

F70/71 Mechanik und Vakuum

Im ersten Abschnitt finden Sie Leitbegriffe und Stichworte zum Versuch *Mechanik und Vakuum*. Diese Sammlung ist keineswegs vollständig und ausreichend für Durchführung und Ausarbeitung des Versuchs. Bitte konsultieren sie zur Vorbereitung zusätzlich einschlägige Literatur wie z.B. [1] oder die gängigen Lehrbücher zur Experimentalphysik wie z.B. [2], [3]. Hilfreich können auch die Kataloge der Hersteller von Vakuumkomponenten sein: beispielsweise [4], [5], [6] und viele andere.

Der zweite Abschnitt gibt Ihnen das Mindestprogramm vor, dass während des Versuchs erarbeitet werden soll. Neben den Grundlagen der Vakuumtechnik lernen Sie den Umgang mit der Mechanik eines übersichtlich gehaltenen und dennoch prototypischen Laboraufbaus.

Im dritten Abschnitt finden Sie einen Vorschlag zur Versuchsplanung.

1 Allgemeines zur Vakuumtechnik

1.1 Druckbereiche

Man unterscheidet folgende Druckbereiche (nach DIN 28400):

Großvakuumgebiet	1000 bis 1 mbar
Feinvakuumgebiet	1 bis 10^{-3} mbar
Hochvakuumgebiet (HV)	10^{-3} bis 10^{-6} mbar
Ultravakuumgebiet (UV)	10^{-6} bis 10^{-9} mbar
Ultrahochvakuumgebiet (UHV)	$< 10^{-9}$ mbar

Wie groß ist die Kraft auf einen Quadratmeter bei einer Druckdifferenz von Atmosphärendruck? Nehmen Sie an, Sie hätten eine Vakuumkammer auf 1 mbar evakuiert. Ist die mechanische Stabilität der Kammer groß genug, dass man Sie auf $< 10^{-12}$ mbar evakuieren kann? Wo braucht man Ultrahochvakuum?

1.2 Mittlere freie Weglänge

Die *mittlere freie Weglänge* (oder auch nur *freie Weglänge*) ist die Strecke, die ein Gas teilchen im Mittel zwischen zwei Zusammenstößen zurücklegt. Eine einfache elementare

Rechnung ergibt

$$\bar{l} = \frac{1}{n \cdot \sigma_{\infty}} \quad (1)$$

mit der Teilchenzahldichte n und dem Wirkungsquerschnitt σ_{∞} . Für Luft gilt die Faustformel $\bar{l} \cdot p \approx 6.65 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{mbar}$.

1.3 Saugvermögen S

Unter *Saugvermögen* S versteht man das pro Zeiteinheit von einer Pumpe geförderte Gasvolumen V_a , gemessen beim Druck p_a an der Saugseite der Pumpe.

$$S = \frac{dV_a}{dt} \quad (2)$$

bzw. falls zeitliche Konstanz vorliegt $S = V_a/t$.

1.4 Saugleistung Q

Unter Saugleistung versteht man die von der Pumpe pro Zeiteinheit geförderte Gasmenge

$$Q = S \cdot p_a \quad (3)$$

Der Begriff der Saugleistung ist in der Praxis von großer Bedeutung und dient z.B. dazu, bei einem gegebenen Problem zu berechnen, welche Vorpumpe zu einer Hochvakuumpumpe gewählt werden muss.

Der Druck im Rezipienten wird bestimmt durch den einströmenden Gasfluss Q_{ein} und der Saugleistung der Pumpe (=ausströmender Gasfluss) und ist daher ein *Gleichgewichtszustand*. Q_{ein} wird verursacht durch Lecks in der Apparatur *und* durch Desorption von Gasen von den Innenwänden (=Pseudoleck).

1.5 Leitwert L

Beim Evakuieren eines Rezipienten über ein Rohr oder eine Blende, beziehungsweise über eine Kombination von beiden, stellen diese für die zur Pumpe gerichtete Gasströmung einen bestimmten Widerstand W dar. Vor und nach dem Hindernis stellen sich verschiedene Drücke ein. Der Druckunterschied Δp ist proportional zur Saugleistung Q

$$\Delta p = W \cdot Q \quad (4)$$

$$\Delta p \cdot L = Q \quad (5)$$

$\frac{1}{W} = L$ heisst der *Leitwert* des Rohres oder der Blende. Der Leitwert ist eine vakuumtechnisch sehr wichtige Grösse. Sie ist z.B. dafür bestimmend, welches effektive Saugvermögen sich an einem zu evakuierenden Volumen ergibt, wenn die absaugende Pumpe nicht unmittelbar, sondern über ein System von Rohrleitungen, Ventilen, Kühlfallen, ... an das Volumen angeschlossen ist.

In Analogie zum OHMSchen Gesetz der Elektrizitätslehre ist es üblich geworden durch Einführung des Strömungswiderstandes $W = 1/L$ ein „OHMSches“ Gesetz der Vakuumtechnik zu formulieren

$$Q = \frac{\Delta p}{W} \quad \left(I = \frac{U}{R} \right) \quad (6)$$

Weiterhin gilt:

Die Leitungswiderstände addieren sich in der Vakuumtechnik in gleicher Weise wie Widerstände in der Elektrizitätslehre nach den KIRCHHOFFschen Regeln. Das heisst für Serienschaltung $W_{\text{gesamt}} = \sum_{i=1}^n W_i$ und im Falle der Parallelschaltung $L_{\text{gesamt}} = \sum_{i=1}^n L_i$.

Bei der Berechnung des Leitwerts für ein langes Rohr ($l \gg r$) oder einer Blende ($l \ll r$) aus ihren Abmessungen muss man die Art der Strömung berücksichtigen, die im Rohr oder der Blende herrscht. Das Kriterium zur Unterscheidung ist, ob die *mittlere freie Weglänge* eines Gasteilchens sehr viel kleiner, vergleichbar oder sehr viel größer als der Durchmesser der Leitung ist.

Man unterscheidet:

- Viskose oder Kontinuums-Strömung: $2 \cdot r \cdot p \geq 0.5 \text{ mbar} \cdot \text{cm}$
- KNUDSEN-Strömung im Zwischengebiet: $0.01 < 2 \cdot r \cdot p < 0.5 \text{ mbar} \cdot \text{cm}$
- Molekularströmung: $2 \cdot r \cdot p \leq 0.01 \text{ mbar} \cdot \text{cm}$,

wobei r der Radius des Rohres oder der Blende und p der Druck ist.

Im Fall der laminaren Kontinuumsströmung berechnet sich der Leitwert nach der Formel von HAGEN-POISEUILLE

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p}{8 \cdot \eta \cdot l} \quad , \quad (7)$$

wobei l die Länge des Rohres, r dessen Radius, η die Viskosität des Gases, $\Delta p = p_1 - p_2$ die Druckdifferenz zwischen den Rohrenden ist. V bezeichnet das Volumen, t die Zeit. Damit erhält sofort für den Leitwert eines Rohres

$$L = \frac{\pi}{8} \cdot r^4 \cdot \frac{\bar{p}}{\eta \cdot l} \quad (8)$$

mit $\bar{p} = (p_1 + p_2)/2$.

Im Fall der Molekularströmung überwiegt die Anzahl der Stöße der Gasmoleküle an die

Wand die der Gasteilchen untereinander. Der Gastransport läuft nun diffusiv ab. Für den Leitwert eines Rohres gilt

$$L = \frac{8}{3} \cdot \frac{r^3}{l} \sqrt{\frac{\pi \cdot R \cdot T}{2 \cdot M}} \quad (9)$$

mit der Gaskonstanten R , Temperatur T und Molekulargewicht M . Diese Formel gilt allerdings nur für ideal glatte Wände. In der Praxis erwartet man daher immer einen etwas kleineren Leitwert.

Verbindet eine Blende zwei Gebiete verschiedenen Drucks, so findet ein effektiver Gastransport von $Q = \Delta p \cdot S = \Delta p \cdot F \cdot \bar{\mu}$. Dabei bezeichnet F die Querschnittesfläche der Blende, $\bar{\mu}$ die mittlere Geschwindigkeit der Gasteilchen.

Für den Leitwert gilt

$$L = \frac{Q}{\Delta p} = F \cdot \frac{\bar{\mu}}{4} \quad (10)$$

Mit $F = \pi \cdot r^2$ und $\bar{\mu} = \sqrt{\frac{8 \cdot R \cdot T}{\pi \cdot M}}$ erhält man bei $T = 293 \text{ K}$ für Luft

$$L = 362 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot r^2 \quad (11)$$

Bemerkung: In all den angegebenen Formeln kommt der Radius r in zweiter, dritter und vierter Potenz vor. Das bedeutet für die Praxis, dass Vakuumleitungen immer einen *maximalen Durchmesser* haben sollten, um den Leitungswiderstand gering zu halten.

1.6 Pumpentypen

- Verdrängerpumpen
 - Kolbenpumpe
 - Drehschieberpumpe
 - Flüssigkeitsringpumpe
 - Rootspumpe
 - ...
- Treibmittelpumpen z.B. Öldiffusionspumpe
- Molekularpumpen
 - Turbomolekularpumpe
 - Molekularpumpen (z.B. GAEDE-Pumpe, HOLWECK-Pumpe)

- Verbund- oder Hybridpumpen
- Sorptionspumpen z.B. Kohlepumpe, Zeolith-Pumpe, Getterpumpe (Ti-Getter), Ionenzerstäuberpumpe
- Kryopumpen, Kühlfallen

1.7 Vakuum-Messgeräte

- offene Flüssigkeitsmanometer, U-Rohr-Manometer
- Kompressions-Vakuummeter nach MCLEOD
- Mechanische Vakuummeter: z.B. BOURDON-Rohr, Kapselfedermanometer, Kapazitätsvakuummeter, piezoelektrische Vakuummeter, Reibungsvakuummeter mit einer rotierenden Kugel
- Wärmeleitungsvakuummeter (PIRANI-Vakuummeter)
- Ionisationsvakuummeter: z.B. Kaltkathodenvakuummeter nach PENNING und Glühkathodenvakuummeter nach BAYARD-ALPERT

1.8 Vakuum-Apparaturen

- Werkstoffe (typisch)
 - Edelstähle (kohlenstoffarm)
 - Messing (nicht für UHV, da beim Ausheizen Zink ausdampft)
 - Glas (für Sichtfenster, elektrische Durchführungen, ...)
 - Keramik (z.B. Oxidkeramiken wie Al_2O_3)
- Flanschsysteme
 - Kleinflansch (KF-Flansch)
 - Klammerflansch (K-Flansch)
 - Conflat-Flansch (CF-Flansch)
 - Schraubflansch
- Dichtungen

- gummielastische Kunststoffe (z.B. Viton, Perbunan)
- Metалldichtungen (Al, Cu, Ag, Au, In für tiefe Temperaturen), für UHV entgaste Metalle
- Schliff mit Vakuumfett (z.B. bei Glasapparaturen wie Exsikkatoren)
- Verbindungen
 - Metall-Metall-Verbindungen durch Schweissen
 - Metall-Metall-Verbindungen durch Löten (Hart- und Weichlöten)
 - Kleben (Epoxidkleber)
 - Metall-Glas-Verbindungen durch Aufschmelzen von Glas auf Wolframoxid
 - Metall-Keramik-Verbindungen durch Hartlöten
 - Aufsprengen (Kaltverschweissen)

1.9 Symbole in der Vakuumtechnik

Siehe Beiblatt!

2 Versuchsdurchführung

2.1 Drehschieberpumpe

Machen Sie sich mit der Funktionsweise einer Drehschieberpumpe vertraut. Der Arbeitszyklus einer solchen Pumpe lässt sich in vier Schritte gliedern: Ansaugen, Abschließen, Verdichten, Ausstoßen. Dieser Pumpentyp ist einer der gängigsten im Grob- und Feinvakuumbereich und dient als Vorpumpe für Hoch- und Ultrahochvakuum pumpen, die selbst nicht gegen den Atmosphärendruck arbeiten können. Evakuieren Sie mit der zweistufigen Vorpumpe den Edelstahlrezipienten. Dazu folgendes Vorgehen: Schalten Sie die Drehschieberpumpe an und öffnen Sie dann das Eckventil an der Pumpe. Beobachten Sie den Druck am Röhrenfedermanometer und am Piranimanometer.

Welcher Enddruck stellt sich ein? Warum ist kein besseres Vakuum erreichbar (Tip: Freie Weglänge)? Belüften Sie abschließend die Apparatur. Dazu schließe man das Eckventil (Pumpe laufen lassen.) und öffne die Belüftungsschraube an der Turbopumpe. Nachdem die Apparatur vollständig belüftet ist (Röhrenfedermanometer) kann der KF50-Blindflansch an der Oberseite der Vakuumkammer abgenommen werden.

2.2 Abpumpen kondensierbarer Dämpfe

Das Abpumpen kondensierbarer Dämpfe, z.B. Wasserdampf mit einer Drehschieberpumpe ist problematisch, da bei Kompression des Dampfes Verflüssigung eintreten kann. Daher kann die Pumpe den Dampf nicht über Atmosphärendruck komprimieren und folglich nicht ausstoßen. Um dies zu beobachten füllen Sie die Aluminiumschale mit einigen Millilitern Wasser und stellen Sie diese in den Rezipienten. Den Aufbau entnimmt man Abb. 1.

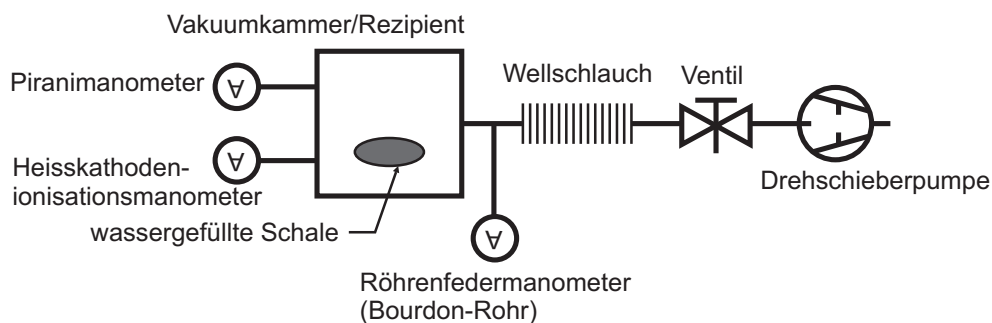


Abbildung 1: Vakuum-Blockschaltbild zum Versuch des Abpumpens kondensierbarer Dämpfe.

Skizzieren Sie im folgenden in der Art solcher Blockschaltbilder die von Ihnen benutzten Aufbauten. Verschließen Sie den Rezipienten mit dem KF50-Flansch und pumpen Sie mit der Drehschieberpumpe den Rezipienten aus.

Welcher Druck stellt sich ein? Wieso? Warum zuckt die Druckanzeige des Piraniinstruments hin und wieder zu größeren Werten? Schalten Sie nun den Gasballast ein. Dies bewirkt, dass die Drehschieberpumpe nach dem Abschließen des Pumpvolumens mit Luft von aussen beladen und gespült wird. Damit wird Verflüssigung des Dampfes vermieden und die Pumpe kann diesen wieder pumpen. Man beobachte den Druck. *Wieso fällt er langsam ab?*

2.3 Molekular- und Turbomolekularpumpe

Wie Sie eingangs gesehen haben, liegt der Enddruck einer typischen Drehschieberpumpe im Bereich von etwa 10^{-2} mbar. Für bessere Vakua nutzt man Hochvakuumumpen wie beispielsweise Turbomolekularpumpe. Ist die freie Weglänge groß genug (einige cm) so sind nur noch Wandstöße relevant. Bewegt man nun in geeigneter Weise die Wand schnell genug, d.h. mit thermischer Geschwindigkeit, hat man die Möglichkeit, Gasteilchen zu befördern, also zu pumpen. Um diesen Prinzip nutzen zu können braucht man eine Pumpe, eine sog. Vorpumpe, die den Druck soweit erniedrigt, dass die freie Weglänge im Zentimeter-Bereich

zu liegen kommt, z.B. eine Drehschieberpumpe. Das Prinzip der schnell bewegten Wand wird bei Holweck- oder Gaedepumpen realisiert. Die Turbomolekularpumpe arbeitet dagegen nach dem Tischtennisschlägerprinzip (siehe Wandtafeln und Anschauungsmaterial zur Turbopumpe). Die von uns eingesetzte Pumpe ist eine Hybridpumpe bestehend aus einer Turbo- und einer Gaedestufe. Evakuieren Sie nun die Vakuumkammer mit der Vorpumpe auf etwa 10^{-2} mbar. Schalten Sie nun die Turbomolekularpumpe (TMP) zu. Es dauert einige Zeit bis die TMP hochgelaufen ist. Welche typische Drehzahl hat der Rotor einer solchen Pumpe? Wieso? Beobachten Sie die Druckanzeige des Piranimanometers? Wieso ist das Piranimanometer nicht geeignet unterhalb etwa 10^{-3} mbar zu messen?

Schalten Sie das Heisskathodenvakuummeter zu. *Welchen Enddruck erreicht die TMP? Warum dauert es so lange bis ein niedriger Druck erreicht ist? Wie kann dieser Vorgang beschleunigt werden?* Zum Abschluss des Versuchs schalten Sie die TMP aus und öffnen bei laufender Vorpumpe vorsichtig das Belüftungsventil der TMP. Dadurch wird diese abgebremst. Der Bremsvorgang dauert etwa 1 bis 2 Minuten. Kontrollieren Sie hin und wieder durch kurzes Einschalten des Netzgerätes der TMP deren Drehzahl (Bargraphanzeige). Leuchtet nur noch ein Segment kann das Belüftungsventil ganz aufgedreht werden, das Eckventil geschlossen und als letztes die Vorpumpe ausgeschaltet werden. Diese Art der Belüftung stellt sicher, dass kein Öldampf aus der Vorpumpe in die Vakuumkammer gelangen kann.

2.4 Saugvermögen der TMP

Zur Messung des Saugvermögens der TMP wird bei belüfteter Apparatur ein Dosierventil mit Aufnahme für Glasmesskapillaren an der Vakuumkammer angeflanscht. Der Druck wird gemessen durch ein Piranimanometer und ein Heisskathodenmanometer. Bei geschlossenem Dosierventil wird die Kammer auf einen Druck im Bereich von 10^{-6} mbar evakuiert. Wegen des desorbierenden Wassers (Pseudoleck) von den Innenflächen der Kammer dauert dies einige Zeit. Daher ist es günstig entweder über Nacht zu pumpen oder am Vormittag mit dem Pumpen zu beginnen. Hat man ein gutes Endvakuum erreicht, messe man das Saugvermögen: Man steckt in die Kapillarenfassung eine geeignete Messkapillare und öffnet das Dosierventil etwas. Der Druck muss nun auf einen neuen Gleichgewichtswert ansteigen. Unter Annahme der Kontinuität ist die Anzahl der durch die Kapillare eingesaugten Luftmoleküle gleich der Anzahl der durch die Pumpe abgezogenen. Man bringt einen kleinen Tropfen Seifenwasser an die Ansaugöffnung der Kapillaren. Dieser wird in die Kapillare hineingezogen. Man misst das angesaugte Volumen pro Zeit (Stoppuhr). Bevor der Tropfen in die Apparatur gelangt, schließt man das Absperrventil des Dosierventils. Mit Druckluft kann die abgezogene Kapillare getrocknet werden.

Unter Nutzung der idealen Gasgleichung erhält man sofort das Saugvermögen bzw. die Saugleistung. Man wiederholt die Messung bei verschiedenen Drücken (Vorschlag: 2 Messpunkte pro Dekade im Druck) im Rezipienten, beginnend beim Basisdruck bis zu etwa 1 mbar . Bei den höchsten Drücken ist die Volumenmessung mit der Tropfenmethode mangelhaft. Daher nutzt man hier einen Kolbenprober, der anstelle der Kapillare eingesetzt wird. Um beide Methoden zu vergleichen, messe man mindestens zwei Punkte mit beiden Methoden.

Zur Auswertung trage man das gemessene Saugvermögen als Funktion des Logarithmus des Drucks auf und diskutiere den Verlauf. Wo liegen die Schwächen dieser Messmethode? Gibt es systematische Probleme? Wie könnte man die Genauigkeit der Messungen erhöhen?

2.5 Leitwert von Rohr und Blende

Zur Messung des Leitwerts eines Rohres – zur Auswahl stehen Rohre verschiedener Durchmesser – befestigen Sie zunächst das Halterrohr am unteren Flansch auf dem Deckel der Vakuumkammer. Das obere Rohrende wird zunächst mit der Rohrschelle nur locker fixiert. Erst nach dem Festschrauben des unteren Flansches wird das Halterrohr endgültig fixiert (Hebelwirkung!). In das Halterrohr stecken Sie das zu vermessende Rohr. Vorher Durchmesser und Länge feststellen! Das Halterrohr wird am oberen Ende mit dem Deckelflansch verschlossen, an den Sie ein Dosierventil, ein Pirani-Manometer und ein Heisskathodenionisationsvakuummeter anflanschen. Denken Sie daran, dass der gesamte Kopf auch mit angeflanschten Messgeräten abnehmbar sein soll (Zugänglichkeit der Schrauben!).

An der Kammer selbst messen Sie mit der zweiten Druckmessgarnitur (Pirani+Heisskathode) ebenfalls den Druck. Evakuieren Sie nun die Apparatur auf einen Druck direkt an der Kammer von etwa 10^{-5} mbar (Basisdruck) oder besser (Zeitfrage). Die Druckdifferenz zwischen den Rohrenden treibt einen Massestrom durch das Rohr. Unter Annahme der Kontinuität und dem zuvor bestimmten Saugvermögen können Sie leicht den Masse- und Volumenstrom und damit den Leitwert des Rohres messen. Messen Sie zwischen dem Basisdruck und etwa 10 mbar . Belüften Sie die Apparatur. Wiederholen Sie die Messung für eine Blende und für die Serienschaltung von Rohr und Blende. Tragen Sie die Leitwerte als Funktion des Logarithmus des Druck auf. Woher kommt der Anstieg zu kleinen Drücken? Wieso findet ein Anstieg zu großen Drücken statt? Überprüfen Sie die Kirchhoff-Regeln für Leitwerte bzw. Strömungswiderstände in der Vakuumtechnik anhand Ihrer Messungen im mittleren Druckbereich.

2.6 Lecksuche

Die Lecksuche gehört zu den (oftmals leidigen) Pflichten in der Vakuumtechnik. Lecks können an verschiedenen Stellen einer Vakuumapparatur auftreten: Flansche, Schweißnähte, Lötstellen, Materialfehler, Risse, etc. Zudem kommen „Lecks von innen“ z.B. Ausgasen von Metallen, Kunststoffen. Wir wollen uns im folgenden mit Lecks beschäftigen, die sozusagen als „Loch“, als Verbindung zwischen Atmosphäre und Apparatur auftreten.

Um Lecksuchtechniken anzuwenden, stellen wir ein künstliches Leck her. Lassen Sie sich vom Assistenten diesbezüglich einweisen: Ziel ist es, aus einem Glasrohr über der Gasbrennerflamme eine sehr dünne Glaskapillare zu ziehen. Tun Sie dies mit Gefühl und vorsichtig. Tragen Sie dabei immer eine Schutzbrille und achten Sie auf scharfe Kante an den Glasstücken (Verletzungsgefahr). Bedenken Sie, dass das erhitzte Glas zwar die Wärme schlecht leitet, dennoch aber eine nicht zu vernachlässigende Wärmekapazität hat! Verbrennen Sie sich nicht die Finger! Anschließend wird die Kapillare abgelängt (möglichst kurz aus Stabilitätsgründen) und in einen Aluminiumkleinflansch mit Zweikomponentenkleber eingeklebt. Wieso nutzt man Zweikomponentenkleber? Flanschen Sie das selbstgebaute Leck an die Vakuumkammer und evakuieren Sie auf möglichst kleinen Druck unter Nutzung der TMP. *Welcher Enddruck stellt sich ein? Vergleichen Sie mit ihren Messungen der vergangenen Tage. Macht sich das Leck deutlich bemerkbar?*

Mit dem beiliegenden Teslatransformator können Sie versuchen in der Glaskapillare eine Gasentladung zu zünden. Dies ist eine einfache Lecksuchmethode für transparente, nichtleitenden Aufbauten und wird von Glasbläsern gerne benutzt. Wieso leuchtet der Leckkanal? Welche Voraussetzungen braucht man, damit eine Gasentladung brennen kann? Wie funktioniert ein Teslatransformator?

Der Heliumlecksucher ist das empfindlichste Gerät zur Suche und Lokalisierung von Lecks. Er arbeitet als „künstliche Nase“, die sensitiv auf Helium ist. Der Lecksucher kann direkt an dem zu messenden Objekt angeflanscht sein. Sprüht man nun Helium auf das Leck, wird dieses durch das Leck ins Innere der Apparatur gezogen und massenspektrometrisch nachgewiesen. Der Lecksucher arbeitet als massensensitives Heisskathodenionisationsvakuumeter. Je nach Art der Anordnung der Hochvakuumpumpe im Lecksuche spricht man von Instromlecksuchern bzw. von den heute gängigeren Gegenstromlecksuchern. Wir arbeiten mit einem Eigenbau-Gegenstromlecksucher (Abb. 2). Machen Sie sich mit der Funktionsweise vertraut.

Welche Aufgaben erfüllt die Molekularpumpe? Wie arbeitet ein Dipol-Massenspektrometer?

Warum nutzt man ^4He ? Welches andere Gas hat Massenzahl 4 und könnte die Messung stören?

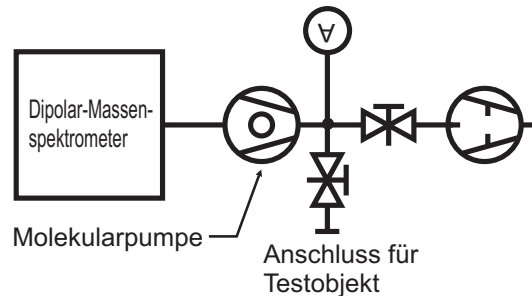


Abbildung 2: Prinzipschaltbild des im Versuch eingesetzten Gegenstromlecksuchers.

Verbindet man den Eingang des Lecksuchers mit einer Durchflussimpedanz, die beispielsweise als Kapillare an einem Schlauch ausgeführt sein kann, hat man ähnlich der eigenen Nase, das ortsungebunden „riechen“ kann, d.h. in unserem Fall nach Helium sucht. Ein solches Gerät wird als Schnüffler bezeichnet. Flutet man das zu untersuchende Gefäß mit Helium unter Überdruck, so tritt Helium an den Leckstellen aus und kann mit dem Schnüffler detektiert werden.

Schließen Sie nun den Lecksucher an die Apparatur bzw. das Leck an (Assistenten fragen) und lassen Sie sich einweisen. Srühen sie möglichst wenig Helium auf (Lokalisieren statt Einnebeln!!!). Eventuell können Sie durch geschicktes Gegenblasen mit Heliumfreier Pressluft das Leck besser lokalisieren. Tipps und Tricks verrät Ihnen der Assistent.

Welche Leckraten sind mit einem solchen Lecksucher messbar? Nehmen Sie an, ein Fahrradschlauch hätte ein Leck mit einer Leckrate von $10^{-7} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$. *Wie lang könnten Sie fahren, ohne etwas davon zu bemerken?* Man beachte, dass solche Leckraten für UHV-Apparaturen nicht tolerierbar sind.

Lassen Sie sich nun vom Assistenten ein Teststück aus dem Laboralltag geben, das Sie auf Lecks untersuchen. Wenn möglich lokalisieren Sie das Leck markieren es und dichten es provisorisch ab (Dichtknet).

3 Versuchsplanung und Protokoll

Machen Sie mit Ihrem Assistenten vorab eine Versuchsplanung. Der typische Versuchsablauf ist der folgende:

- 1. Versuchstag:** Allgemeine Einweisung in Pumpen, Vakuum-Messgeräte, Abpumpen kondensierbarer Dämpfe, Inbetriebnahme der TMP, Umbau auf Messung des Saugvermögens der TMP, Pumpen über Nacht.
- 2. Versuchstag:** Messung des Saugvermögens der TMP. Messung des Leitwertes von Rohren und Blenden.
- 3. Versuchstag:** Herstellen eines Testlecks. Einweisung in Lecksuchtechniken. Lecksuche am Testleck. Lecksuche an einem Vakuumbauteil aus dem Laboralltag.
- 4. Versuchstag:** Erste Abschlussbesprechung. Nebenbei lassen Sie sich vom Assistenten verschiedene Vakuumbauteile, Messgeräte, Pumpen bzw. deren Schaumodelle zeigen. Am Wegesrand durch das Pflichtprogramm des Versuchs liegt eine Menge interessanter Physik!

Bitte führen Sie ein sauberes Protokoll in Ihrem Laborbuch. Lose Blätter und dergleichen werden nicht akzeptiert. Protokollieren Sie alles Versuchsrelevante, das Ihnen hilft im Nachhinein den Versuchsablauf zu rekonstruieren. Darüberhinaus soll Ihr Laborbuch für andere transparent machen, was Sie getan haben.

Literatur

- [1] *Handbuch Vakuumtechnik*, Wutz, Adam, Walcher, Jousten, Vieweg (2000)
- [2] *Gerthsen Physik*, 21. Auflage, D. Meschede, Springer (2002)
- [3] *Bergmann-Schäfer, Lehrbuch der Experimentalphysik*, Bd. 1, 10.Auflage, de Gruyter
- [4] *Leybold Vakuumkomponenten Katalog*, (2000)
- [5] *Pfeiffer/Balzers Vakuum Katalog*
- [6] *Edwards Vacuum Katalog*