dächer den Raum in mehrere Niveaus unterteilt, strömt dann das verdampfte Öl bis an die Decke der Pumpe oder durch eine der Öffnungen in den Kegeldächern schon früher an die gekühlten Wände der Pumpe an denen es dann kondensiert. Bei diesem Vorgang fängt der Öldampf die Fremdgasmoleküle ein und bindet sie, da der Partialdruck der Gase im Öldampf niedriger ist als im restlichen Pumperraum.

Das an den Wänden herunterfließende Öl erwärmt sich wieder, je weiter es sich dem Boden nähert, bis es schließlich wieder verdampft und das Fremdgas wieder freigibt. Dieses kann allerdings über eine Vorvakuumpumpe, die in einer Höhe etwas über dem Heizer positioniert ist, abgesaugt werden.

Durch diese Art von Pumpe lassen sich Drücke im Ultrahochvakuumbereich von etwa 10^{-9} mbar erreichen.

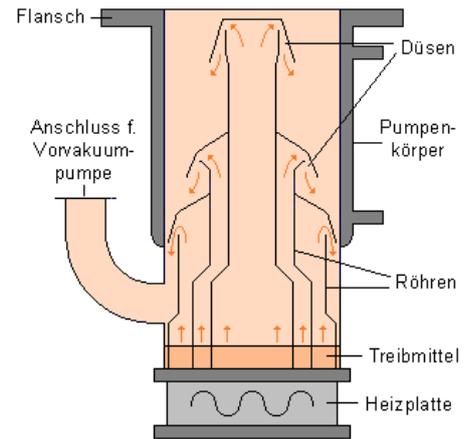


Abbildung 3: Aufbau einer Diffusionspumpe. (Quelle:[3])

Kryopumpe

Eine Kryopumpe basiert darauf, dass Gase bei niedrigen Temperaturen kondensieren, wobei man erst ab einer Kühltemperatur von unter 120K spricht von Kryopumpen. Dadurch fällt ein Großteil des Gases an einer Kaltfläche aus, kann nicht mehr an der kinetischen Aktivität des Restgases teilnehmen und leicht abgepumpt werden.

Die Kryopumpe kann dabei in 3 unterschiedlichen Bauarten realisiert werden:

- Die Bad-Kryopumpe, bei der einfach ein Kühlgas zur Kühlung einer Kühlfläche genutzt wird.
- Die Verdampfer-Kryopumpe, bei der flüssiges Helium zur Kühlung genutzt wird, indem an der als Wärmetauscher konzipierten Kaltfläche das Helium immer wieder aufs Neue verdampft und anschließend zurückgewonnen wird.
- Refrigerator-Kryopumpe, die ähnlich wie ein Kühlschrank funktioniert und heute die gängigste Technik ist, die für Kryopumpen genutzt wird. Auch sie nutzt wieder Helium als Kühlmittel.

Saugvermögen und Saugleistung

Das Saugvermögen S ist die Gasmenge dV , die in einer bestimmten Zeit dt durch den Saugstutzen der Pumpe strömt.

$$S := \frac{dV}{dt} = q_{V, \text{Saugstutzen}}$$

Zu beachten ist, dass das Saugvermögen kaum von der Temperatur und vom Druck abhängt. Die Saugleistung \dot{Q} ist das Saugvermögen multipliziert mit dem Druck, der am Saugstutzen herrscht.

$$\dot{Q} := S \cdot p = \left[\frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

mittlere freie Weglänge in Abhängigkeit vom Druck

Die mittlere freie Weglänge ist statistisch gesehen die Strecke, die ein Teilchen zurücklegen kann, ohne mit einem anderen Teilchen zusammen zustoßen und einen Energie- und/oder Impulsaustausch zu vollführen. Sie ist gegeben durch

$$\lambda = \frac{1}{n \cdot \sigma}$$

,wobei n die Teilchenzahldichte und σ der Wirkungsquerschnitt ist.

Das bedeutet, dass ein höherer Druck zu einer Reduktion der mittleren freien Weglänge führt, da dieser die Teilchenzahldichte erhöht, von der die mittlere freie Weglänge reziprok abhängt.

Knudsenzahl

Die Knudsenzahl ist eine Hilfsgröße zur Bestimmung der Strömungsart eines Gases. Sie ist gegeben durch

$$K_n = \frac{\lambda}{d^2}$$

,wobei λ wider die mittlere freie Weglänge und d der Leitungsdurchmesser ist. Ungefähre Richtwerte zur Bestimmung der Strömungsart:

$$K_n > 0,5 \Rightarrow \text{Molekularstroemung}$$

$$0,5 > K_n > 0,01 \Rightarrow \text{Uebergangstroemung}$$

$$0,01 > K_n \Rightarrow \text{Kontinuumsstroemung}$$

Strömungsgeschwindigkeit

Die Strömungsgeschwindigkeit gibt den Mittelwert der Geschwindigkeit in Richtung der Leitung an. Wie auch die Knudsenzahl bedient man sich ihrer, um die einzelnen Strömungsarten differenzieren zu können.

viskose Strömung/Kontinuumsströmung (laminar, turbulent)

Bei der Kontinuumsströmung stoßen die Gasteilchen größtenteils untereinander, da durch den hier herrschenden hohen Druck die mittlere freie Weglänge stark reduziert wurde.

Allerdings ist zu beachten, dass bei der viskosen Strömung Unterströmungen auftreten, wie zum Beispiel die laminare Strömung, die dadurch zustande kommt, dass die Gasschicht an der Oberfläche der Leitung durch Reibung abgebremst wird.

Im Weiteren ist auch noch die turbulente Strömung zu nennen, die dadurch entsteht, dass die Reibungskräfte in der Leitung geschwindigkeitsabhängig und die Trägheitskräfte geschwindigkeitsunabhängig sind. Dadurch entstehen Verwirbelungen/Turbulenzen, wenn die Reibungskräfte nicht parallel zu den Trägheitskräften wirken.

Um nun zwischen den einzelnen Unterströmungsarten unterscheiden zu können, kann die Reynolds-Zahl Re herangezogen werden:

$$Re := \frac{\rho}{\eta} \cdot \nu \cdot d$$

,wobei ρ = Dichte, η = Viskosität und ν = Strömungsgeschwindigkeit des Gases sowie d = Leitungsdurchmesser.

Damit ergibt sich per Definition:

$$Re > 4000 \text{ turbulente Strömung}$$

$$Re < 2300 \text{ laminare Strömung}$$

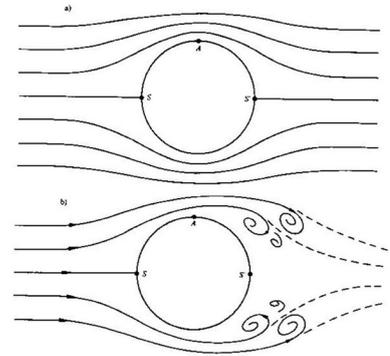


Abbildung 4: laminare und turbulente Strömung an einem Hindernis (Quelle: [4])

Molekularströmung

Die Molekularströmung ist eine Gasströmung bei niedrigem Druck, bei dem die Gasatome/-moleküle kaum miteinander, sondern fast ausschließlich mit den Leitungswänden interagieren. Hier ist die mittlere freie Weglänge groß im Vergleich zum Durchmesser des Leitungsrohres.

Strömungswiderstand und -Leitwert

Der Strömungswiderstand R gibt das Verhältnis zwischen der Druckdifferenz Δp , zwischen den beiden Leitungsenden, und der Gasstromstärke q an

$$R := \frac{\Delta p}{q}$$

Man kann ihn als Analogon zum elektrischen Widerstand zu sehen, deshalb gibt es ebenfalls ein Analogon zum elektrischen Leitwert, den Strömungsleitwert C .

$$C := \frac{1}{R}$$

Gasentladung

Eine Gasentladung ist der Fluss eines elektrischen Stroms durch ein Gas von einer Kathode zur Anode. Damit eine Gasentladung möglich ist, müssen zumindest von einem Teil der Gasmoleküle die Elektronen von den Atomkernen getrennt werden, damit die Ionen und Elektronen als Ladungsträger dienen können. Damit dies geschehen kann, muss ein ausreichend starkes elektrisches Feld das Gas durchdringen, damit einige von der Kathode emittierte Elektronen die Gasatome durch Stöße ionisieren können. Des Weiteren muss eine ausreichend große mittlere freie Weglänge gegeben sein, damit die Elektronen im elektrischen Feld stark genug beschleunigt werden können, was wiederum dazu führt, dass die Temperatur und der Druck des Gases geeignet gewählt werden müssen.

Man kann drei Arten von Gasentladungen unterscheiden:

- Bei „höheren“ Drücken können Lichtbögen beobachtet werden, die dadurch entstehen, dass die Elektronen von einer sehr heißen Kathode direkt bis hin zur Anode hinüber „wandern“ können. Es wird lediglich zu Beginn eine hohe Spannung benötigt, um den Vorgang in Gang zu setzen. Später reichen niedrigere Spannungen aus, damit der Prozess nicht abbricht.
- Ist die Spannungsdifferenz der beiden Elektroden noch weit höher als bei der Bogenentladung, kommt es zur sogenannten Funkenentladung, bei der einmal kurz Ladung von einer zur anderen Elektrode hinüber wandert und dann der Vorgang zusammenbricht.
- Bei niedrigeren Drücken kommt es zur Glimmentladung. Dabei stürzen die ionisierten Gasatome in die Kathode und die emittierten Elektronen in die Anode und rekombinieren jeweils. Die neu hinzu strömenden Elektronen regen dann die Atome an und es beginnt an den Elektroden zu glimmen wobei das Glimmen an der Anode deutlich stärker ist, da die Elektronen im elektrischen Feld viel mehr Energie aufnehmen konnten. An der Anode ist das Glimmen sogar so stark, dass mehrere Lichtscheibchen unterschiedenen werden können, deren Abstand jeweils der mittleren freien Weglänge der Ladungsträger entspricht.

Leckrate und -Suche

Leckrate bedeutet, dass aus realen und virtuellen Quellen Gas in das Vakuum eindringen kann. Bei realen Lecks handelt es sich um kleine Öffnungen in der Apparatur, durch die Gas von außen eindringen kann.

Bei virtuellen Lecks („Lecks im Inneren der Apparatur“) kann Gas durch einen Gasrückstrom aus der Pumpe, durch Desorption von Atomen aus den Innenwänden der Apparatur oder aus einer Dampfquelle in der Apparatur wieder in das Vakuum strömen.

Übersteigt die Leckrate einen bestimmten Wert, müssen die Lecks eliminiert werden.

Dafür können verschiedene Methoden angewandt werden, zum Beispiel kann ein Prüfgas auf eine vermeintliche Öffnung in der Apparatur gesprüht werden. Steigt der Druck im Vakuum an, so ist ein Leck gefunden.

Membranmanometer

Ein Membranmanometer ist ein relativ grobes Druckmessinstrument, das auch nur bei größeren Drücken zur Druckbestimmung genutzt werden kann. Hierfür ist ein Zeiger auf einer Metallmembran angebracht. Ändert sich nun der Druck, biegt sich die Metallmembran und der Zeiger verändert seine Position auf der Messkala.

U-Rohr-Manometer

Ein U-Rohr-Manometer ist ein Instrument zur Druckbestimmung, das auf zwei Arten verwendet werden kann. Das offene U-Rohr-Manometer kann zur Bestimmung einer Druckdifferenz zweier Systeme genutzt werden. Hierbei ergibt sich die Druckdifferenz Δp durch

$$\Delta p = g \cdot \Delta h \cdot \rho_{Fl}$$

,wobei g die Gravitationskonstante, Δh der Höhenunterschied zwischen den beiden Flüssigkeitssäulen und ρ_{Fl} die Dichte der Flüssigkeit ist.

Für ein geschlossenes U-Rohr-Manometer ergibt sich Ähnliches, nur dass hier anstatt eines zweiten äußeren Drucks als Referenzwert das Vakuum im geschlossenen Teil des U-Rohres verwendet und somit der absolute Druck bestimmt wird.

Wärmeleitungsmanometer/Wärmeleitungsvakuummeter

In einem Wärmeleitungsmanometer kann durch einen Heizdraht, welcher Teil einer Wheatstone-Brückenschaltung ist, der Druck in einem bestimmten Bereich ($5 \cdot 10^{-4} \text{ mbar} - 1000 \text{ mbar}$) bestimmt werden, da der Widerstandswert des Drahtes druckabhängig ist. Um den Widerstandswert des Drahts bei verschiedenen Drücken konstant zu halten, muss die Spannung entsprechend reguliert werden. Somit kann über die Spannung der auf den Draht wirkende Druck bestimmt werden.

Ionisationsmanometer

In einem Ionisationsmanometer werden Elektronen von einer Kathode zu einer Anode beschleunigt. Auf dem Weg dorthin stoßen sie mit den Gasteilchen im Zwischenraum und ionisieren diese. Diese Ionen verursachen in einem Ionenkollektor einen Strom, aus dem nun die Anzahl der Gasteilchen im Volumen bestimmt werden kann. Daraus kann dann auch der Gasdruck errechnet werden.

Penning-Manometer

Das Penning- Manometer ist ein spezielles Ionisationsmanometer für geringe Drücke. Da bei niedrigen Drücken die mittlere freie Weglänge größer ist als bei hohen Drücken, nimmt die Wahrscheinlichkeit ab, dass ein Elektron mit einem Gasteilchen auf dem Weg von der Kathode zur Anode zusammenstößt. Um diese Tatsache zu kompensieren, wird senkrecht zur Flugbahn der Elektronen ein Magnetfeld angelegt, das die Elektronen auf eine Kreisbahn zwingt. Dadurch wird der Weg so stark verlängert, dass wieder genügend Ionen erzeugt werden, um einen Strom am Ionenkollektor feststellen zu können.

II. Aufgaben

Bevor überhaupt mit den Versuchen begonnen wird, soll man sich zuerst einmal mit den Apparaturen genauestens vertraut machen, um etwaige Fehler im späteren Versuch zu vermeiden und sich von dem ordnungsgemäßen Zustand der Geräte überzeugen zu können. Außerdem kann der Umgang mit einem stark evakuierten Rezipienten sehr gefährlich sein (Implosion).

Aufgabe 1. Demonstrationsversuch: Gasentladung in Abhängigkeit vom Druck

Als erstes soll die Gasentladung in Abhängigkeit vom Druck in der Gasentladungsröhre beobachtet, skizziert und beschrieben werden unter der Voraussetzung eines absinkenden Drucks.

Es sollte zu sehen sein, dass die Gasentladung mit sinkendem Druck sich immer stärker abschwächt, bis sie irgendwann völlig erlischt.

Der Grund hierfür ist die sich stetig verringernde Anzahl von ionisierbaren Gasteilchen in der Röhre, ohne die kein Strom fließen kann.

Nach diesem Versuch soll das Ventil 2 geschlossen werden. Dies wird gemacht, um die Leckrate für die späteren Versuche unter Hochvakuum, zu reduzieren.

Aufgabe 2. Bestimmung des Strömungsleitwerts eines Metallrohres

Der erste „richtige“ Versuch besteht darin, den Strömungsleitwert eines normalen Metall-Rohrs mit Innendurchmesser 2mm zu bestimmen. Dafür wird der Wellenschlauch, der vorher in die Apparatur eingebaut war, mit dem zu untersuchenden Rohr ausgetauscht und später wieder zurückgetauscht.

Ist das Rohr ausgetauscht, kann „gleichzeitig“ an den Messstellen T1 und T2 der Druck auf der Ansaug- beziehungsweise auf der Rezipientenseite gemessen werden.

Für den Strömungsleitwert gilt

$$\begin{aligned} C &= \frac{q}{\Delta p} \\ &= \frac{p_A \cdot S}{p_R - p_A} \end{aligned}$$

mit

$$S = \frac{dV}{dt} = -\frac{\dot{p}}{p} \cdot V$$
$$\Rightarrow \frac{S}{V} \cdot (t - t_0) = -(\ln(p) - \ln(p_0))$$
$$\Rightarrow \ln(p) = -\frac{S}{V} \cdot t + \frac{S}{V} \cdot t_0 + \ln(p_0)$$

So ergibt sich

$$S = -m \cdot V$$

,wobei m die Steigung der Geraden ist, die sich ergibt, wenn man den logarithmierten Druck $\ln(p)$ über die Zeit t aufträgt.

Damit ergibt sich für den Strömungsleitwert

$$C = \frac{-m \cdot V \cdot p_A}{p_R - p_A}$$

[Quelle: Musterprotokoll SS2010 Maximilian Löschner und Benedikt Prunsche]

Aufgabe 3. Bestimmung des druckabhängigen Saugvermögens $S(p)$ der Drehschieberpumpe

Als nächstes soll das druckabhängige Saugvermögen $S(p)$ der Drehschieberpumpe ermittelt werden.

Dafür soll die Apparatur wieder mit der Drehschieberpumpe evakuiert werden. Währenddessen wird der Druck $p(t)$ in Abhängigkeit von der Zeit an der Messstelle T1 bestimmt werden, zuerst in möglichst kleinen Intervallen, später dann im 15s-Takt.

Mit Hilfe der ermittelten Daten soll im Anschluss daran noch ein $S(p)$ -Diagramm erstellt werden, aus dessen linear verlaufendem Bereich noch das mittlere Saugvermögen \bar{S} bestimmt werden soll.

S ergibt sich hier analog, zum vorhergehenden Aufgabenteil.

Aufgabe 4. Bestimmung des Saugvermögens der Turbomolekularpumpe mit der Ionisationsvakuum-Messröhre

Da die Turbomolekularpumpe etwa 60s benötigt, um ihre volle Saugleistung zu erreichen, muss die Apparatur zuerst einmal teilbelüftet (ca. $2 \cdot 10^{-1} \text{ mbar}$) werden, dann erneut mit der Drehschieberpumpe evakuiert werden. Ab einem Druck von etwa $8 \cdot 10^{-2} \text{ mbar}$ wird die Turbomolekularpumpe eingeschaltet. Der Druck soll dann im 10-Sekunden-Takt bestimmt werden, womit sich wie in den beiden vorangegangenen Aufgaben das Saugvermögen bestimmen lässt.

Die hierbei wirkende Kraft F , ergibt sich aus dem Produkt aus der Oberfläche A der Glasglocke und der Druckdifferenz Δp zwischen dem normalen Raumluftdruck und dem Luftdruck im Rezipienten.

$$\Rightarrow F = A \cdot \Delta p = (0,11\text{m})^2 \cdot \pi \cdot 10,13 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 3,85 \text{ kN}$$

Bei diesem Druck sollte die Glasglocke entsprechend dick und stabil sein.

Aufgabe 5. Durchführung eines einstufigen, statischen Kalibrierungsverfahrens

Als nächstes soll unter Verwendung des Boyle-Mariotteschen Gesetzes ein Kalibrierungsverfahren durchgeführt werden.

Zunächst wird hierfür der Druck im Rezipienten unter Zuhilfenahme der Drehschieber- und Turbomolekularpumpe auf einen Druck von 10^{-4} mbar gesenkt, was man an Messstelle T3 ablesen kann, wie auch alle anderen erforderlichen Drücke im Laufe dieses Versuchsteils. Danach wird Ventil V2 geschlossen und die beiden Pumpen abgeschaltet. So kann kein Gas in den Rezipienten zurückströmen.

Da Ventil V3 noch geöffnet ist, herrscht im Rezipienten und im Referenzvolumen der gleiche Druck. Anschließend wird Ventil V3 geschlossen, sodass das Referenzvolumen vom Rezipienten entkoppelt ist und einzeln, durch öffnen von B2, wieder mit Gas gefüllt werden kann. Dementsprechend steigt der Druck hier wieder auf den Atmosphärendruck an.

Anschließend wird B2 wieder geschlossen und V3 geöffnet. Es stellt sich nun ein neuer Gesamtdruck in den beiden Volumina ein, da sich das Gas aus dem Referenzvolumen nun auch im Rezipienten verbreiten kann.

Nach dem idealen Gasgesetz

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

sollte sich der Druck bei diesem Vorgang linear mit jedem Iterationsschritt erhöhen, da V , R und T konstant bleiben und somit der Druck dem Zuwachs der Teilchenzahl entsprechend steigt. Der Vorgang wird so oft wiederholt, bis der Druck im Rezipienten wieder auf 80 mbar angestiegen ist.

Aufgabe 6. Bestimmung der elektrischen Durchschlagfestigkeit im Vakuum

Zu Beginn wird die Durchschlagfestigkeit bei 1000mbar zwischen zwei Metallkugeln im Rezipienten ermittelt. Um dann die Durchschlagfestigkeit im Vakuum zu bestimmen, wird mittels der Drehschieberpumpe der Druck im Rezipienten auf 500mbar abgesenkt, das Ventil V1 geschlossen und die Spannung wieder so lange erhöht, bis ein Überschlag festzustellen ist. Hier dürften Lichtbögen zu sehen sein, wenn man keine zu starken Spannungen anlegt.

Dann wird der Druck wieder auf die Hälfte reduziert und der Vorgang wiederholt, bis man einen Druck von 0,05mbar erreicht.

Jetzt wird noch zusätzlich die Turbomolekularpumpe zugeschaltet, der Rezipient direkt bis zu einem Druck von $2 \cdot 10^{-4} \text{mbar}$ evakuiert und Ventil V2 geschlossen. Durch Lecks in der Apparatur strömt nun stetig so viel Gas in den Rezipienten, dass die Spannung stetig erhöht werden muss, um einen Überschlag feststellen zu können. In diesem Bereich werden auch Glimmentladungen auftreten.

Die hieraus resultierenden Ergebnisse sollen im Anschluss daran beschrieben, skizziert und diskutiert werden. Für die Luft- und Raumfahrtindustrie haben die weit niedrigeren Überschlagsspannung bei geringen Drücken eine immense Bedeutung, da elektrische Bauteile hier besonders stark gegen Überschlagsspannungen geschützt werden müssen oder es zu einer Katastrophe kommen kann.

Aufgabe 7. Aufdampfen einer Indium-Schicht durch eine Kreisscheibe auf eine Plexiglasscheibe bei drei verschiedenen Drücken

Die letzte Aufgabe besteht darin, bei verschiedenen Drücken p von etwa 10^{-5}mbar , 10^{-3}mbar und 10^{-2}mbar einen einfachen Fleck Indium auf eine schwenkbare Kreisscheibe aufzudampfen.

Hierbei sollen der benötigte Heizstrom und die Randschärfe der Flecken beobachtet und die Resultate im Anschluss diskutiert werden.

Dabei muss man höchste Vorsicht walten lassen, da ansonsten das Verdampfungsschiffchen zerstört wird.

Es ist zu erwarten, dass der zur Verdampfung benötigte Heizstrom mit sinkendem Druck ebenfalls abnimmt, da die Indiumatome bei erniedrigtem Druck leichter in die Gasphase übertreten können. Ebenfalls dürfte die Randschärfe der Flecke mit steigendem Druck abnehmen, da viel mehr Hitze benötigt wird, um das Indium verdampfen zu lassen, was aber auch dazu führt, dass viel mehr Hitze unkontrolliert in den Raum abgestrahlt wird, welche dann in den Randbereichen des Flecks zu Unschärfe führt.

Aufgabe 8. Aufbereitung der Apparaturen

Zum Abschluss sollen die Apparaturen wieder so hergerichtet werden wie man sie vorgefunden hat, das heißt die Glasglocke und Plexiglasscheibe müssen gereinigt und das Aufdampfschiffchen wieder mit Indium bestückt werden.

Um die Glasglocke reinigen zu können, muss diese natürlich abgenommen werden, was bedeutet, dass sie vorher erst einmal belüftet und anschließend wieder evakuiert werden muss.

III. Quellen

I Internetliteratur zum Praktikumsversuch Vakuum <http://cms-ka.fzk.de/praktikum-restricted/Physiker-Literatur/P2/Lit-Vakuum.pdf>

II Praxishilfe zum Praktikumsversuch Vakuum

III Musterprotokoll SS2010 Maximilian Löschner und Benedikt Prunsche

IV Vorlesungsskript Prof. G. U. Nienhaus Experimentalphysik III WS 2011/12 Kallsruher Institut für Technologie

V <http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Hauptseite>

1 <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rotary-vane-pump.svg&filetimestamp=20100209151607>

2 http://www.chemgapedia.de/vsengine/media/vsc/de/ch/3/anc/masse/2_massenspektrometer/2.2_vakuumsystem

3 http://www.vias.org/tmanalytik_germ/img/hl_diffpumpe.png

4 <http://www.haustechnikdialog.de/SHKwissen/Images/laminar-turbulent-stromber-gymnasium.jpg>