

TE-VSC : Technology department – Vacuum, surfaces and coating
Betreuer: Gerhard Schneider

Vakuumtechnik

Praktikum 16.04 – 20.04

Agenda

Definition Vakuum

- Differenzierung

Vakuumrohre

- Materialanforderungen
- Probleme

Pumpen und Messgeräte

- Typen
- Tests

Sonstiges

Definition Vakuum

- Wortherkunft: lat. „vacua“, leer
- Vakuum: „leerer Raum“
 - Ideales Vakuum: 0 Teilchen/Volumen
 - DIN: Gasdruck unter 300 mbar

LHC:

Isoliervakuum: $\sim 10^{-6} \text{ mbar}$

Strahlvakuum: $\sim 10^{-11} \text{ mbar}$



Differenzierung

Bezeichnung	Druck [mbar]	Teilchen/l
Umgebungsdruck	~1000	2,47E+22
Low (LV)	$< 3 \cdot 10^2$	7,42E+21
High (HV)	< 1	2,47E+19
Very High (VHV)	$< 10^{-3}$	2,47E+18
Ultra-high (UHV)	$< 10^{-7}$	2,47E+12
Extreme Ultra-High	$< 10^{-12}$	2,47E+07

Vakuumrohre



Materialanforderungen, Probleme

Materialanforderungen

- Elastizität, Stabilität
 - Widerstandsfähigkeit gegenüber Druckdifferenz
 - Unterschiedlich je nach Richtung
- Geringes Ausgasen
- Dichtigkeit
- Transparenz für Teilchen

Kräfte

- Außendruck: 1 bar, Innendruck: 10^{-13} bar

➤ Differenz: ca. 1 bar

$$1 \text{ bar} = 1.000 \text{ mbar} = 100.000 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$1 \text{ bar} = 100.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$



Dichtungen

- Dichtringe aus versilbertem Kupfer
- Kräfte von ca. 200N/mm



Ausgasen



- Materialien beinhalten unerwünschte Stoffe
 - Wasser, CO, etc...
- Fremdstoffe entweichen im Vakuum → Druckanstieg

Lösung: ausheizen (bake-out)

- 120°C-250°C im Vakuum
 - Fremdgase entweichen, werden ausgepumpt
 - Reine Stoffe bleiben zurück

Lecks



- Anschluss eines Druckmessgerätes ans Vakuumsystem
- Mögliche Leckstellen mit Helium besprühen
- Druckanstieg: Leck

Experimente

Vakuumpipeline für Experimente: Beryllium

- Hohe Transparenz (niedrige Ordnungszahl)
- Hohe Belastbarkeit

Aber:

- Lange Lieferzeiten, hoher Preis

Alternativen gefragt!

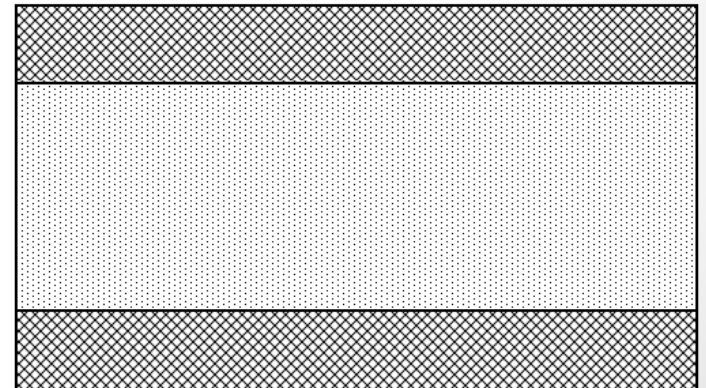
Alternative Konzepte

Carbonfaser:

- hohe Steifheit in bestimmten Richtungen
- Geringere Transparenz

Carbonfaser-Aluminiumschaum-Sandwich

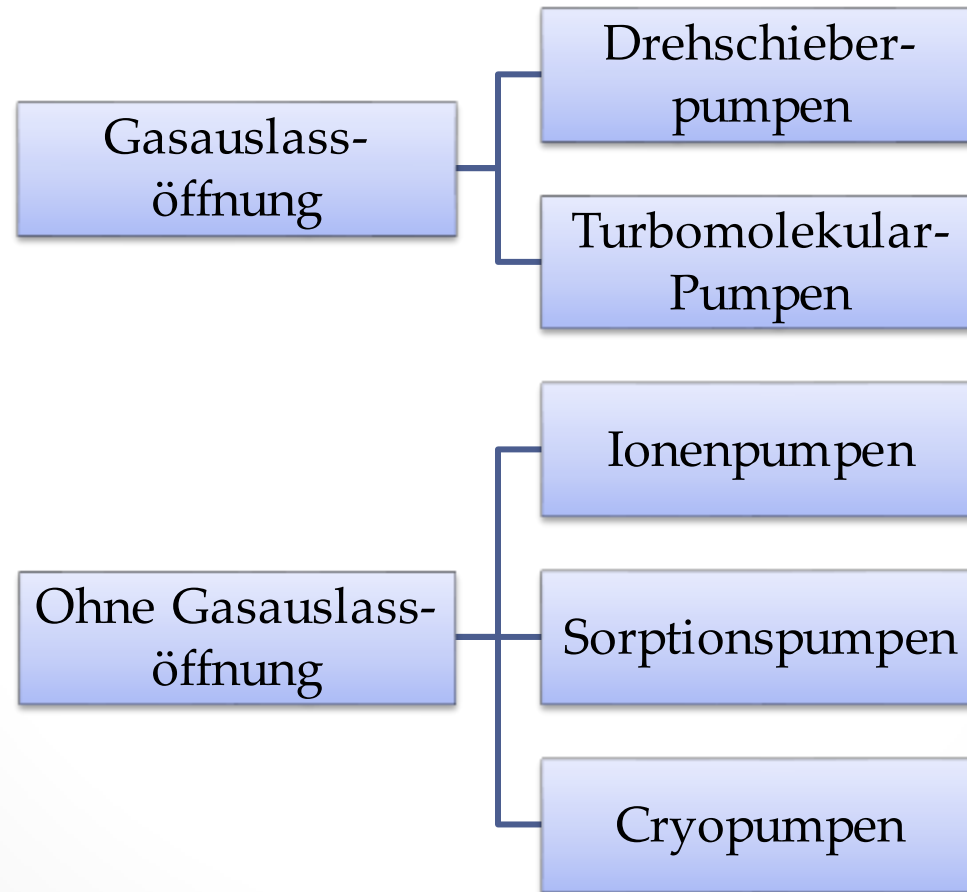
- Hohes Elastizitätsmodul
- Hohe Stabilität
- Enorme Transparenz
- Sehr komplizierte Herstellung



Pumpen

...

Arten von Vakuumpumpen



Mechanische Pumpen

- Drehschieberpumpe (Vorpumpe)
- Turbomolekularpumpe
 - Vorpumpe und Gaslager benötigt
 - Drehzahlen um 1000 U/s
 - Rotorblätter schneller als thermische Geschwindigkeit der (N_2 -)Gasteilchen
 - Impulsübertragung anstatt aerodynamischen Effekten



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/Cut_through_turbomolecular_pump.jpg; 19.04.12, 14:30

Ionenpumpen

Gasteilchen werden ionisiert
Ionen:

- Werden in einem E-Feld beschleunigt
- Treffen auf die Kathode
- Dringen in Kathode ein
- Bleiben in Kathode gebunden

Bei Sättigung:
Ausheizen/Reaktivieren der
Pumpe



Weitere Pumpen

- Sorbtionspumpen
 - Vakuumrohre werden beschichtet
 - Aktive Oberflächen binden Gasmoleküle
- Kryopumpen
 - Wände werden extrem gekühlt (< 100 K)
 - Gase kondensieren an Wänden

Pumpentests

- Analogie Gas – Strom:
 - Druckunterschied: Potentialdifferenz, Spannung
 - Rohr (evtl. Blende): Leiter (Widerstand)
- Probleme:
 - Gauges auf Stickstoff normiert, selektiv
 - Teilweise Unzuverlässige Ergebnisse

$I = \dot{Q}$, Q : Ladung bzw. Gasmenge

$$I = \dot{Q} = \frac{U}{R} = U * L$$
$$= \Delta p * L, L: \text{Leitwert}$$



Pumpentests

- Berechnung Durchfluss aus Leitwert und Druckunterschied:

$$L_{Blende} = 0,116 * A * \frac{dm}{s}; A = \pi r^2 = 78,5mm^2, r = 5mm$$

$$L_{Blende} = 9,106 * \frac{dm^3}{s}; \Delta p = (6,6 - 2,4) * 10^{-10} mbar$$

$$\dot{Q} = \Delta p * L = 3,842 * 10^{-9} * \frac{mbar * l}{s}$$



Messgeräte



Gauges

Druckmessgeräte

Problem: Genauigkeit!

10^{-11} mbar \rightarrow 27.000 Teilchen/cm³

- Wärmeleitungsvakuummeter
 - Wärmeleitung in best. Bereichen druckabhängig
 - Gasabhängig versch. Messwerte
- Ionisationsvakuummeter
 - Kalte Kathode
 - Glühkathode



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d5/Manometer_104026.jpg; 20.04.12, 11:30

Ionisationsvakuummeter

- Penning-Vakuummeter: Kalte Kathode
 - E-Feld beschleunigt vorhandene freie Elektronen
 - Stoßionisation → druckabhängiger Entladungsstrom durch beschleunigte Ionen
- Bayard-Alpert-Vakuummeter: Glühkathode
 - Glühkathode heizt Elektronen aus, beschl. im E-Feld
 - Druckabhängiger Anodenstrom durch Stoßprozesse

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/10/Bayard-Alpert_gauge.jpg; 20.04.12, 11:30



Sonstige Tätigkeiten

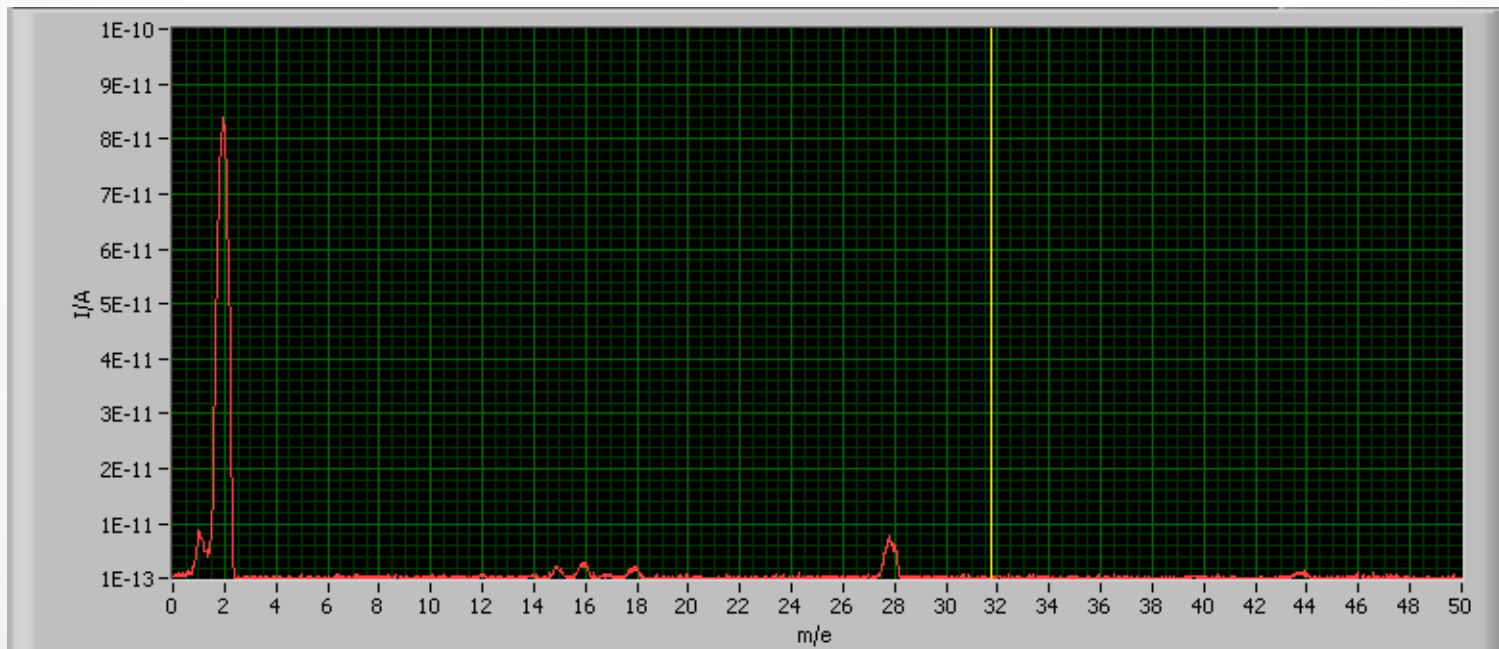
Check des LHC-Vakuum-Systems



- Überprüfen des LHC-OP-Logbuchs
- Prüfen der einzelnen Systemelemente
 - Strahl-Vakuum
 - Isolier-Vakuum
- Check der Vakuum-Systeme der Vorbeschleuniger des LHC

Restgasanalysator (RGA)

- Molekulare Analyse des Restgases (Massenspektrometrie)
 - Detektion von Lecks, Ausgasen



Danke...

... an meinen Betreuer
Gerhard Schneider

für eine großartige Einführung in die
Abteilung, Dolmetschertätigkeiten bei
Restaurantbesuchen u.v.m.

... an das Vakuum-Team

für geduldige Erklärungen und großes
Vertrauen in Praktikantenhände

... an die Organisatoren

Herrn Schmeling und Herrn Kreß für dieses
Praktikum



Quellen

- CERN Accelerator School: Vacuum Technology, 1999 Geneva
- veb hochvakuum dresden: Berechnungsunterlagen, DDR-8020, 1982
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Vacuum>
- <http://www.pfeiffer-vacuum.de/know-how/einfuehrung-in-die-vakuumtechnik/grundlagen/leitwerte/technology.action?chapter=tec1.2.8>

Bilder ohne Quellenangaben wurden vom Vortragenden mit Einverständnis der abgebildeten Personen aufgenommen.

Fragen?



„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

Turbomolekularpumpe

Querschnitt: 100 mm

Rotationsfrequenz: 1000 Hz

Umfang = $3,14 * 100\text{mm} = 314\text{mm} = 0,314\text{ m}$

$$v = \frac{s}{t} = 0,314\text{m} * 1000 \frac{1}{s} = 314 \frac{m}{s}$$