

# Vacuum pressure

## Stabilität-Vakuumdruckveränderung-Theorie

- [1]  $n_g$  The Refractivity of Air  
, B. Edlen, Metrologia 2, 71-80 (1966)
- [2]  $n_g$  An Updated Edlén Equation for the Refractive Index of Air  
, K. P. Birch and M. J. Downs, Metrologia 30, 155 (1993) → [für Sr-Clock-Laser-Wellenlänge]
- [3]  $n_g$  Correction to the Updated Edlén Equation for the Refractive Index of Air  
, K. P. Birch and M. J. Downs, Metrologia 31, 315 (1994) → [für 1.5µm-Wellenlänge]
- Vakuumdruckschwankungen verändern die optische Weglänge zwischen den Spiegeln, was wiederum zur Frequenzänderung und Verschlechterung der Laserstabilität führt
- Phasengeschwindigkeit mit Wellenlänge  $\lambda$  und Frequenz  $f$ :

$$n_g \cdot \lambda = c / f$$

- Brechungsindex ist für jede Frequenz unterschiedlich!
- Brechungsindex mit Phasengeschwindigkeit  $n_g$  (oder auch Lichtgeschwindigkeit im Medium  $c$ ) und der Lichtgeschwindigkeit  $c_0$  im Vakuum:

$$n = \frac{c_0}{c} = \frac{c_0}{n_g \cdot \lambda} = \frac{c_0}{\lambda \cdot f}$$

- Der Brechungsindex hängt von der Wellenlänge  $\lambda$  ab:

$$n(\lambda) = \dots$$

- Optische Weglänge zwischen den Spiegeln:  $L_{Geo}$
- Geometrische Weglänge zwischen den Spiegeln:  $L_{Opt}$

$$L_{Opt} = n \cdot L_{Geo} = \frac{c_0}{\lambda \cdot f} \cdot L_{Geo}$$

- Freier Spektralbereich:

$$FSR = \frac{c_0}{2 \cdot L_{Opt}} = \frac{c_0}{2 \cdot n \cdot L_{Geo}} = \frac{c_0}{2 \cdot n_g \cdot L_{Geo}}$$

- Der Brechungsindex hängt von dem herrschenden Drucks  $p$  im Vakuum ab mit einem idealen Brechungsindex im Vakuum von  $n_{p=0} = 1$

$$n(p) = n_{p=0} + \frac{\Delta n}{\Delta p} \cdot p = 1 + \frac{\Delta n}{\Delta p} \cdot p \Leftrightarrow n(p) - 1 = \frac{\Delta n}{\Delta p} \cdot p = \frac{n_{Atmosphäre} - n_{p=0}}{p_{Atmosphäre} - p_{vac}} \cdot p = D \cdot p$$

- Es gilt  $p_{\text{Atmosphäre}} - p_{\text{vac}} = 1 \text{ bar}$
- Verändert sich der Luftdruck/Vakuumdruck, so wird der Brechungsindex verändert beziehungsweise die Phasengeschwindigkeit:
- Zusammenhang Druck im Vakuum und Frequenz:

Falsch:  $n(p) = n \Leftrightarrow \frac{c_0}{\nu_g} = D \cdot p + 1 \Leftrightarrow \nu_g = \frac{c_0}{D \cdot p + 1}$

- Für eine Wellenlänge von  $\lambda = 1.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  erhält man  $D = 2.7 \cdot 10^{-7} / \text{mbar}$  nach [3] oder über die Seite [Refractive Index of Air Calculator](#):

$n - 1 = D \cdot p = 2.7 \cdot 10^{-7} / \text{mbar} \cdot p \rightarrow \frac{\Delta \nu}{\nu} = D \cdot \Delta p = 2.7 \cdot 10^{-7} / \text{mbar} \cdot \Delta p$

- Fundamentales Limit des Resonators liegt bei  $\sim 3 \cdot 10^{-17}$

$\rightarrow \frac{\Delta \nu}{\nu} = 3 \cdot 10^{-17} > 2.7 \cdot 10^{-7} / \text{mbar} \cdot \Delta p \rightarrow \Delta p < 1.11 \cdot 10^{-10} \text{ mbar}$

## Vakuumdruckschwankungen-Ursache

- **Verunreinigungen**
  - Öl und Fett durch Bearbeitung
- Leistungsschwankungen der Ion-Getter-Pumpen
- **Leckrate** ist ein Gasfluss, dieser durch Undichtigkeit in das Vakuumsystem einströmt
- Ausgasung von den Oberflächen (= **Desorption**)
  - Desorption bezeichnet den Vorgang, bei dem Atome & Moleküle die Oberfläche eines Festkörpers verlassen.
  - Außer Wasser können auch noch andere Stoffe (Öl) an Oberflächen adsorbiert werden. Es diffundieren ebenfalls Stoffe aus den Metallwänden heraus, die man im Restgas nachweisen kann.
  - Bei Betrieb unterhalb  $10^{-6} \text{ mbar}$  erhält die Desorption von **Kunststoffoberflächen**: Insbesondere bei Dichtungen, größere Bedeutung. Kunststoffe geben hauptsächlich die in ihnen gelösten Gase ab, die zunächst an die Oberfläche diffundieren müssen. Nach längeren Abpumpzeiten kann daher die Desorption aus Kunststoffen über die der Metalloberflächen dominieren. Die Oberfläche der Dichtungen ist verhältnismäßig klein, die zeitliche Abnahme der Desorptionsrate ist jedoch langsamer als bei Metalloberflächen. Näherungsweise kann davon ausgegangen werden, dass die zeitliche Abnahme mit der Wurzel aus der Zeit erfolgt.
  - Temperaturschwankungen am Resonator beziehungsweise der Wärmeschilde können in Abhängigkeit der Temperatur zu exponentiellabhängigen Ausgasraten der Oberflächen führen
    - Kondensieren und Verdampfen von zum Beispiel Wasser
- **Permeation**, dieser Prozess ist erst ab einem Druck von  $10^{-8} \text{ mbar}$  bemerkbar. Er beschreibt, dass kleine Gasmoleküle, wie zum Beispiel Helium, durch Diffusion Dichtungen und Metallwände

durchdrängen können. Er ist zeitunabhängig und führt konstant zu einer Erhöhung des Enddrucks.



Deshalb packt man aus!

## Fundamentale Limitierung der Vakuum-Regelung

- Das Verhältnis zwischen der Pumpe und allen Effekten, die den Vakuumdruck erhöhen (Leck, Desorption, Permeation, etc.) und dem Vakuumsystem (Aufbau, Röhren, Blenden, etc.).

## Exkurs Vakuum

### Literatur

- Vakuum Technology, Know How von Pfeiffer Vacuum (08.02.2018)
- Grundlagen der Vakuumtechnik von Dr. Walter Umrath (08.02.2018)
- Wutz Handbuch Vakuumtechnik, Springer Verlag



„Vakuum heißt der Zustand eines Gases, wenn in einem Behälter der Druck des Gases und damit die Teilchenzahldichte niedriger ist als außerhalb oder wenn der Druck des Gases niedriger ist als 300 mbar, d. h. kleiner als der niedrigste auf der Erdoberfläche vorkommende Atmosphärendruck“

– DIN 28400 Teil 1 (Mai 1990): Vakuumtechnik; Benennungen und Definitionen; Allgemeine Benennungen.

### Druck

- Druck:  $p$  [mbar]
- Volumen:  $V$  [m<sup>3</sup>]
- Zeit:  $t$
- Teilt man die allgemeine Gasgleichung durch die Zeit  $t$ , so kommt man auf den Gasstrom  $q_{pV}$ :

$$q_{pV} = \frac{p \cdot V}{t}$$

- Für den Gesamtdruck  $p_{Ges}$  gilt das Gesetz von Dalton:

$$p_{Ges} = \sum_{i=1}^n p_i$$

## Saugvermögen/Saugleistung

- Saugleistung der Pumpe, diese ein konstantes Saugvermögen hat, fördert ein konstanten Volumenstrom:  $S$

$$S = \frac{dV}{dt}$$

- Wird das Saugvermögen mit dem Eingangsdruck multipliziert, so erhält man die Saugleistung einer Pumpe. Die Saugleistung gibt den transportierten Gasstrom einer Vakuumpumpe an:

$$q_p = S \cdot p = \frac{dV}{dt} \cdot p$$

## Mittlere freie Weglänge

- Die mittlere freie Weglänge ist die mittlere Wegstrecke  $\overline{l}$ , die ein Teilchen zwischen zwei aufeinander folgenden Stößen mit anderen Teilchen zurücklegt.
  - Moleküldurchmesser:  $d_m$
  - Temperatur:  $T$
  - Boltzmannkonstante:  $k$

$$\overline{l} \cdot p = \frac{k \cdot T}{\pi \sqrt{2} \cdot d_m^2}$$

- Sie gibt die verschiedenen Strömungsarten des Gases im Vakuum an:
  - Kontinuumströmung:  $K_n < 0,01 \rightarrow$  Grobvakuum ( $p = 10^3 - 10^0$  mbar, mit  $\overline{l} \ll d$ )
  - Knudsenströmung:  $0,01 < K_n < 0,5 \rightarrow$  Feinvakuum ( $p = 10^0 - 10^{-3}$  mbar, mit  $\overline{l} \approx d$ )
  - Molekulare Strömung:  $K_n > 0,5 \rightarrow$  Hochhochvakuum ( $p = 10^{-3} - 10^{-7}$  mbar, mit  $\overline{l} > d$ ) und Ultrahochvakuum ( $p < 10^{-7}$  mbar, mit  $\overline{l} \gg d$ )
- mit der Knudsenzahl:  $K_n$ 
  - Durchmesser der Blende:  $d$

$$K_n = \frac{\overline{l}}{d}$$

- Für Knudsenzahlen über 0,5 gibt es keine Wechselwirkung zwischen den Teilchen untereinander. Es herrscht Molekularströmung.



Entsprechend der Einordnung der Strömungsarten, wird im folgenden Abschnitt nur noch der Fall für die Molekularströmung beziehungsweise des Ultrahochvakuums betrachtet!

## Mittlere thermische Geschwindigkeit

- Mittlere Teilchengeschwindigkeit:  $v^{\text{Dach}}$
- Masse der Atome/Moleküle:  $m_T$

- Temperatur: T

$$\overline{v} = \sqrt{\frac{8}{\pi} \cdot \frac{k \cdot T}{m_T}}$$

## Leitwerte

- Durch äußerer Reibung (Gasteilchen mit Wandflächen) und innerer Reibung (Gasteilchen mit Gasteilchen) kommt es zu Strömungswiderstände R. Diese Strömungswiderstände führen zu Druckunterschiede und Saugvermögenverlusten.
- Durch den Gasstrom durch eine Leitung ergibt sich eine Druckdifferenz  $\Delta p$  zwischen den den Leitungsenden:
  - Druck am Eintritt der Rohrleitung:  $p_1$
  - Druck am Ausgang der Rohrleitung:  $p_2$

$$q_{pV} = C \cdot \Delta p \Leftrightarrow C = \frac{q_{pV}}{\Delta p} = \frac{q_{pV}}{p_1 - p_2}$$

- Normalerweise benutzt man anstatt des Strömungswiderstandes R deren Kerhrwert: C [l/s] oder  $[m^3/h]$

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

- Bei einer Parallelschaltung von Vakuumkomponenten addieren sich die einzelnen Leitwerte:

$$C_{Ges} = \sum_{i=1}^{n=Ges} C_i$$

- Bei einer Reihenschaltung addieren sich ihre Kehrwerte:

$$\frac{1}{C_{Ges}} = \sum_{i=1}^{n=Ges} \frac{1}{C_i}$$

## Blendenleitwert

- Blendenleitwert  $C_b$  mit einer Öffnungsfläche der Blende von  $A_b$ :

$$C_b = \frac{\overline{v}^4}{4} \cdot A_b$$

- Blendendurchfluss:

$$q_{pV} = \frac{\overline{v}^4}{4} \cdot A_b \cdot \Delta p$$



Im molekularen Strömungsbereich ist der Leitwert konstant und hängt deshalb nicht vom Druck ab. Daher kann er als Prdukt des Blendenleitwertes der Öffnung  $C_b$  und der Durchtrittswahrscheinlichkeit  $P_k$  des Bauelements berechnet werden.

- Charakteristische Strömungsleitwert  $C_k$  mit den Blendenleitwert einer Eintrittsöffnung:  $C_b$

$$C_k = C_b \cdot P_k = \frac{\overline{v}^4}{4} \cdot A_b \cdot P_k$$

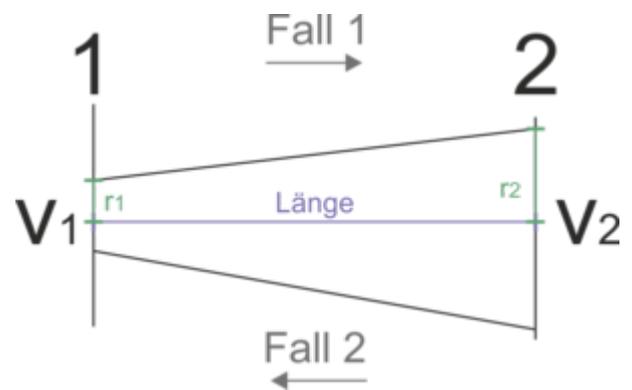
## Durchlaufwahrscheinlichkeiten für Vakuum Komponenten

### Beliebes Rohr

- Durchlaufwahrscheinlichkeit eines beliebigen Rohres:  $P_k$
- Länge des Rohres:  $l$
- Durchmesser des Rohres:  $d$

$$P_k = \frac{14 + 4 \cdot \frac{l}{d}}{14 + 18 \cdot \frac{l}{d} + 3 \cdot (\frac{l}{d})^3}$$

### Kronischen Rohr



- Charakteristische Durchlaufwahrscheinlichkeit eines kronischen Rohres:  $P_{12}$
- Länge:  $l$
- Radius der kleineren Öffnung:  $r_1$
- Radius der größeren Öffnung:  $r_2$ 
  - Fall 1:

$$\frac{1}{P_{12}} = 1 + \frac{r_1 + r_2}{4 \cdot r_2^2} \cdot l$$

- Fall 2:

$$\frac{1}{P_{21}} = \frac{r_2^2}{r_1^2} + \frac{r_1 + r_2}{4 \cdot r_2^2} \cdot l$$

### Gesamtwiderstand bei Hintereinanderschaltung von unterschiedlich großen Bauteilen

- Der Gesamtwiderstand ist durch die Summe der einzelnen Widerstände gegeben:
  - Nummerierung der Bauelemente:  $i$
  - Querschnittsfläche des Eintritts der Anordnung:  $A_1$
  - Querschnittsfläche des  $i$ -ten Bauelements:  $A_i$
  - Charakteristische Gesamtdurchlaufwahrscheinlichkeit der Anordnung:  $P_{1N}$
  - Charakteristische Durchlaufwahrscheinlichkeit der  $i$ -ten Querschnittsfläche:  $P_i$



Der Einströmwiderstand wird Null gesetzt, wenn der Leistungsquerschnitt an der Einströmseite des Bauelements nicht verjüngt ist!

$$\frac{1}{A_1} \cdot \left( \frac{1}{P_{1N}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{A_i} \cdot \left( \frac{1}{P_i} - 1 \right) + \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{1}{A_{i+1}} - \frac{1}{A_i} \right) \cdot \Delta_{i,i+1}$$

- Für  $A_{i+1} < A_i$ :

$$\Delta_{i,i+1} = 1$$

- Für  $A_{i+1} \leftarrow A_i$ :

$$\Delta_{i,i+1} = 0$$

- Für isotherme Bedingungen (gleiche thermische Geschwindigkeit  $v$  der gesamten Leistung) für den effektive charakteristische Strömungsleitwert:  $C_{1N}$

$$\left( \frac{1}{C_{1N}} - \frac{4}{v \cdot A_1} \right) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{C_i} - \frac{4}{v \cdot A_i} \right) + \frac{4}{v} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{1}{A_{i+1}} - \frac{1}{A_i} \right) \cdot \Delta_{i,i+1}$$

## Leckrate/Desorption

- Leckrate:  $Q_l$  [mbar·l/s]
- Druckanstieg:  $\Delta p$
- Volumen :  $V$
- Zeitdifferenz:  $\Delta t$

$$Q_l = \frac{\Delta p \cdot V}{\Delta t}$$

- Leckrate der Desorption für Metall- und Glasoberflächen:  $Q_{des}$
- Flächenbezogene Desorptionsrate des Werkstoffes:  $q_{des}$
- Oberfläche des inneren Vakuumbehälters:  $A$
- Startzeit:  $t_0$

$$Q_{des} = q_{des} \cdot A \cdot \frac{t_0}{t}$$

- Leckrate der Desorption für Kunststoffe:  $Q_{diff}$
- Flächenbezogene Desorptionsrate des Werkstoffes:  $q_{diff}$
- Oberfläche der Kunststoffe:  $A_d$

$$Q_{diff} = q_{diff} \cdot A_d \cdot \sqrt{\frac{t_0}{t}}$$

## Permeation

- Der Permeationsgasstrom ist proportional zu dem Druckgradienten:  $p_0/d$ 
  - Wandstärke:  $d$
  - Atmosphärendruck/Außendruck:  $p_0$
  - Materialabhängigen Permeationskonstanten:  $k_{perm}$

$$k_{perm} \cdot Q_{perm} = k_{perm} \cdot A \cdot \frac{p_0}{d}$$

## Effektive Saugleistung

- Effektive Saugleistung:  $S_{eff}$  [l/s]
- Um ein bestimmtes effektives Saugvermögen zu gewährleisten, muss das Saugvermögen der Pumpe  $S$  entsprechend höher gewählt werden.

$$\frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{S} + \frac{1}{C_{Ges}}$$



Die Gleichung sagt aus, dass nur im Falle von einem unendlichen Leitwerk  $C_{Ges}$  (also der Gesamtwiderstand  $R_{Ges}=0$ ), die Saugleistung der Pumpe die effektive Saugleistung des Systems entspricht ( $S=S_{eff}$ ).

- Um einen gewünschten Druck zu erreichen muss die effektive Saugleistung die Leckrate dementsprechend überbieten:

$$p = \frac{Q_l}{S_{eff}}$$

## Gleichgewichtsdruck

- Ein Gleichgewichtsdruck stellt sich ein, wenn ein Vakuumbehälter dauerhaft durch eine Pumpe gepumpt wird.
- Gleichgewichtsdruck  $p_{gl}$  stellt sich ein, wenn gilt:

$$Q_l = S \cdot p_{gl}$$



Die Vakuumanlage ist hinreichend dicht, wenn  $p_{gl}$  etwa 10% des Arbeitsdruckes entspricht!

**Beispiel:** Arbeitsdruck ist  $10^{-8}$  mbar und die Pumpe hat eine Saugleistung von 100 l/s, dann darf die Leckrate nicht größer als  $10^{-7}$  mbar sein!

## Enddruck

- Der Enddruck  $p(t)$  stellt sich nach einer bestimmten Zeit  $t$  ein. Diese Zeit hängt von verschiedenen Effekten ab.
- Vorrausgesetzt wird, dass der Enddruck größer als der Basisdruck der Vakuumpumpe ist

$$p(t) \cdot S = Q_{\text{des}}(t) + Q_{\text{diff}}(t) + Q_{\text{perm}} + Q_{\text{l}}$$



Nicht vergessen, die effektive Saugleistung, an der gewünschten Stelle innerhalb des Vakuumsystems, einzusetzen!

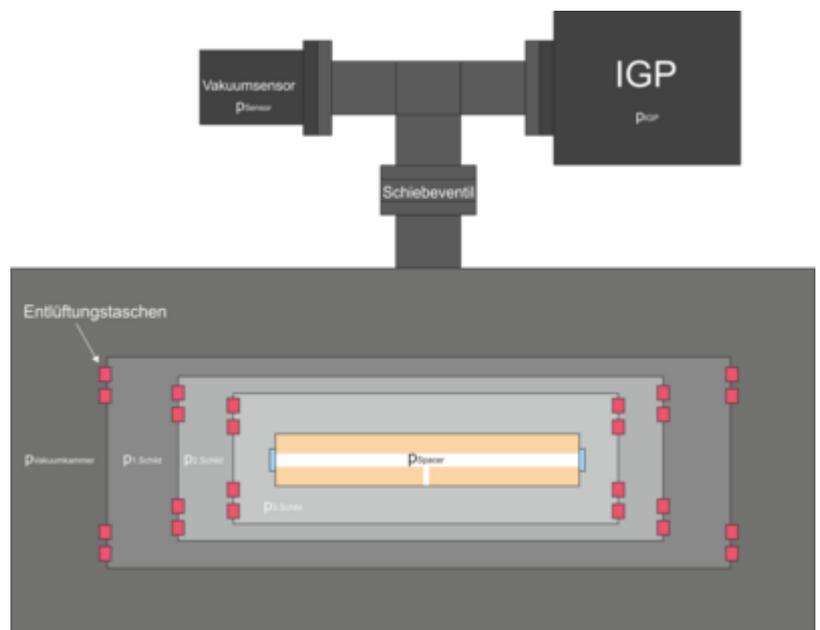
## Zeitkonstante

- Die Zeitkonstante  $\tau$  eines Vakuumsystems ist gegeben durch:

$$\tau = \frac{V}{S_{\text{eff}}}$$

## Vakuum-Aufbau

### Kalkulation des effektiven charakteristischen Strömungsleitwert bis zur Vakuumkammer



## Iongetterpumpe

- CF40 Flange
- Saugvermögen von  $S_m = 40 \text{ l/s}$

## Out-of-Loop Vakuumdrucksensoren

- CF40 Flange

### 5-Wege-Kreuz

Für die folgenden Berechnungen wird der "Knick" im Wegekreuz als Gerade betrachtet.

- CF40 Flange, Durchmesser des Rohres:  $d_{\text{5-Wege-Kreuz}}=38.4\text{mm}$
- Länge:  $l_{\text{5-Wege-Kreuz}}=2*63\text{mm}$
- Querschnittsfläche:  $A_{\text{5-Wege-Kreuz}}=\pi\cdot\left(\frac{d_{\text{5-Wege-Kreuz}}}{2}\right)^2$
- Durchlaufwahrscheinlichkeit:  $P_{\text{5-Wege-Kreuz}}=\frac{14+4\cdot\frac{l_{\text{5-Wege-Kreuz}}}{d_{\text{5-Wege-Kreuz}}}}{14+18\cdot\frac{l_{\text{5-Wege-Kreuz}}}{d_{\text{5-Wege-Kreuz}}}+3\cdot\left(\frac{l_{\text{5-Wege-Kreuz}}}{d_{\text{5-Wege-Kreuz}}}\right)^3}$
- Blendenleitwert der Eintrittsöffnung einer CF40 Flanges:  $C_{\text{b=5-Wege-Kreuz}}=\frac{v^4}{4}\cdot A_{\text{5-Wege-Kreuz}}$
- Charakteristischer Strömungsleitwert:  $C_{\text{k=5-Wege-Kreuz}}=C_{\text{b=5-Wege-Kreuz}}\cdot P_{\text{5-Wege-Kreuz}}$

### Schiebeventil

- CF40 Flange, Durchmesser:  $d_{\text{Schiebeventil}}=40.1\text{mm}$
- Länge:  $l_{\text{Schiebeventil}}=35\text{mm}$
- Querschnittsfläche und Durchlaufwahrscheinlichkeit kann analog zum Fall des 5-Wege-Kreuzes berechnet werden.

### Einschweißflange

- CF40 Flange, Durchmesser:  $d_{\text{Einschweißflange}}=38.4\text{mm}$
- Länge:  $l_{\text{Einschweißflange}}=???\text{mm}$
- Querschnittsfläche und Durchlaufwahrscheinlichkeit kann analog zum Fall des 5-Wege-Kreuzes berechnet werden.

### Effektiver charakteristischer Strömungsleitwert an Eingang der Vakuumkammer

- Es gilt  $A_{i+1}\leftarrow A_i$ :  $\Delta_{i,i+1}=0$
- Effektiver charakteristischer Strömungsleitwert für isotherme Bedingung:
  - Einsetzten der 4 Komponenten
    1. Einschweißflange (Index 1)
    2. Schiebeventil (Index 2)
    3. 5-Wege-Kreuz (Index 3)

#### 4. IGP (Index 4)

$$C_{\text{eff.}} = \text{Vakummerkammer} = \left( \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{C_i} - \frac{4}{v \cdot A_i} \right) + \frac{4}{v \cdot A_1} \right)^{-1} = \left( \left( \frac{1}{C_{k=\text{Einschweißflange}}} - \frac{4}{v \cdot A_{\text{Einschweißflange}}} \right) + \left( \frac{1}{C_{k=\text{Schiebeventil}}} - \frac{4}{v \cdot A_{\text{Schiebeventil}}} \right) + \left( \frac{1}{C_{k=\text{Schiebeventil}}} - \frac{4}{v \cdot A_{\text{5-Wege-Kreuz}}} \right) + \left( \frac{1}{S_m} - \frac{4}{v \cdot A_{\text{IGP}}} \right) + \frac{4}{v \cdot A_{\text{5-Wege-Kreuz}}} \right)^{-1}$$

### Kalkulation des Vakuumdruckes bis zum Spacer

#### Wärmeschilde

Im Ultrahochvakuumbereich ( $p \sim 1 \cdot 10^{-8}$  mbar) treten Molekularbewegungen ohne Wechselwirkungen der Moleküle auf, daher kann man für die Strömung den Leitwert  $L_{bl}$  einer Blende unabhängig vom Druck berechnen [\[Literatur\]](#):

- Es sind in jeden der drei Wärmeschilden acht Entlüftungstaschen eingefräst, diese lassen das Restgas durchströmen
- Diese Entlüftungstaschen fungieren als Blenden und sind somit ein Widerstand  $R_{bl}$  für das evakuierende Restgases
- Durchgangsfläche der Blende:  $A_{bl} \sim 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
- Länge der Fläche:  $C_{b=bl} = \text{???}$
- Mittlere Gasgeschwindigkeit:  $v_{\text{mittel}} \sim 463 \text{ ms}^{-1}$  [nochmal nachrechnen](#)

$$C_{b=bl} = \frac{1}{R_{bl}} = \frac{\nu_{\text{mittel}}}{4} \cdot A_{bl} = 11.6 \text{ ls}^{-1}$$

$$C_{k=bl} = C_{b=bl} \cdot P_{k=bl}$$

- Unter der Annahme, dass es in der gesamten Vakuumkammer ein gleichmäßiger Druck herrscht, kann man näherungsweise annehmen, dass die 8 Blenden eines Wärmeschildes zu einer großen Blende (parallel) zusammengefügt werden können:

$$C_{k=\text{Ges-bl}} = 8 \cdot C_{k=bl}$$

- Sodass wir die jeweiligen effektiven charakteristischen Strömungsleitwerte in den jeweiligen Wärmeschilden mit  $m=1,2,3$  folgendermaßen berechnen können:

$$C_{\text{eff.} = m\text{-Wärmeschilde}} = C_{\text{eff.} = \text{Vakummerkammer}} + \left( \sum_{m=1}^n \left( \frac{1}{C_{m\text{-Wärmeschilde}}} - \frac{4}{v \cdot \left( 8 \cdot A_{bl} \right)} \right) + \frac{4}{v \cdot A_{bl}} \right)^{-1}$$

[Als Anfangsöffnung  \$A\_{bl}\$  oder  \$A\_{CF}\$](#)

#### Spacer

#### Lüftungsloch

- Durchmesser:  $d_{\text{Lüftungsloch}} = 4,2 (+/-0,2) \text{ mm}$

- Kreisfläche:  $A_{\text{Lüftungsloch}} = 27,783 \text{ mm}^2 = 2,7793 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$
- Länge:  $l_{\text{Lüftungsloch}} = (\text{Außendurchmesser des Resonators}/2) - (\text{Kernbohrungsdurchmesser}/2) = (91,7(+/-0,1) \text{ mm} / 2) - (13(+/-0,2) \text{ mm} / 2) = 39,35 \text{ mm}$
- Querschnittsfläche:  $A_{\text{Lüftungsloch}} = \pi \cdot \left(\frac{d_{\text{Lüftungsloch}}}{2}\right)^2$
- Durchlaufwahrscheinlichkeit:  $P_{\text{Lüftungsloch}} = \frac{14 + 4 \cdot \frac{l_{\text{Lüftungsloch}}}{d_{\text{Lüftungsloch}}}}{14 + 18 \cdot \frac{l_{\text{Lüftungsloch}}}{d_{\text{Lüftungsloch}}} + 3 \cdot \left(\frac{l_{\text{Lüftungsloch}}}{d_{\text{Lüftungsloch}}}\right)^3}$
- Blendenleitwert des Eintrittsöffnung des Lüftungslochs:  $C_{\text{b=Lüftungsloch}} = \frac{v}{4} \cdot A_{\text{Lüftungsloch}}$
- Charakteristischer Strömungsleitwert:  $C_{\text{k=Lüftungsloch}} = C_{\text{b=Lüftungsloch}} \cdot P_{\text{Lüftungsloch}}$

### Kernbohrung

- Durchmesser:  $d_{\text{Kernbohrung}} = 13 (+/-0,2) \text{ mm}$
- Länge:  $d_{\text{Kernbohrung}} = 480 \text{ mm}$

### Kalkulation der Leckrate innerhalb des Spacers

- Für die Kalkulation der Leckrate innerhalb des Spacers wird angenommen, dass nur die Oberflächen von dem 3. Wärmeschildes, der Zerodurstangen und der Spacer zu einer Leckrate führen:

$$Q_{\text{des=Spacer}} = Q_{\text{des=Wärmeschild}} + Q_{\text{des=Lüftungsloch}} + Q_{\text{des=Kernbohrungsloch}} + 2 \cdot Q_{\text{des=Zerodurstangen}}$$

Element	Material	Flächenbezogene Desorptionsrate des Werkstoffes	Volumen	Oberfläche
Wärmeschild	Aluminium, $\langle \text{Typ} \rangle$	$\langle \text{Rate} \rangle$	$V_{\text{Wärmeschild}} = \left(h1_{\text{Wärmeschild}} \cdot l1_{\text{Wärmeschild}} \cdot t1_{\text{Wärmeschild}}\right) - \left(h2_{\text{Wärmeschild}} \cdot l2_{\text{Wärmeschild}} \cdot t2_{\text{Wärmeschild}}\right)$	$O_{\text{Wärmeschild}} = 2 \cdot \left(O_{\text{lange Wand}} + O_{\text{Stirnseite}} + O_{\text{Boden}}\right)$
Spacer	ULE	$\langle \text{Rate} \rangle$	$V_{\text{Spacer}} = \pi \cdot \left(\frac{d_{\text{Kernbohrung}}}{2}\right)^2 \cdot l_{\text{Kernbohrung}} + \pi \cdot \left(\frac{d_{\text{Lüftungsloch}}}{2}\right)^2 \cdot l_{\text{Lüftungsloch}}$	$O_{\text{Spacer}} = \left(2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{\text{Kernbohrung}}}{2}\right)^2 + 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{\text{Kernbohrung}}}{2}\right) \cdot l_{\text{Kernbohrung}}\right) + \left(2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{\text{Lüftungsloch}}}{2}\right)^2 + 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{\text{Lüftungsloch}}}{2}\right) \cdot l_{\text{Lüftungsloch}}\right)$
Zerodurstangen	Zerodur	$\langle \text{Rate} \rangle$	$V_{\text{Zerodurstange}} = h_{\text{Zerodurstange}} \cdot l_{\text{Zerodurstange}} \cdot t_{\text{Zerodurstange}}$	$O_{\text{Zerodurstange}} = 2 \cdot \left(h_{\text{Zerodurstange}} \cdot l_{\text{Zerodurstange}} + l_{\text{Zerodurstange}} \cdot t_{\text{Zerodurstange}} + h_{\text{Zerodurstange}} \cdot t_{\text{Zerodurstange}}\right)$

- $\langle \text{Rate} \rangle$  Leckrate  $Q_I$  der Vakuumkammer gemessen am Vakuumsensor?

### Kalkulation des Vakuumdruckes innerhalb des Spacers

Wir nehmen an, dass der zu evakuierende Gasstrom ausgehend von oberflächenabsorbierten

Molekülen an der Vakuumkammer  $q_{\text{Vak}}$  höher ist als der inneren Wärmeschilde  $q_{\text{Schild}}$ . Der Grund für die Annahme ist, dass die Vakuumkammeroberfläche rauer ist gegenüber der elektropolierten Oberfläche der Wärmeschilde, sodass die effektive Fläche größer ist:  $q_{\text{Vak}} > q_{\text{Schild}}$

- Temperatur beeinflusst die Richtung des Gasdruckes?



#### Sebastian Häfner Annahmen:

Gesamtgasstrom:  $q_{\text{Ges}} = q_{\text{Vak}} + q_{\text{Schild}}$

Druck  $p_1$  an welchen ORT?

Konzervative Abschätzung für den auftretenden Gasstrom:  $q_{\text{Schild}} = q_{\text{Ges}} / 5$   
Why?

Druck innerhalb des Spacers:  $p_{\text{Spacer}} = \frac{Q_{\text{des=Spacer}}}{S_{\text{eff=Spacer}}}$

## Mögliche Probleme im Aufbau

## Charakterisierung der Vakuum-Stabilisierung

- Messung des Restdruckes über Zeit mit out-of-loop Vakuumdrucksensors
- Messung der Spannung der IGP

From:  
<https://iqwiki.iqo.uni-hannover.de/> - IQwiki

Permanent link:  
[https://iqwiki.iqo.uni-hannover.de/doku.php?id=groups:mg:project\\_ptb-cavity:vacuum\\_pressure&rev=1539867107](https://iqwiki.iqo.uni-hannover.de/doku.php?id=groups:mg:project_ptb-cavity:vacuum_pressure&rev=1539867107)

Last update: 2018/10/18 12:51

