

# VAKUUMTECHNIK IN DER PRAXIS 2023



## Vakuum

- Grundlagen
- Pumpen
- Messung
- Dichtheitsprüfung

## Physikalische Experimente



Dieser Lehrgang ermöglicht, ihr Anwender-, Wartungs- und Service- Personal in praxisbezogener Weise auszubilden.

Durch jahrelange Erfahrung im Service- und Prozessbereich sind wir in der Lage das nötige Grundwissen an unsere Teilnehmer weiter zu geben.

Ziel der Ausbildung ist, diese Technologien

- in kurzer Zeit zu verstehen und diese richtig anzuwenden
- kostenintensive Ausfallzeiten von Anlagen zu reduzieren
- Prozesse und Anlagen zu verbessern





*Bild "ESO"*

**Seite**

4.	Inhaltsverzeichnis
5.	Atmosphärische Luft
6.	Druck und Atmosphärische Luft
7.	Die Zusammensetzung der Atmosphärische Luft
8.	Umrechnung von Drücken
9.	Aufbau eines Atoms – Beschreibung
10.	Aufbau eines Atoms – Beispiel: Sauerstoff
11.	Aufbau eines Atoms – Masse und Gewicht (Kern / Schalen)
12.	Aufbau eines Atoms – Wasserstoff / Helium
13.	Hauptmassen häufig vorkommender Gase
14.	Thermodynamik
15.	Beweg.- Vorgänge in Vakuumbehältern – Teilchenzahl
16.	Beweg.- Vorgänge in Vakuumbehältern – Geschwindigk.
17.	Gasbindung - Gasabgabe
18.	Bildung von Helium-Ionen - Beispiel
19.	Bildung von Helium-Ionen - Graphik
20.	Periodensystem der Elemente – Beispiel: Helium
21.	Periodensystem der Elemente – Beispiel: Graphik
22.	Schreibweise - Zehnerpotenz
23.	Strömungsarten – Beschreibung
24.	Darstellung d. Vak.-Bereiche – Strömungsarten
25.	Darstellung d. Vak.-Bereiche – Anteil Grobvakuum
26.	Phasendiagramm von Wasser
27.	Luftdrücke in unterschiedlichen Höhen
28.	O-Ring, Werkstoffe, Bezeichnungen
29.	Unterschiedliche Pumpenöle
30.	Reinigung und Handling von Vakuumbauteilen
31.	Betrieb von Vakuumpumpen und Anlagen
32.	Anwendung von Vakuumprozessen
33.	Arbeitsbereiche von Vakuumpumpen
34.	Maßeinheiten von Vakuumpumpen
35.	Vorvakuum – Abpumpkurve
36.	Drehschieberpumpe – Aufbau und Funktion
37.	Drehschieberpumpe – Arbeitsweisen einer einstufigen Pumpe
38.	Drehschieberpumpe – Gasballast
39.	Drehschieberpumpe – Schnittbild einer zweistufigen Pumpe
40.	Sperrschieberpumpe – Technische Daten
41.	Sperrschieberpumpe – Arbeitszyklus
42.	Trockenlaufende Verdrängerpumpen
43.	Wälzkolbenpumpe – Aufbau
44.	Wälzkolbenpumpe – Arbeitszyklus
45.	Wälzkolbenpumpe – Funktion 1
46.	Wälzkolbenpumpe – Funktion 2
47.	Wälzkolbenpumpe – Eigenschaften
48.	Membran-Vakuumpumpe#
49.	Trockenlaufende Vielzellenpumpe
50.	Ölfreie Scroll-Vakuumpumpe
51.	Ölfreie Scroll-Vakuumpumpe – Technische Daten
52.	Molekular-Pumpe – (nach Holweck)
53.	Turbomolekular Pumpen – Wide Range
54.	Turbomolekular Pumpen – Funktion
55.	Turbomolekular Pumpen – Funktion u. Saugvermögen
56.	Turbomolekular Pumpen – Graphik, spezifisches Saugverm.
57.	Turbomolekular Pumpen – Beschreibung
58.	Turbomolekular Pumpen – Magnetgelagerte Pumpe
59.	Turbomolekular Pumpen – Doppelflutig
60.	Turbomolekular Pumpen – Ausführungen
61.	Turbomolekular Pumpen – Eigenschaften/Anwendungen
62.	Öldiffusionspumpen – Beschreibung
63.	Öldiffusionspumpen – DIFset-Pumpen
64.	Öldiffusionspumpen – Wirkungsweise
65.	Öldiffusionspumpen – Schnittbild
66.	Öldiffusionspumpen – Baffle

**Seite**

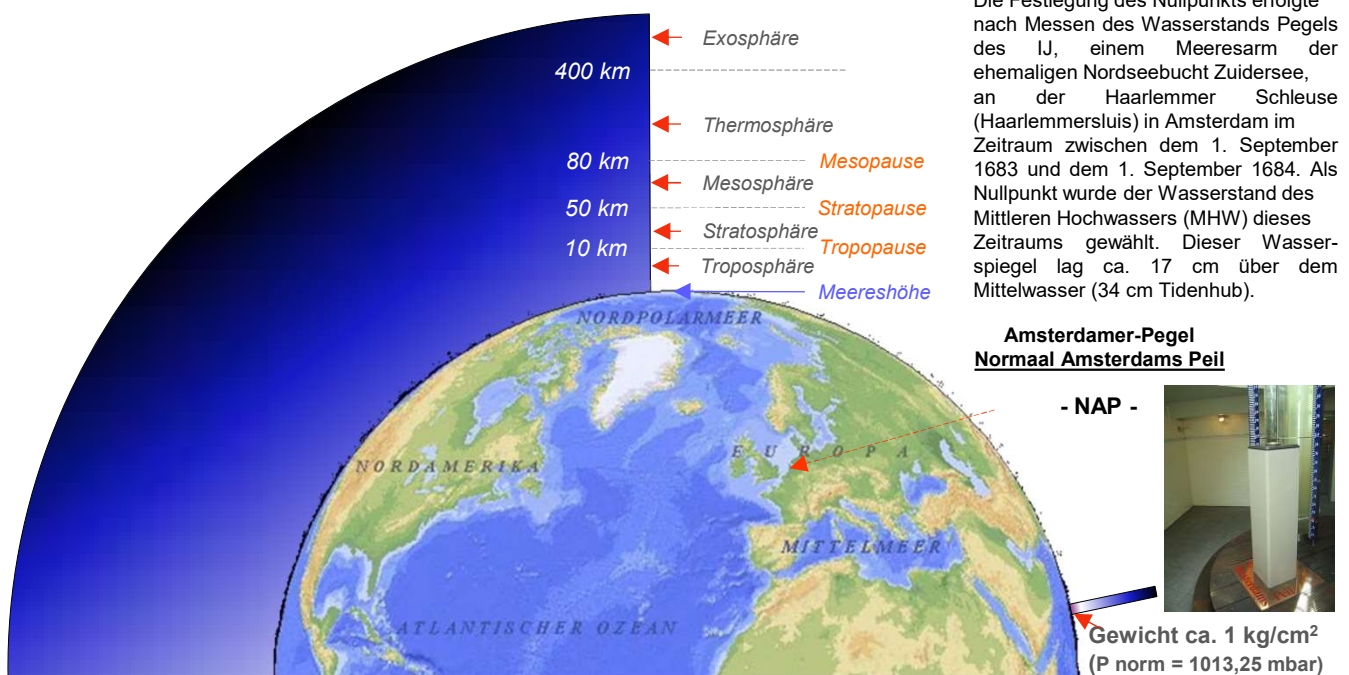
67.	Ionenzerstäuberpumpe – Wirkungsweise
68.	Ionenzerstäuberpumpe – Aufbau einer Diode
69.	Ionenzerstäuberpumpe – Funktion und Beschreibung
70.	Ionenzerstäuberpumpe – Schnittbild
71.	Ionenzerstäuberpumpe – Arbeitsbereiche
72.	Ionenzerstäuberpumpe – Kontrolleinheit
73.	Kryopumpen
74.	Kompressor und Pumpe
75.	Kryopumpe - Schnittbild
76.	Refrigerator – Funktion
77.	Umrechnung °C in K
78.	Kondensation und Adsorption
79.	Kondensationsflächen 80 Kelvin
80.	Adsorbing – Array
81.	Kryopumpe – Schnittbild
82.	Refrigerator - Ohne Coldfinger
83.	Vakuum-Totaldruckmessgeräte – Verschiedene Systeme
84.	Mechanische Vakuummeter
85.	Mechanische Vakuummeter – Bourdon Ferderrohr
86.	Grobvakuummeter - Kapazitiv
87.	Wärmeleitungsvakuummeter – Pirani
88.	Wärmeleitungsvakuummeter – Kalibrierkurve
89.	Ionisationsvakuummeter – Kaltkathode / Penning
90.	Vakuum-Messgeräte – Skalen
91.	Glühkathodenionisations-Vakuummesszelle
92.	Dichtheitsprüfung –Themen
93.	Grundsätzliches zu Lecksuche
94.	Maßeinheit für die Dichtheit
95.	Grenzleckraten
96.	Dichtheitsprüfmethoden
97.	Gegenstrom-Leckdetektor
98.	Tragbares Sprühgassystem
99.	Sprühgasverfahren
100.	Schnüffelfprüfung
100.	Vakuum-Ventile – HV – Eckventil
101.	Vakuum-Ventile – UHV – Schieber
102.	Vakuum-Verbindungen – Klammerflansch
103.	Vakuum-Verbindungen – Mit Softstartventil
104.	Vakuum-Verbindungen – ISO-K, ISO-F
105.	Vakuum-Verbindungen – CF
106.	Besondere Erscheinungen im Vakuum
107.	Glühdraht im Vakuum - Experiment
108.	Entladungen im Vakuum - Experiment
109.	Wasser im Vakuum - Experiment
110.	Evakuierung eines Behälters - Experiment
111.	Vakuum-Symbole
112.	Vakuum-Symbole
113.	Vakuum-Symbole
114.	Fehlererscheinungen an Vakuumpumpen
115.	Kontaminationserklärung – Formular
116.	Kontaktdaten
117.	Notizen



# ATHMOSPÄRISCHE LUFT

Wer sich im Freien aufhält, ist von einem Gas umgeben, das zu rund vier Fünfteln aus Stickstoff und zu einem Fünftel aus Sauerstoff besteht. Wie in jedem Gas befinden sich auch in der Luft die Moleküle in ständiger, ungeordneter Bewegung. (Tatsächlich haben die Wörter „Gas“ und „Chaos“ dieselbe griechische Wurzel) Die Moleküle sausen mit einer Geschwindigkeit durch den Raum, die etwa der Schallgeschwindigkeit (rund 330 Meter pro Sekunde) entspricht, prallen dabei aufeinander und fliegen in anderen Richtungen davon, bis sie nach Bruchteilen einer Sekunde mit einem weiteren Molekül zusammenstoßen. Der unaufhörliche Aufprall eines solchen Sturms von Molekülen auf die Oberfläche jedes Behälters und damit auch auf die Haut unseres Körpers ist als praktisch konstanter Druck spürbar (der in Meereshöhe etwa 1000 mbar beträgt, was ungefähr einem Kilogramm pro Quadratzentimeter entspricht). An einem stillen, warmen Sommertag oder in einem ruhigen Raum, befindet man sich inmitten eines unsichtbaren und nicht wahr zunehmenden Wirbels von Molekülen. Bei Wind dagegen bewegen sich die Moleküle vorwiegend in eine Richtung, und sie treffen daher auch unser Gesicht spürbar nur von einer Seite. Dieser unsichtbare Strom von Molekülen ist gelegentlich stark genug, um Bäume zu fällen und Häuser zu zerstören.

Bis heute wissen wir nicht genau, woher unsere Atmosphäre stammt und wie sie sich verändert hat. Ganz allgemein herrscht Einigkeit darüber, dass die frühe Atmosphäre durch *Entgasung* jener Gesteine und kleinen Himmelskörper (der sogenannten Planetesimals) entstand, deren Zusammenschluss unseren ursprünglich noch primitiven Planeten hervorbrachte. Eine vergleichbare Freisetzung von Gasen kann man bei heutigen Vulkanen beobachten.



Man nimmt an, dass die dort ausströmenden Gase in erster Linie Wasserdampf, Wasserstoff, Chlorwasserstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Stickstoff und schwefelhaltige Moleküle – in der Uratmosphäre reichlich vorhanden waren. Heute kommt von all diesen Gasen nur noch der Stickstoff in großen Mengen in der Erdatmosphäre vor. Daher stellt sich die Frage, wohin die übrigen Gase entwichen und woher die anderen gekommen sind. Antworten sind meist kaum mehr als kluge, aber vielleicht falsche Spekulationen.

Ein Gas kann man allerdings sofort abhandeln:

*Die sehr leichten und sehr schnellen Wasserstoffmoleküle konnten dem irdischen Gravitationsfeld entkommen und ins All verschwinden, wie dies auch heute mit jedem neu entstehenden Wasserstoffmolekül geschieht.*

# DRUCK UND ATMOSPHERISCHE LUFT

**Druck** ist Kraft die auf eine Fläche wirkt. Diese Kraft entsteht zum Beispiel in einem gasgefüllten Behälter. Gas besteht aus kleinen Teilchen, wie Atomen und Molekülen. Diese Teilchen sind in ständiger Bewegung. Treffen diese Teilchen auf eine Fläche, so üben darauf eine Kraft aus. Definiert man eine Fläche und erfasst die Anzahl und Intensität der Stöße, so bezeichnet man dies als Druckmessung.

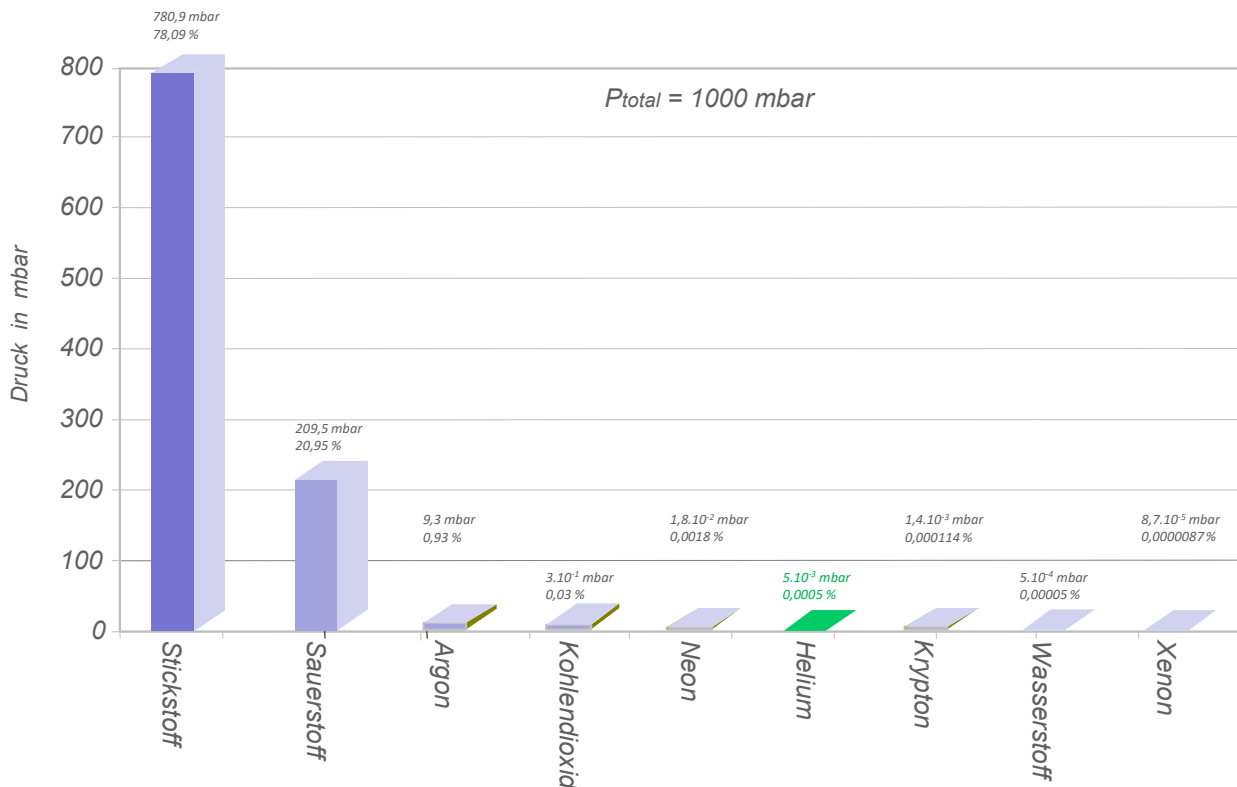
**Gas** ist Materie, bei der sich die Teilchen in einem Raum frei bewegen können. Die Verteilung ist stets gleichmäßig und es herrscht im gesamten Volumen der gleiche Druck im Raum, die Zusammensetzung des Gemisches ist überall gleich. Auch der Partialdruck verteilt sich gleichmäßig.

**Partialdruck** (Teildruck) ist der Druck, der in einem Gasgemisch wie in diesem Beispiel, einem bestimmten Gas zugeordnet werden kann. Der Partialdruck entspricht dabei dem Gesamtdruck, den die Komponente beim alleinigen Ausfüllen des gesamten Volumens ausüben würde.

**Totaldruck** (Gesamtdruck) entspricht der Summe der einzelnen Partialdrücken.

$$P_{\text{total}} = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n$$

$$\text{Druck} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}} = \frac{\text{Krafteinheit}}{\text{Flächeneinheit}} \quad \text{z.B.} = \frac{F}{A} = \frac{\text{Newton}}{\text{m}^2} = \text{Pascal}$$



**Feste Stoffe** sind lokal fixiert. Diese vibrieren und rotieren nur.

**Flüssigkeiten** sind weniger stark gebundene Teilchen. Sie gleiten aneinander, können sich aber nicht voneinander lösen.

# UMRECHNUNG VON DRÜCKEN

N x m-2(Pa)	bar	mbar	µbar dyn/cm <sup>2</sup>	Torr mm Hg	micron µ, mTorr	atm	at	mm WS
101300	1,01	1013	1,01 x 10 <sup>6</sup>	760,00	7,60 x 10 <sup>5</sup>	1	1,03	1,03 x 10 <sup>4</sup>
100000	1,00	1000	1 x 10 <sup>6</sup>	750,00	7,50 x 10 <sup>5</sup>	0,987	1,02	1,02 x 10 <sup>4</sup>
98100	0,981	981	9,81 x 10 <sup>5</sup>	735,75	7,35 x 10 <sup>5</sup>	0,968	1	10 <sup>4</sup>
90000	0,90	900	9,00 x 10 <sup>5</sup>	675,00	6,75 x 10 <sup>5</sup>	0,888	0,918	9177
80000	0,80	800	8,00 x 10 <sup>5</sup>	600,00	6,00 x 10 <sup>5</sup>	0,789	0,816	8157
70000	0,70	700	7,00 x 10 <sup>5</sup>	525,00	5,25 x 10 <sup>5</sup>	0,691	0,714	7137
60000	0,60	600	6,00 x 10 <sup>5</sup>	450,00	4,50 x 10 <sup>5</sup>	0,592	0,612	6118
50000	0,50	500	5,00 x 10 <sup>5</sup>	375,00	3,75 x 10 <sup>5</sup>	0,494	0,510	5098
40000	0,40	400	4,00 x 10 <sup>5</sup>	300,00	3,00 x 10 <sup>5</sup>	0,395	0,408	4078
30000	0,30	300	3,00 x 10 <sup>5</sup>	225,00	2,25 x 10 <sup>5</sup>	0,296	0,306	3059
20000	0,20	200	2,00 x 10 <sup>5</sup>	150,00	1,50 x 10 <sup>5</sup>	0,197	0,204	2039
10000	0,10	100	1,00 x 10 <sup>5</sup>	75,00	7,50 x 10 <sup>4</sup>	0,099	0,102	1019
9000	0,09	90	9,00 x 10 <sup>4</sup>	67,50	6,75 x 10 <sup>4</sup>	0,089	0,092	918
8000	0,08	80	8,00 x 10 <sup>4</sup>	60,00	6,00 x 10 <sup>4</sup>	0,079	0,082	816
7000	0,07	70	7,00 x 10 <sup>4</sup>	52,50	5,25 x 10 <sup>4</sup>	0,069	0,071	714
6000	0,06	60	6,00 x 10 <sup>4</sup>	45,00	4,50 x 10 <sup>4</sup>	0,059	0,061	612
5000	0,05	50	5,00 x 10 <sup>4</sup>	37,50	3,75 x 10 <sup>4</sup>	0,049	0,051	510
4000	0,04	40	4,00 x 10 <sup>4</sup>	30,00	3,00 x 10 <sup>4</sup>	0,040	0,041	408
3000	0,03	30	3,00 x 10 <sup>4</sup>	22,50	2,25 x 10 <sup>4</sup>	0,030	0,031	306
2000	0,02	20	2,00 x 10 <sup>4</sup>	15,00	1,50 x 10 <sup>4</sup>	0,020	0,020	204
1000	0,01	10	1,00 x 10 <sup>4</sup>	7,50	7,50 x 10 <sup>3</sup>	0,010	0,010	102
500	0,005	5	5,00 x 10 <sup>3</sup>	3,75	3,75 x 10 <sup>3</sup>	0,005	0,005	51
100	0,001	1	1,00 x 10 <sup>3</sup>	0,75	7,50 x 10 <sup>2</sup>	0,001	0,001	10
50	5 x 10 <sup>-4</sup>	0,5	5,00 x 10 <sup>2</sup>	0,375	3,75 x 10 <sup>2</sup>	5 x 10 <sup>-4</sup>	5 x 10 <sup>-4</sup>	5
10	1 x 10 <sup>-4</sup>	0,1	1,00 x 10 <sup>2</sup>	0,075	75,00	1 x 10 <sup>-4</sup>	1 x 10 <sup>-4</sup>	1

# AUFBAU EINES ATOMS

---

Die in einem Kern vorhandenen Protonen müssten sich eigentlich aufgrund ihrer positiven Ladungen gegenseitig abstoßen und dadurch den Kern zum Zerplatzen bringen. Da aber stabile Atomkerne mit zum Teil recht vielen Protonen existieren, kann daraus, geschlossen werden, dass es andere Kräfte geben muss, die die Kernteilchen aneinander binden. Diese anziehenden Kernkräfte sind stärker als die im Kern wirkenden abstoßenden elektrischen Kräfte.

In der Atomhülle befinden sich negativ geladene Elektronen. Elektronen und Protonen müssten sich aufgrund ihrer unterschiedlichen elektrischen Ladungen anziehen, die Hüllelektronen also auf den Kern fallen. Da das aber nicht eintritt, ist anzunehmen, dass auch hier andere Kräfte wirksam sind. Sie sorgen dafür, dass Kern und Hülle nicht aufeinander fallen. Um ein Elektron aus der Atomhülle abzutrennen, benötigt man Energie. Dabei zeigt sich, dass für die einzelnen Elektronen einer Hülle unterschiedlich viel Energie aufgewendet werden muss. Die Elektronen sind also unterschiedlich fest an den Kern gebunden bzw. sie besitzen gegenüber dem Atomkern unterschiedliche Energie. Diese Energiewerte der Elektronen unterscheiden sich aber nicht kontinuierlich, sondern stufenartig voneinander (Energiestufen). Um diese Tatsache im Modell zu veranschaulichen, weist man den einzelnen Elektronen bestimmte Bahnen bzw. Schalen zu, die um den Kern angeordnet sind (K-, L-, M-, N-, O-, P- und Q-Schale, am Kern beginnend).

Elektronen mit geringerer Energie und damit festerer Bindung an den Kern werden auf kernnahen Bahnen oder Schalen gezeichnet, Elektronen mit größerer Energie und damit weniger fester Bindung an den Kern auf kernferneren Bahnen oder Schalen. Diese Bahnen oder Schalen existieren nicht wirklich. Es sind lediglich Hilfsvorstellungen zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Energiestufen.

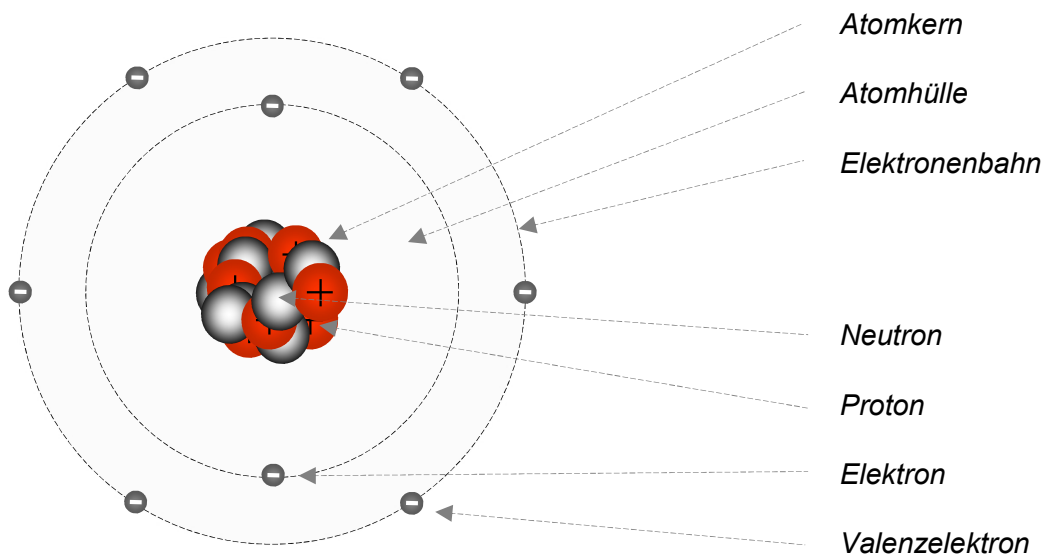
Das Größenverhältnis von Atomhülle zu Atomkern ist bemerkenswert. Der Durchmesser der Hülle beträgt etwa  $10^{-10}$  m, der Durchmesser des Kerns etwa  $10^{-14}$  m. Der Kern ist also etwa 10000 mal kleiner als die Hülle. Zur Veranschaulichung dieses Verhältnisses kann man das Atom in Gedanken auf das  $10^{-12}$  fache vergrößern. Die Hülle hätte dann einen Durchmesser von 100 m, der Kern wäre aber nur 1 cm groß. Proton und Neutron haben fast die gleiche Masse. Die Masse des Elektrons beträgt aber nur  $1/1836$  der Masse des Protons. Das ist ein so geringer Betrag, dass man ihn bei Betrachtung der Atommassen vernachlässigen kann. Praktisch ist die gesamte Masse eines Atoms in seinem Kern vereinigt. Da fast die gesamte Masse eines Atoms in seinem Kern vereinigt ist, besteht die Materie also überwiegend aus fast leerem Raum. Selbst bei festen Körpern ist nur ein verschwindend kleiner Volumenanteil von Materie erfüllt. Wenn man die Atome eines großen Ozeandampfers in Gedanken so zusammenpresst, dass sich die Elektronen dicht an den Atomkernen befinden, erhielte man nur eine winzige Menge an Materie in der Größe eines Stecknadelkopfes. Die Masse des Ozeandampfers würde aber erhalten bleiben, und man könnte einen solchen Stecknadelkopf natürlich nicht heben. Die Massen von Proton und Neutron liegen im Bereich von  $10^{-27}$  kg. Da das Rechnen mit so kleinen Werten ungünstig ist, gibt man zur Beschreibung der Masse eines Atomkerns lediglich an, wie viele Protonen und Neutronen er enthält. Dies ist seine Massenzahl.

Neben der Masse ist die elektrische Ladung die zweite wichtige Eigenschaft des Atomkerns. Jedes Proton besitzt die kleinste bisher nachgewiesene positive Ladungsmenge, die deshalb auch Elementarladung genannt wird. Die Anzahl der Protonen ist also gleich der Anzahl der Elementarladungen. Das wird durch die Kernladungszahl beschrieben. Sie entspricht der Ordnungszahl der chemischen Elemente.

# AUFBAU EINES ATOMS

Das Atom besteht aus dem elektrisch positiv geladenen Kern und der negativ geladenen Hülle

Bestandteile des Atomkerns:	●	Proton ( + )
	●	Neutron ( n ) Ausnahme: $H_1$
Bestandteile der Atomhülle:	○	Elektron ( - )



	<b>Gramm</b>	<b>Masseneinheit</b>	<b>Ladung</b>
Proton	$1,672649 \times 10^{-24}$	1,007276	+ 1
Neutron	$1,674954 \times 10^{-24}$	1,008665	0
Elektron	$9,109535 \times 10^{-28}$	0,0005485803	- 1

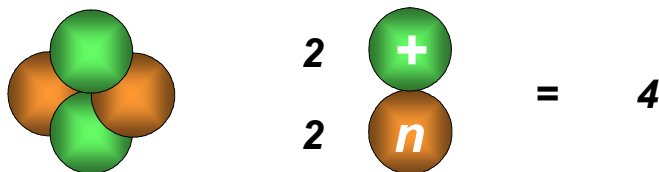
# AUFBAU EINES ATOMS

Zur Kennzeichnung des Kernaufbaus wird die Massenzahl (Anzahl der Protonen und Neutronen) oben links, die Kernladungszahl (Anzahl der Protonen) unten links neben das chemische Symbol gesetzt.

<b><math>^4_2\text{He}</math></b>
Kern eines Heliumatoms
Massenzahl: 4 Kernladungszahl: 2

Kern eines Heliumatoms

Atommasse 4 amu (atomic mass units)

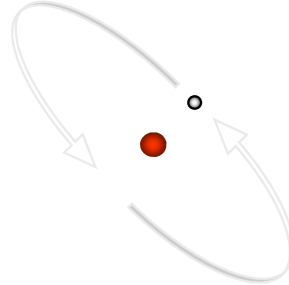


Elementarteilchen	Masse (Ruhemasse)		Ladung	
	in kg	in Elektronenmassen	in Coulomb	in Elementarladungen
<b>Elektron</b>	$9,10938 \cdot 10^{-31}$	1	$- 1,6022 \cdot 10^{-19}$	-1
<b>Proton</b>	$1,67262 \cdot 10^{-27}$	1836,15	$1,6022 \cdot 10^{-19}$	+1
<b>Neutron</b>	$1,67493 \cdot 10^{-27}$	1838,68	0	0

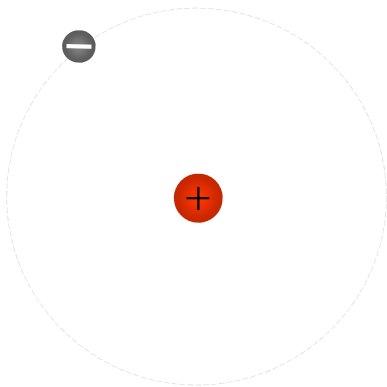
# AUFBAU EINES ATOMS

---

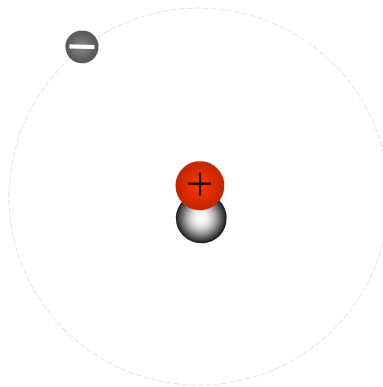
Vereinfachtes Modell  
eines Wasserstoffatoms



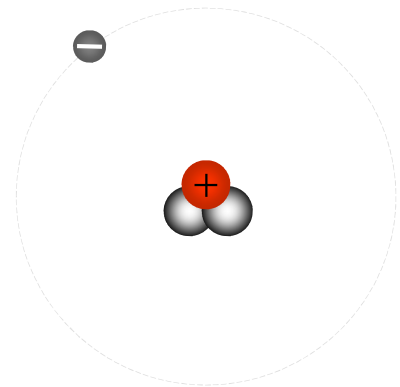
Die Isotope des Wasserstoffs



Einfacher Wasserstoff

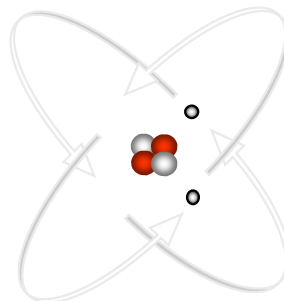


Deuterium



Tritium

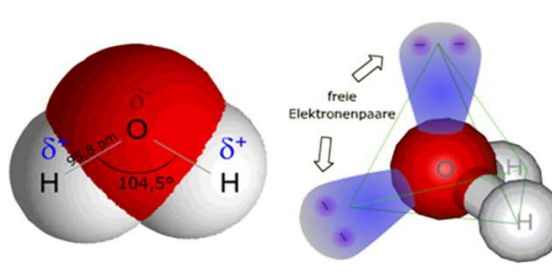
Vereinfachtes Modell  
eines Heliumatoms





# HAUPTMASSEN HÄUFIG VORKOMMENDER GASE

<i>Masse</i>	<i>Symbol</i>	<i>Stoff</i>
2	H <sub>2</sub>	Wasserstoff
4	He	Helium
12	C	Kohlenstoff
14	N	Stickstoff
16	O	Sauerstoff
	CH <sub>4</sub>	Methan
17	OH	Hydroxid
18	H <sub>2</sub> O	Wasser
19	F	Fluor
20	Ar	Argon
	HF	Wasserstofffluorid
27,29		Kohlenwasserstoffe
28	N <sub>2</sub>	Stickstoff
	CO	Kohlenmonoxid
32	O <sub>2</sub>	Sauerstoff
35,37	Cl	Chlor
36,38,40	Ar	Argon
44	CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
41,43		Kohlenwasserstoffe
55,57		Pumpenöl
69,51,31,19		PFPE



# THERMODYNAMIK

(Auszug)

Das Maß für die Energie ist die Temperatur, welche in der ungeordneten thermischen Bewegung der Teilchen steckt.

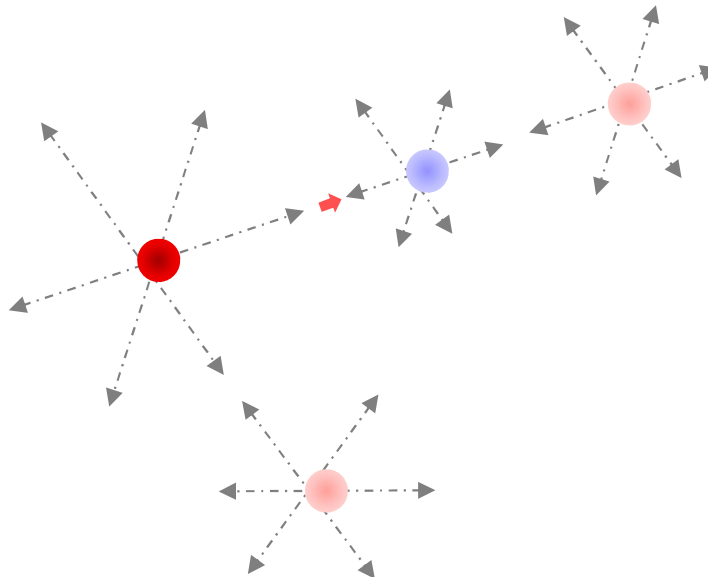
Bei Gasen und Flüssigkeiten ist es die kinetische Energie der Translation und Rotation der Moleküle, sowie die Schwingungsenergie der Molekülschwingungen.

In Festkörpern schwingen die Atome um ihre Ruhelagen; hierbei werden mit zunehmender Temperatur die Schwingungsamplituden immer größer. Bringt man zwei Körper, die sich auf verschiedenen Temperaturen befinden, in Kontakt, dann findet ein Temperatúrausgleich statt.

Die Temperatur des kälteren Körpers nimmt zu und die des wärmeren Körpers nimmt ab.

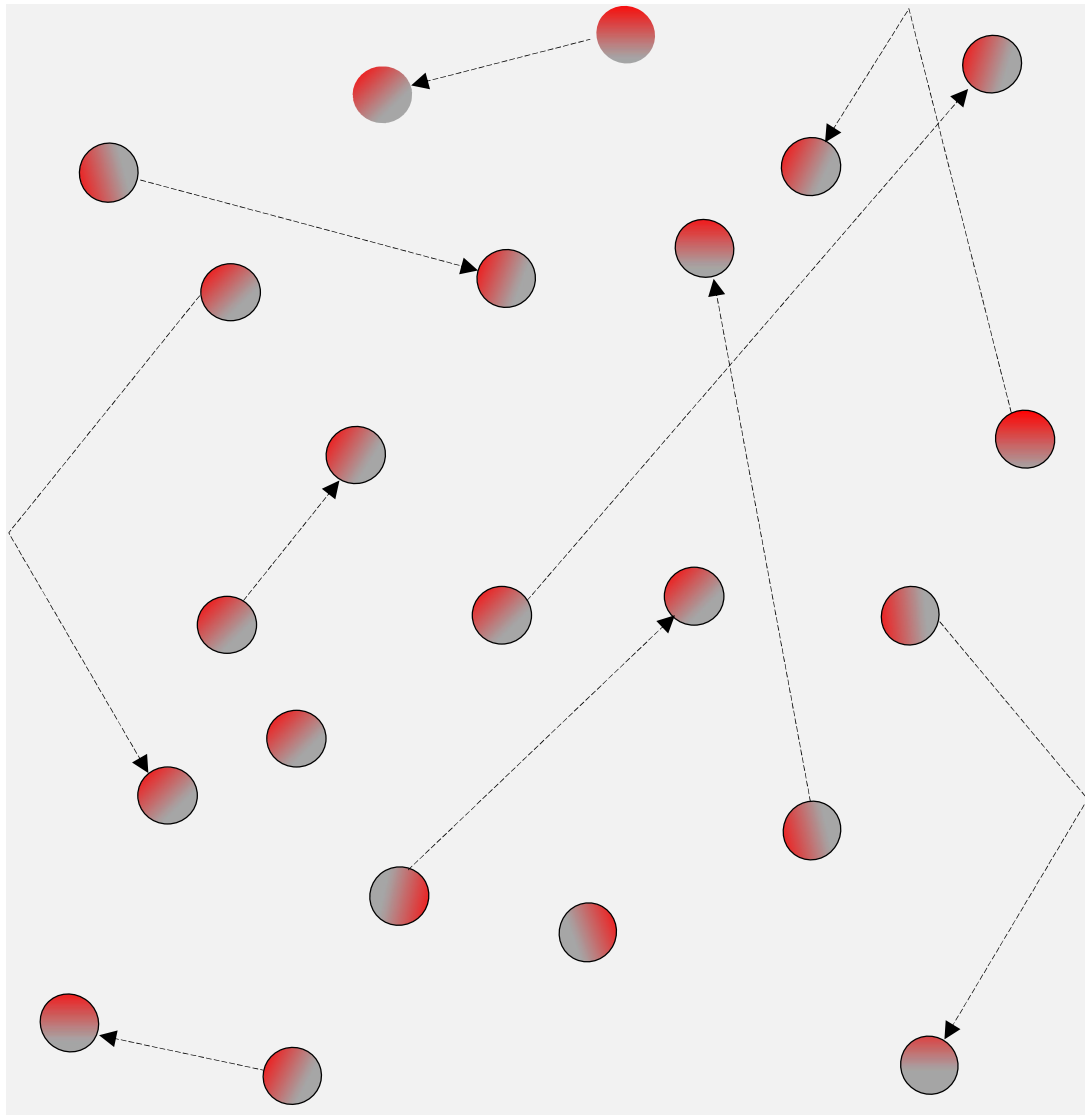
Dies bedeutet nach den vorgenannten Erläuterungen, dass vom warmen System an das kalte System Energie übertragen wird. Diese Energieübertragung belegt man mit dem Begriff Wärme.

Wärme ist die Energie, die aufgrund eines Temperaturunterschiedes zwischen zwei Systemen übertragen wird. Diese Energieübertragung hat eine eindeutige Richtung. Die Wärme fließt stets in die Richtung der niedrigeren Temperatur. Der Wärmeübertrag ist also ein irreversibler Prozess.

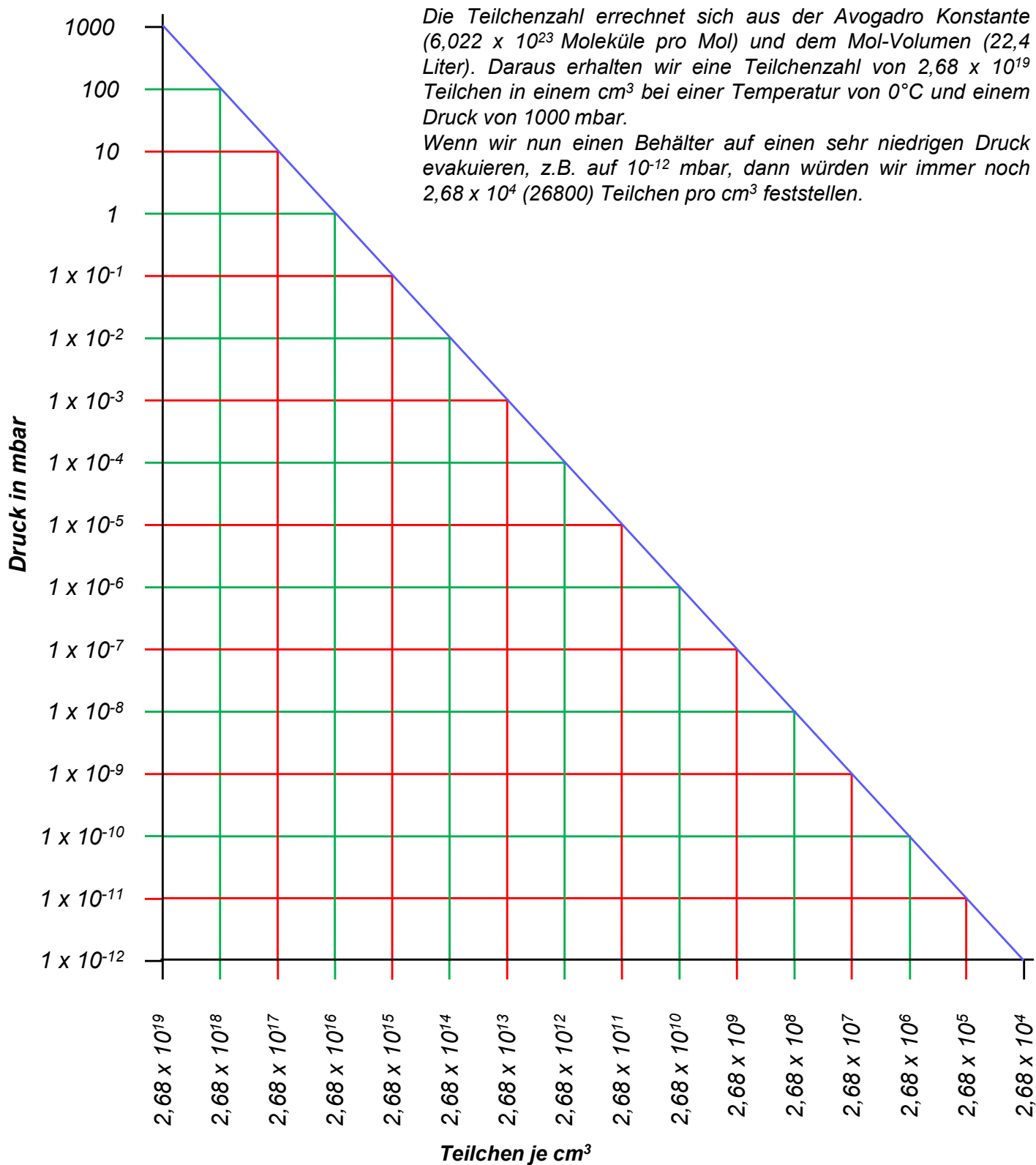


# MITTLERE FREIE WEGLÄNGE

*Die mittlere freie Weglänge ist diejenige Strecke, die ein Teilchen im Durchschnitt frei, d. h. ohne Zusammenstoß mit einem anderen Teilchen zurücklegen kann. Grundsätzlich gilt, je weniger Gasteilchen vorhanden sind, desto weiter kann ein einzelnes fliegen. Die mittlere freie Weglänge ist groß.*



# TEILCHENZAHL IN VAKUUMBEHÄLTERN



# BEWEGUNGSVORGÄNGE IN VAKUUMBEHÄLTERN

## Mittlere freie Weglänge

Druck p	Luft	Wasserstoff
1000 mbar	$6 \cdot 10^{-6}$ cm	$2 \cdot 10^{-5}$ cm
1 mbar	$6 \cdot 10^{-3}$ cm	$2 \cdot 10^{-2}$ cm
$10^{-3}$ mbar	6 cm	20 cm
$10^{-6}$ mbar	60 m	200 m
$10^{-9}$ mbar	60 km	200 km

Die thermische Geschwindigkeit der Moleküle könnte folglich so beschrieben werden.

Je höher die Temperatur, desto größer ist die Geschwindigkeit der Gasteilchen und desto höher ist natürlich auch der Druck im Vakuumbehälter (Rezipient).

Die leichteren Gasmoleküle wie Wasserstoff und Helium besitzen höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten als die schwereren Gasmoleküle ( $\text{H}_2\text{O}$ ) oder ( $\text{CO}_2$ ). In einem Behälter befindet sich in den wenigsten Fällen nur eine einzige Gasart. Es handelt sich immer um Gasgemische mit unterschiedlichen Gaszusammensetzungen.

Gas	rel. Molekülmasse	Durchschnittsgeschwindigkeit
Wasserstoff $\text{H}_2$	2	1762 m/s
Helium He	4	1246 m/s
Wasserdampf $\text{H}_2\text{O}$	18	587 m/s
Stickstoff $\text{N}_2$	28	471 m/s
Luft	-	463 m/s
Argon Ar	40	394 m/s
Kohlendioxid $\text{CO}_2$	44	376 m/s
bei 20 °C		

# GASBINDUNG - GASABGABE

## **Adsorption:**

Die Bindung von Gasen an Oberflächen von Festkörpern oder Flüssigkeiten.

## **Absorption:**

Aufnahme von Teilchen im Inneren einer Flüssigkeit oder eines Festkörpers.

Dem Absorptionsprozess geht in der Regel eine Adsorption (Anlagerung an der Grenzfläche und Oberflächenwanderung) voraus.

## **Desorption:**

Abgabe ad- oder absorbiert Teilchen durch das Adsorbens an die umgebende Phase.

## **Permeabilität:**

Durchlässigkeit von Stoffen

## **Permeation:**

Ist der Durchgang eines Gases durch einen Festkörper oder Flüssigkeit endlicher Dicke.

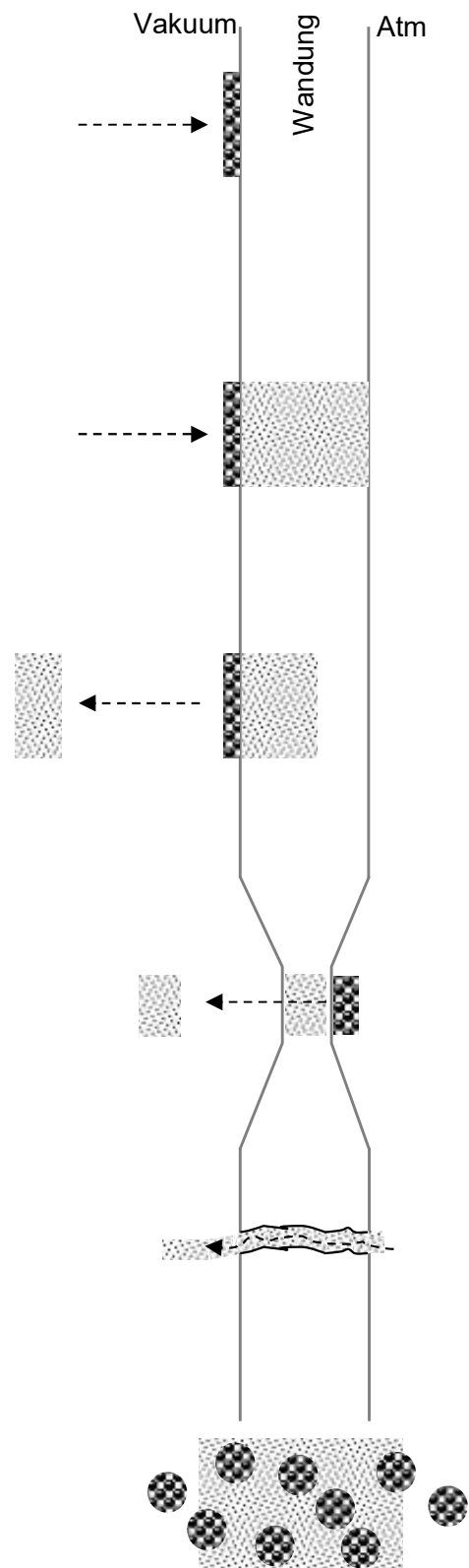
*Permeation = Adsorption, Diffusion u. Desorption.*

## **Leck:**

Mit dem Begriff Leck bezeichnet man Löcher oder Poren in einer Wandung.

## **Diffusion:**

Ist die Bewegung eines Gases in einem anderen Medium. Das Medium kann gasförmig, flüssig oder fest sein.



# BILDUNG VON HELIUM – IONEN

## Beispiel:

---

### 1.) Neutrales Helium - Atom

*Der Kern eines Helium – Atoms besteht aus 2 Protonen und 2 Neutronen. In der Hülle des Atoms befinden sich 2 Elektronen. Da die Protonen jeweils eine positive Ladung, die Elektronen jeweils eine negative Ladung aufweisen, heben sich diese entgegengesetzten Ladungen auf.*

**Das Atom erscheint nach Außen hin                    *NEUTRAL***

### 2.) Elektronenbeschuss des Heliums

*In der Ionenquelle werden zur Ionisation Elektronen mit ca. 100eV bei einer ungefähren Stromstärke von 1 mA in den Gasraum geschossen. Die Elektronen erreichen die Hülle der Helium - Atome.*

### 3.) Entfernen eines Hüllen - Elektrons

*Durch ein aus einer Elektronenquelle emittiertes und beschleunigtes Elektron wird ein Hüllen - Elektron aus der Schale ausgestoßen. Beide Elektronen fliegen weiter.*

### 4.) Ionisiertes, positiv geladenes Helium

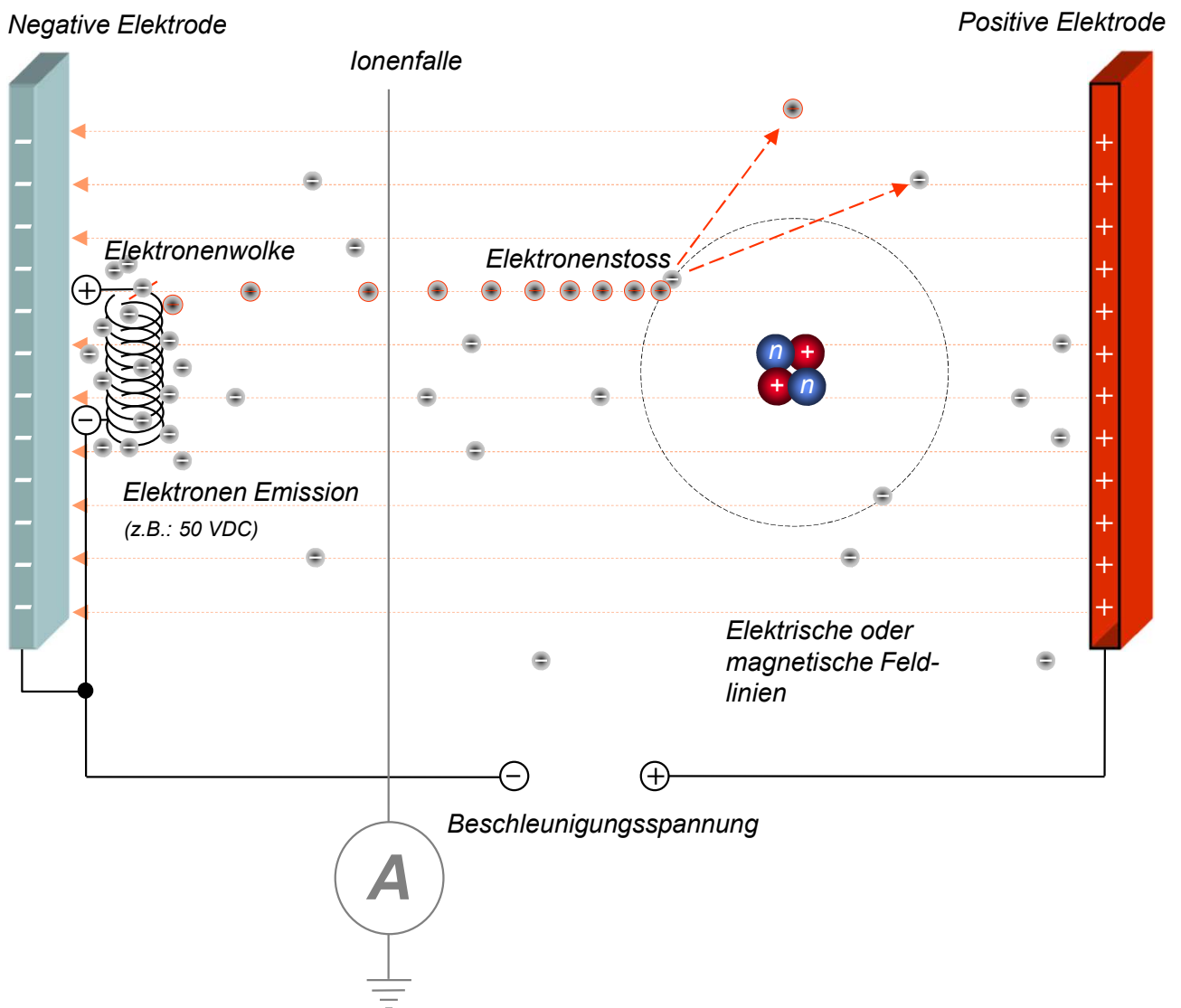
*Nach dem Beschuss mit Elektronen befinden sich 2 Protonen und 2 Neutronen im Kern, in der Hülle nur noch 1 Elektron.*

*"Es überwiegt die **POSITIVE LADUNG**"*

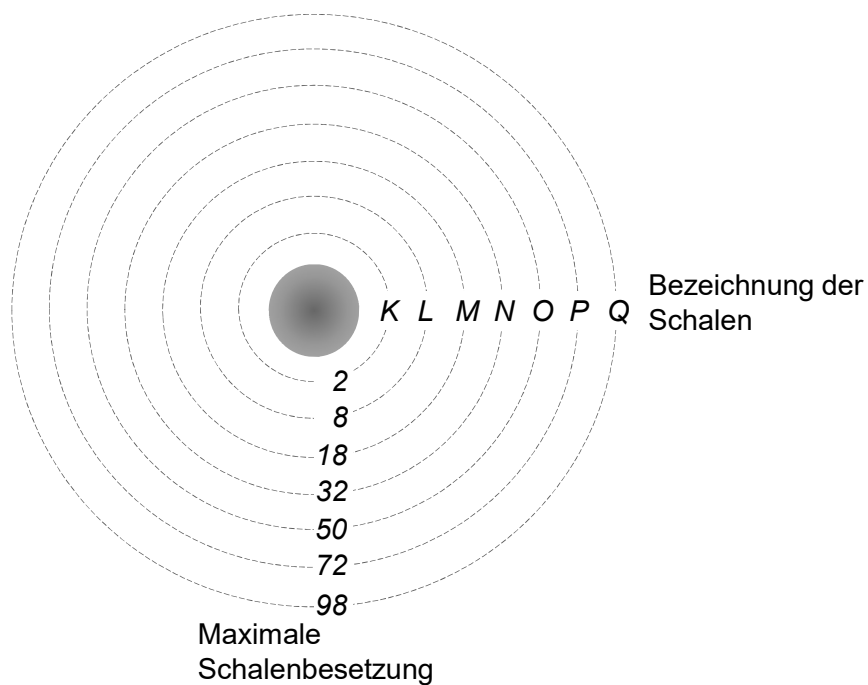
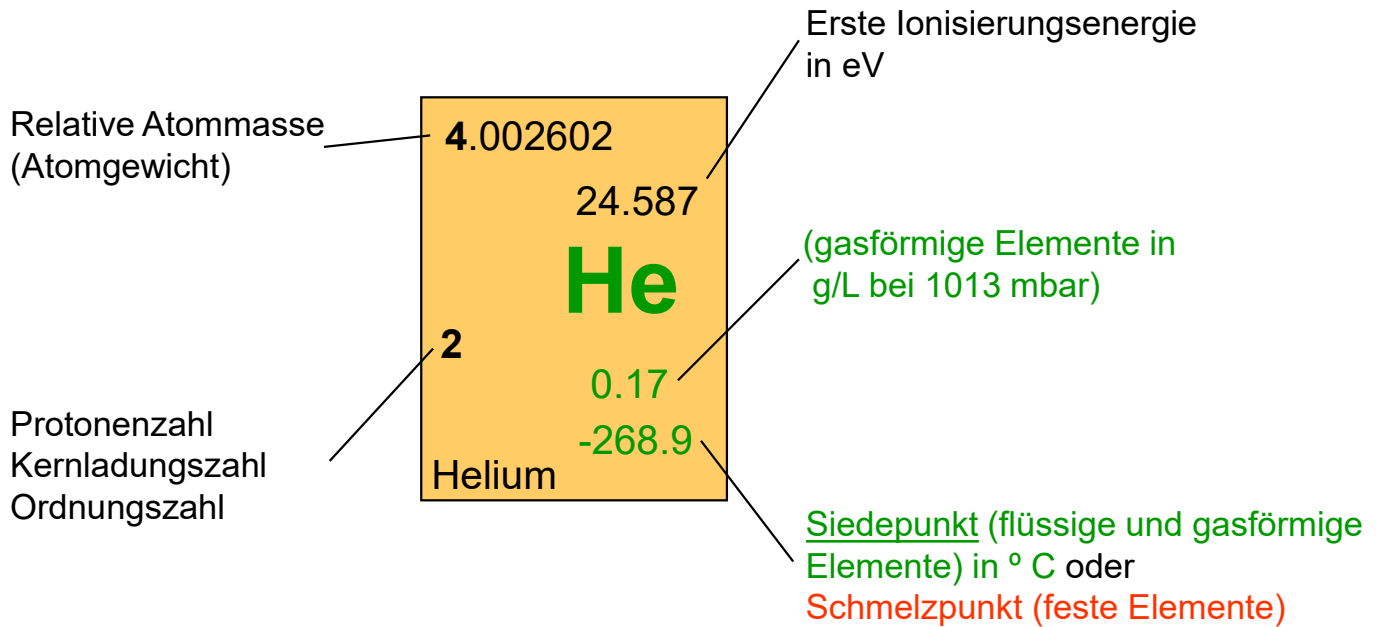


# BILDUNG VON HELIUM – IONEN

## Graphik:



# PERIODENSYSTEM DER ELEMENTE



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.00794 13.598 <b>H</b> Wasserstoff	6.941 5.392 <b>Li</b> Lithium	9.012182 9.322 <b>Be</b> Beryllium	12	20.90638 6.82 <b>B</b> Bor	24.0078 6.113 <b>C</b> Kohlenstoff	50.9415 7.435 <b>N</b> Stickstoff	54.93805 7.635 <b>O</b> Sauerstoff	58.93320 7.86 <b>F</b> Fluor	58.93320 7.86 <b>Ne</b> Neon	63.546 7.726 <b>Na</b> Natrium	65.39 9.394 <b>Mg</b> Magnesium	69.723 5.999 <b>Al</b> Aluminium	72.61 7.899 <b>Si</b> Silicium	74.92159 9.81 <b>P</b> Phosphor	78.96 9.752 <b>S</b> Schwefel	79.904 11.814 <b>Cl</b> Chlor	83.80 13.999 <b>Ar</b> Argon
85.4678 4.177 <b>K</b> Kalium	87.62 6.38 <b>Ca</b> Calcium	88.90585 6.38 <b>Sc</b> Scandium	89.90471 6.38 <b>Ti</b> Titan	90.90638 6.82 <b>V</b> Vanadium	92.90638 6.82 <b>Cr</b> Chrom	95.94 7.099 <b>Mn</b> Mangan	98.9063 7.28 <b>Fe</b> Eisen	101.07 7.37 <b>Co</b> Cobalt	102.90550 7.46 <b>Ni</b> Nickel	104.07 7.46 <b>Cu</b> Kupfer	107.8682 7.576 <b>Zn</b> Zink	114.818 5.786 <b>Ga</b> Gallium	118.710 7.344 <b>Ge</b> Germanium	121.757 7.899 <b>As</b> Arsen	127.60 9.009 <b>Se</b> Selen	126.90447 10.451 <b>Br</b> Brom	131.29 12.130 <b>Kr</b> Krypton
132.90543 3.894 <b>Rb</b> Rubidium	137.327 5.212 <b>Sr</b> Strontium	138.90543 5.212 <b>Y</b> Yttrium	140.90765 5.212 <b>Zr</b> Zirkon	140.90765 5.212 <b>Nb</b> Niobium	140.90765 5.212 <b>Mo</b> Molybdän	140.90765 5.212 <b>Tc</b> Technetium	140.90765 5.212 <b>Ru</b> Ruthenium	140.90765 5.212 <b>Rh</b> Rhodium	140.90765 5.212 <b>Pd</b> Palladium	140.90765 5.212 <b>Ag</b> Silber	140.90765 5.212 <b>Cd</b> Cadmium	140.90765 5.212 <b>In</b> Indium	140.90765 5.212 <b>Sn</b> Zinn	140.90765 5.212 <b>Sb</b> Antimon	140.90765 5.212 <b>Te</b> Tellur	140.90765 5.212 <b>I</b> Jod	140.90765 5.212 <b>Xe</b> Xenon
223.0197 4.0 <b>Fr</b> Francium	226.0254 5.279 <b>Ra</b> Radium	226.0254 5.279 <b>Ac-Lr</b> Actinide-Lanthanide	226.0254 5.279 <b>La</b> Lanthan	226.0254 5.279 <b>Ce</b> Cerium	226.0254 5.279 <b>Pr</b> Praseodym	226.0254 5.279 <b>Nd</b> Neodym	226.0254 5.279 <b>Pm</b> Promethium	226.0254 5.279 <b>Sm</b> Samarium	226.0254 5.279 <b>Eu</b> Europium	226.0254 5.279 <b>Gd</b> Gadolinium	226.0254 5.279 <b>Tb</b> Terbium	226.0254 5.279 <b>Dy</b> Dysprosium	226.0254 5.279 <b>Ho</b> Holmium	226.0254 5.279 <b>Er</b> Erbium	226.0254 5.279 <b>Tm</b> Thulium	226.0254 5.279 <b>Yb</b> Ytterbium	226.0254 5.279 <b>Lu</b> Lutetium
226.0254 5.279 <b>Ac</b> Actinium	226.0254 5.279 <b>Th</b> Thorium	226.0254 5.279 <b>Pa</b> Protactinium	226.0254 5.279 <b>U</b> Uran	226.0254 5.279 <b>Np</b> Neptunium	226.0254 5.279 <b>Pu</b> Plutonium	226.0254 5.279 <b>Am</b> Americium	226.0254 5.279 <b>Cm</b> Curium	226.0254 5.279 <b>Bk</b> Berkelium	226.0254 5.279 <b>Cf</b> Californium	226.0254 5.279 <b>Es</b> Einsteinium	226.0254 5.279 <b>Fm</b> Fermium	226.0254 5.279 <b>Md</b> Mendelevium	226.0254 5.279 <b>No</b> Nobelium	226.0254 5.279 <b>Lr</b> Lawrencium	226.0254 5.279 <b>Ac-Lr</b> Actinide-Lanthanide	226.0254 5.279 <b>Ac-Lr</b> Actinide-Lanthanide	226.0254 5.279 <b>Ac-Lr</b> Actinide-Lanthanide

Diese Darstellung ist  
den Anforderungen der  
Seminare:  
Vakuum - Grundlagen  
und Kryotechnik der  
Fa. Infraserb angepasst.

# SCHREIBWEISE - ZEHNERPOTENZ

---

Beispiel:

$$0,00042 = 4,2 \times 10^{-4}$$

4,2 = Mantisse

-4 = Exponent

$$1 \times 10^6 = 1 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 1000000$$

$$1 \times 10^5 = 1 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 100000$$

$$1 \times 10^4 = 1 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10000$$

$$1 \times 10^3 = 1 \times 10 \times 10 \times 10 = 1000$$

$$1 \times 10^2 = 1 \times 10 \times 10 = 100$$

$$1 \times 10^1 = 1 \times 10 = 10$$

$$1 \times 10^0 = 1 = 1$$

$$1 \times 10^{-1} = 1 \times \frac{1}{10} = 0,1$$

$$1 \times 10^{-2} = 1 \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} = 0,01$$

$$1 \times 10^{-3} = 1 \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} = 0,001$$

$$1 \times 10^{-4} = 1 \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} = 0,0001$$

$$1 \times 10^{-5} = 1 \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} = 0,00001$$

$$1 \times 10^{-6} = 1 \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} = 0,000001$$

$$1 \times 10^{-7} = 1 \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} = 0,0000001$$

# STRÖMUNGSARTEN

---

**Laminare** (auch viskose) Strömung zeichnet sich durch geordneten Fluss benachbarter Schichten des Mediums aus. Sie herrscht vor, wenn die mittlere freie Weglänge der Gasmoleküle klein ist im Vergleich zum Rotordurchmesser. In diesem Fall dominieren die Stöße der Moleküle untereinander, die Strömung hängt von der Geometrie des Systems, den Druckdifferenzen und dem absoluten Druck ab.

**Molekularströmung** tritt auf, wenn die mittlere freie Weglänge der Moleküle gleich oder größer als die typischen Abmessungen des Systems ist. Stöße finden in diesem Fall im wesentlichen mit den Wänden statt, die Strömung ist unabhängig vom absoluten Druck des Gases. Wichtig für die Berechnung in der Vakuumtechnik sind die in der Graphik angegebenen Abgrenzungen der Strömungsbereiche.

**Laminare Strömung** herrscht vor, wenn das Produkt aus Druck und Rohrdurchmesser größer als etwa 0,6 mbar x cm ist.

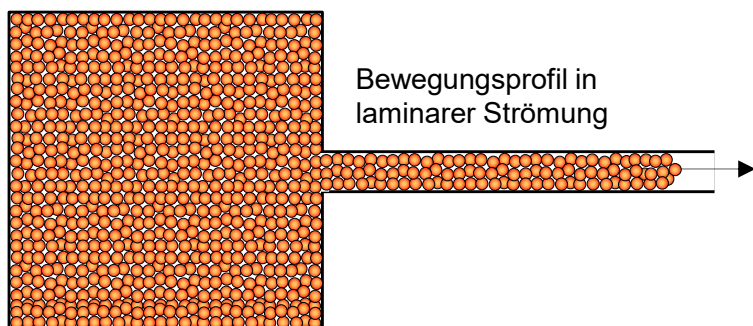
**Molekularströmung** existiert für  $p \times d < 2 \times 10^{-2}$  mbar x cm. Für beide Strömungsbereiche gelten einfache Berechnungsformeln, der dazwischen liegende Bereich der sogenannten Übergangsströmung ist durch Korrekturfaktoren und Nomogramme zugänglich.

# STRÖMUNGSARTEN

In der Vakuumtechnik teilt man die Strömungsarten von Molekülen in folgende Bereiche auf.

<b>Extremes Ultrahoch-Vakuum XHV</b> $< 10^{-11}$ mbar	<b>Ultrahochvakuum</b> $10^{-11}$ bis $10^{-7}$ mbar	<b>Hochvakuum</b> $10^{-7}$ bis $10^{-3}$ mbar	<b>Feinvakuum</b> $10^{-3}$ bis 1 mbar	<b>Großvakuum</b> 1 bis ca. $10^3$ mbar
	<b>Molekular - Strömung</b> Teilchen auf der Oberfläche überwiegen bei weitem gegenüber den Teilchen im Gasraum	<b>Molekular - Strömung</b> starke Abnahme der Volumenstoßrate	<b>Knutsen - Strömung</b> stärkere Änderung der Wärmeleitfähigkeit des Gases	<b>Laminar - Strömung</b> (viskose Strömung) Konvektion/ Druckabhängig

**Laminar**  
- Strömung

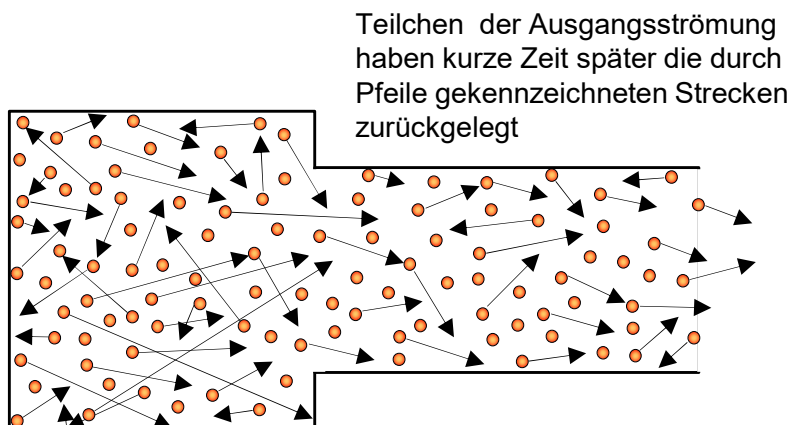


Bewegungsprofil in laminarer Strömung

**Im Bereich verwendbare Vakuumpumpen**

Groß- und Fein-Vakuumpumpen

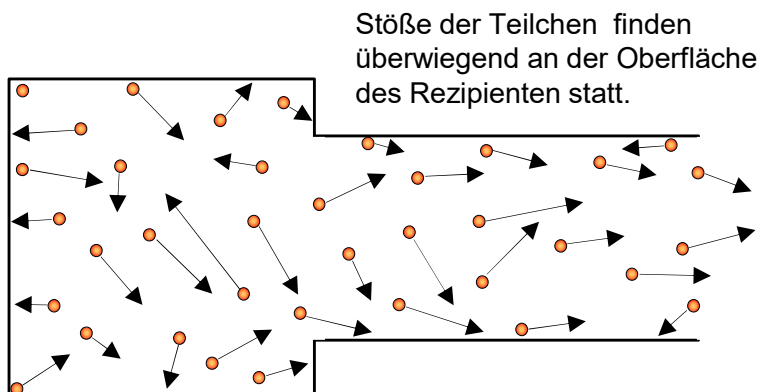
**Molekular**  
- Strömung  
- HV



Teilchen der Ausgangsströmung haben kurze Zeit später die durch Pfeile gekennzeichneten Strecken zurückgelegt

Hochvakuum-pumpen

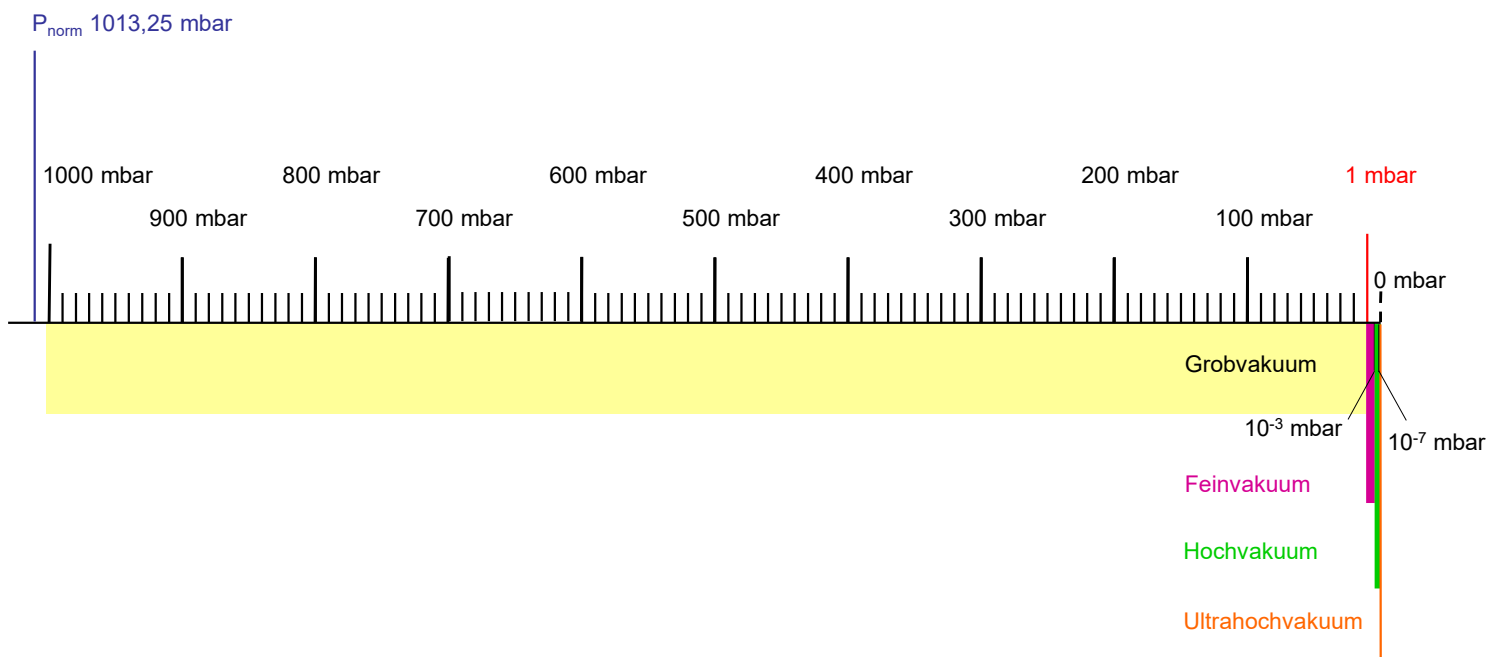
**Molekular**  
- Strömung  
- UHV



Stöße der Teilchen finden überwiegend an der Oberfläche des Rezipienten statt.

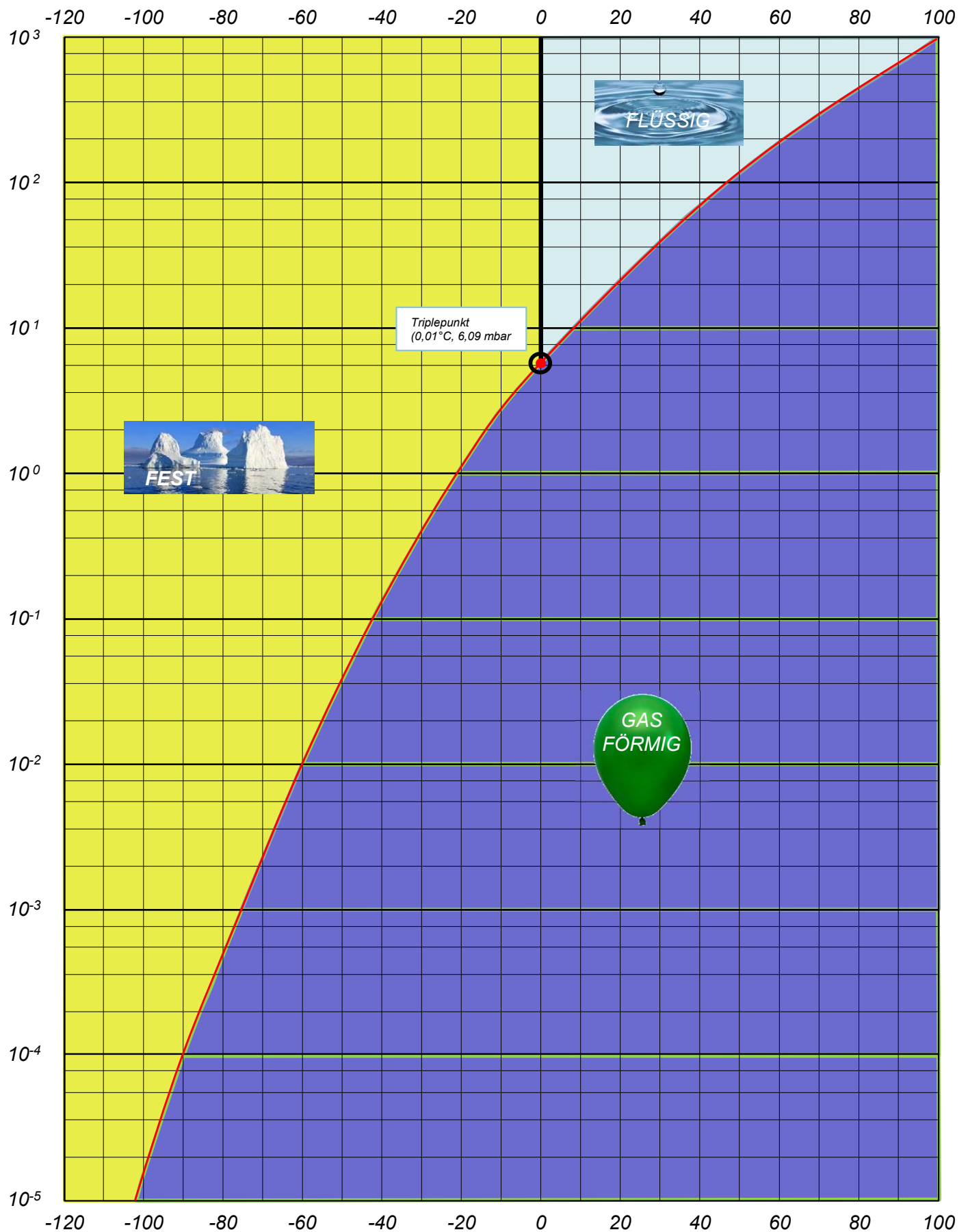
Ultrahochvakuum-pumpen

# DARSTELLUNG DER VAKUUMBEREICHE

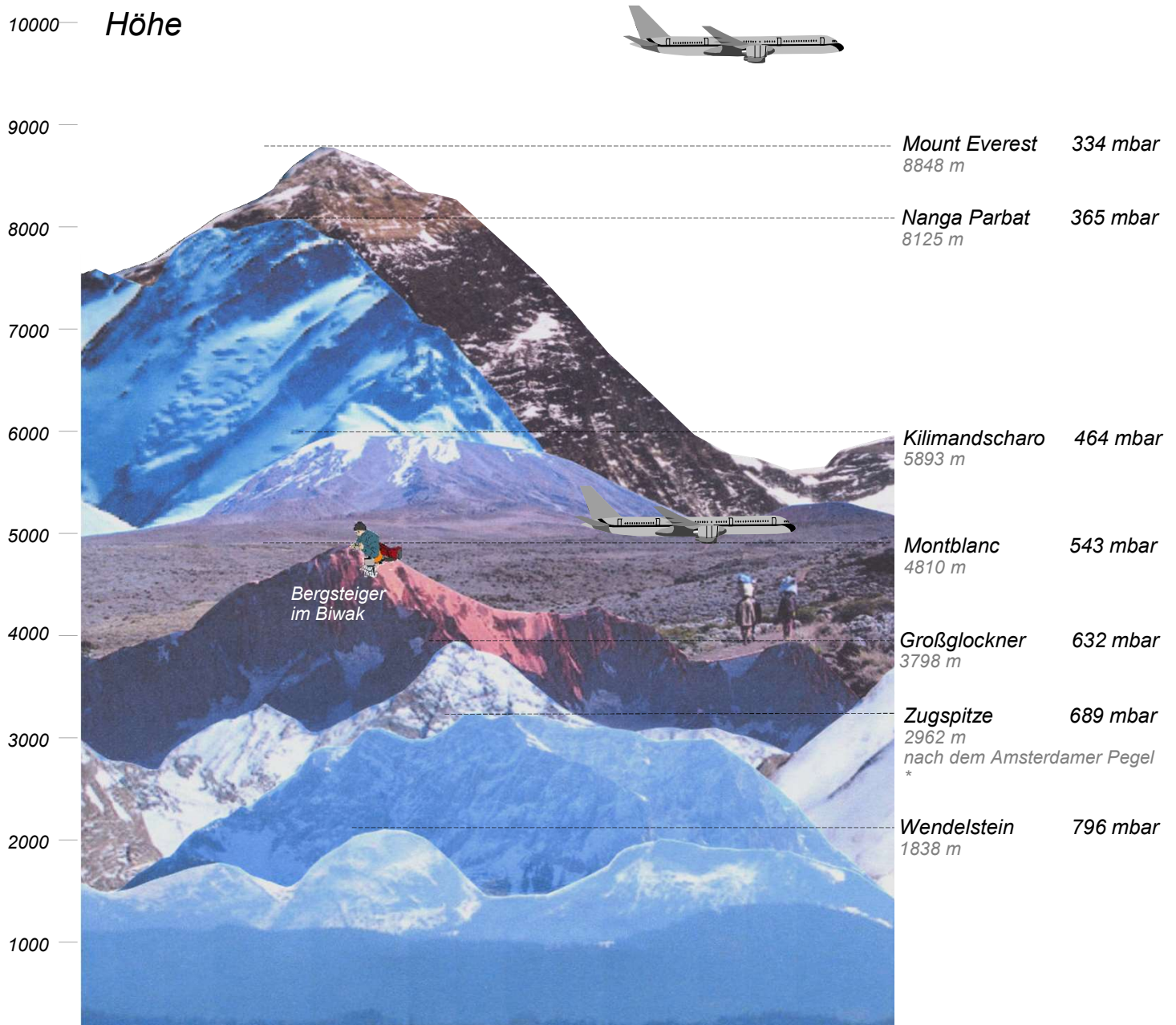




# PHASENDIAGRAMM VON WASSER



# LUFTDRÜCKE IN UNTERSCHIEDLICHEN HÖHEN



**Als Faustregel gilt allgemein:** Der Luftdruck halbiert sich etwa alle 5500 m  
In 100 km Höhe beträgt er nur noch 1 mbar

\*Österreich gibt nach dem Triester Pegel die Höhe der Zugspitze ebenfalls mit 2962 m an,  
Obwohl der Triester Pegel 27 cm niedriger ist als der Amsterdamer Pegel.

# O- RING, WERKSTOFFE, BEZEICHNUNGEN

Werkstoff Bezeichnung	Handelsname	Hersteller	Kurzbezeichnung	
			ISO 1629*	ASTM D-1418*
Acrylnitril-Butadien-Elastomer	Buna N Europrene Krynac Nipol N Perbunan N	Chemische Werke Hüls Enichem Polysar Ltd. Nippon Zeon Bayer AG	NBR	NBR
Fluor-Elastomer	Fluorel Tecnoflon Viton	3M Company Ausimont Du Pont Dow Elastomers	FPM	FKA
Silicon-Elastomer Elastomere vinyl-methyle-polysiloxane	Elastosil Rhodorsil Silastic Silopren	Wacker Chemie Rhone Poulenc Dow Corning Bayer AG	MVQ	VMQ
Ethylen-Propylen-Dien-Elastomer	Dutral Keltan Vistalon	Montedison DSM Exxon Chemical	EPDM	EPDM
Chloroprene-Elastomer	Baypren Butador Neoprene	Bayer AG Rhone Poulenc Du Pont Dow Elastomers	CR	CR
Hydriertes Acrylnitril-Elastomer	Therban Tornac Zetpol	Bayer AG Polysar Ltd. Nippon Zeon	HNBR	HSN
Fluorsilikon-Elastomer	Silastic	DuPont Dow Elastomers	MFQ	FVMQ
Perfluor-Elastomer	Kalrez	Du Pont Dow Elastomers		FFKM
Acrylat-Elastomer	Europrene AR Hytemp Nipol	Enichem Nippon Zeon Nippon Zeon	ACM	ACM
Butyl-Elastomer	Esso Butyl Polysar Butyl	Esso Chemie Polysar Ltd.	I IR	I IR
Styrol-Butadien-Elastomer Elastomere styrene-butadiene	Buna S Europrene Polysar S	Chemische Werke Hüls Enichem Polysar Ltd.	SBR	SBR
Polyester-Urethan-Elastomer Polyether-Urethan-Elastomer	Adiprene Urepan Vulcollan	Uniroyal Bayer AG Bayer AG	AU/EU	AU/EU
Natur-Kautschuk	Natsyn	Goodyear	NR	NR

\*ISO: International Organization for Standardization

\*ASTM: American Society for Testing and Materials

## Dimensionsbestimmung:

Der Innendurchmesser ( $d_1$ ) wird vorteilhaft mit Stufen-Messdornen oder, bei größeren O-Ringen, mit Messbändern bestimmt. Die Ermittlung der gestreckten Länge durch Aufschneiden des O-Ringes ist notfalls auch möglich; dabei muss aber mit Messfehlern gerechnet werden. Der Schnurdurchmesser ( $d_2$ ) wird radial und axial mit Messtastgeräten ohne Federkraft gemessen. Berührungslose Messungen mit einem Profilprojektor sind auch möglich.

# UNTERSCHIEDLICHE PUMPENÖLE

Eigenschaften:



	Mineralöl	Weißöl	Synthetisches Öl
<b>Aufbau</b>	Gemisch von Kohlenwasserstoffen	Paraffine	<u>Per</u> fluorierte <u>Poly</u> ether
<b>Dampfdruck</b>	sehr niedrig	niedrig	niedrig
<b>Schmierfähigkeit</b>	sehr gut	gut	gut
<b>Chemische Beständigkeit</b>	gering	mittel	hervorragend
<b>Preis</b>	Niedrig (ca. 10 €)	Mittel (ca. 20 €)	Hoch (bis zu 500 €)
<b>Einsatz</b>	Standard-Anwendung	Chemie	Sauerstoff Plasma Chemie

# REINIGUNG UND HANDLING VON VAKUUMBAUTEILEN

---

Vakuumbauteile müssen frei von Staub, Spänen, Kohlenwasserstoffen (Ölen, Fetten, Weichmachern) und hygroskopischen (Wasser anziehenden) Stoffen sein.

Das muss schon bei der Herstellung bedacht werden, da manche Bauteile später kaum noch den Anforderungen entsprechend zu reinigen sind (Bälge o.ä.).

**Reinigungsverfahren:** (Teilweise mit Oberflächenverbesserung)

Nassglasperlenstrahlen, Beizen, Elektropolieren, Entfettung mit Lösungsmitteln, soweit noch zulässig.

Alkalische Entfettung (Trinatriumphosphat, P3, i.d. Spülmaschine) Entfettung mit Detergentien („Spülmittel“)

Ausheizen oder Herstellung im Vakuumofen

## **Zusammenbau von Vakuumteilen:**

- Die zur Montage vorgesehenen Teile müssen stets kritisch angesehen werden.  
Verschmutzungen, Risse u.s.w. sind oft mit dem Auge sichtbar!
- Wischprobe mit weißem Tuch!
- Zum Montieren muss ein gut beleuchteter und sauberer Arbeitsplatz vorhanden sein, an dem Ordnung herrscht.
- Hochvakuumbauteile dürfen nicht mit bloßen Händen und nur mit geeigneten, sauberen Handschuhen angefasst werden.
- Flansche und Dichtungen müssen kratzerfrei sein.
- Flansche vor Arbeitsunterbrechung erst fertig befestigen.

# BETRIEB VON VAKUUMPUMPEN UND ANLAGEN

---

## **Vor dem Einschalten von Vakuumvorpumpen:**

- Ölstand in Ordnung?
- Ölwechseletikett vorhanden?
- Prüfen der Ölfarbe (Bei sehr dunkler Färbung ist das Öl zu wechseln, milchigweisses Öl enthält Wasser!)
- Drehrichtung des Pumpenmotors prüfen: Hand auf Auspuffstutzen legen, sehr kurz einschalten!
- Stellung des Gasballast - Ventils prüfen.                      Luftspülventil zur Verhinderung oder Entfernung von (Wasser-) Kondensat.
- Auspuff – Filter und Auspuffschlauch angeschlossen?
- Auspumpzeit / Pumpendimension mit 1/3 Formel abschätzen.

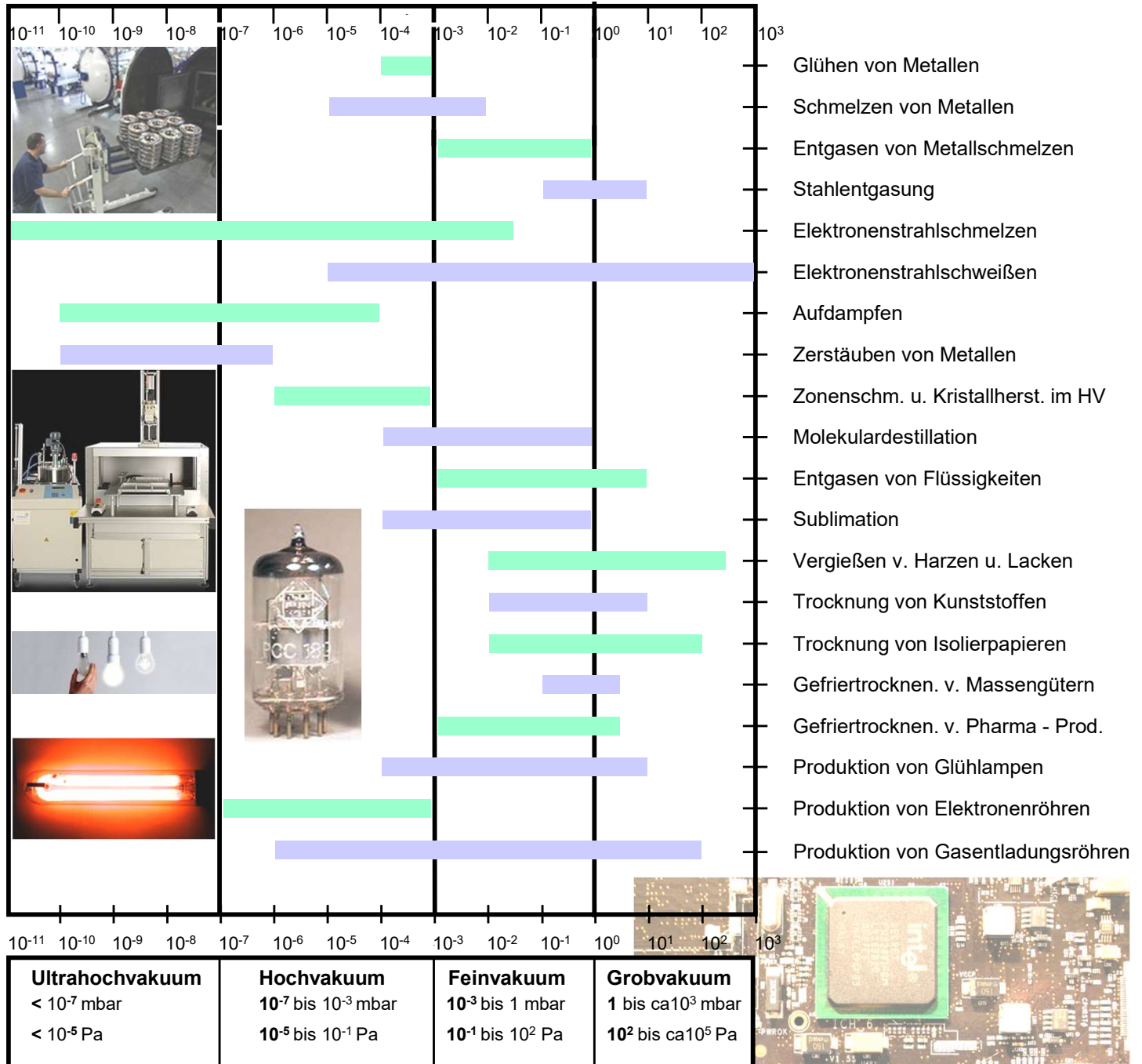
## **Einschalten von Vakuumanlagen allgemein:**

- Ölstand in der Turbopumpe in Ordnung? (Falls vorhanden)
- Betriebsstundenzähler an der Turbopumpe beachten, Schmierstoffetikett prüfen
- Auf Pumpengeräusche beim Hochfahren achten
- Nach Arbeiten am Vakuumsystem: Verbindungen und Dichtungen prüfen
- Funktion der Vakuummesssysteme (Messzellen) prüfen

## **Abschalten / Fluten von Vakuumanlagen:**

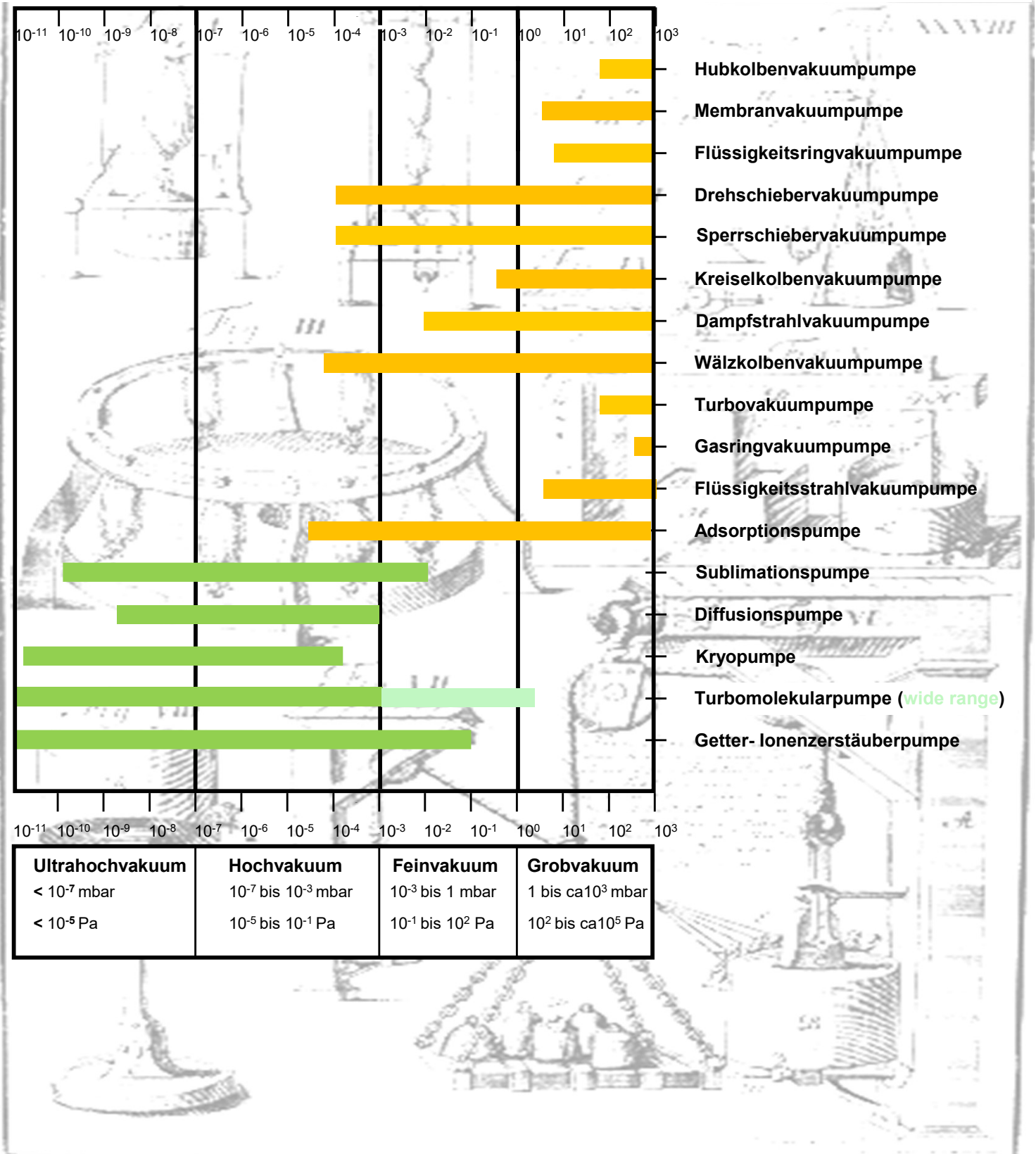
- Beim Abschalten von Turbomolekularpumpen **sollte** geflutet werden
- Messzellen und Messinstrumente, wenn nötig ausschalten!
- Vor Öffnen von Hochvakuumanlagen mit Trockenstickstoff fluten.
- Kurzhalten von Öffnungszeiten
- Während des Öffnens: Trockengasspülung
- Anlage und Komponenten nicht mit bloßen Händen berühren.
- Werkzeuge vor der Benutzung reinigen
- Offene Flansche mit Schutzkappen verschließen.

# ANWENDUNGSBEREICHE VON VAKUUMPROZESSEN





# ARBEITSBEREICHE VON VAKUUMPUMPEN



# MASSEINHEITEN FÜR VAKUUMPUMPEN

**Saugvermögen S in l/s** (Liter pro Sekunde)

Typenschild - Angabe einer Vorvakuum-Pumpe oft in  $\text{m}^3/\text{h}$  (Kubikmeter pro Stunde)  
Umwandlung:  $\text{m}^3/\text{h} : 3,6 = \text{l/s}$

**Endvakuum in mbar**

Katalogangabe. Messbedingungen beachten!

**Fördergasstrom Q in mbar x l/s** ( Millibar mal Liter pro Sekunde )

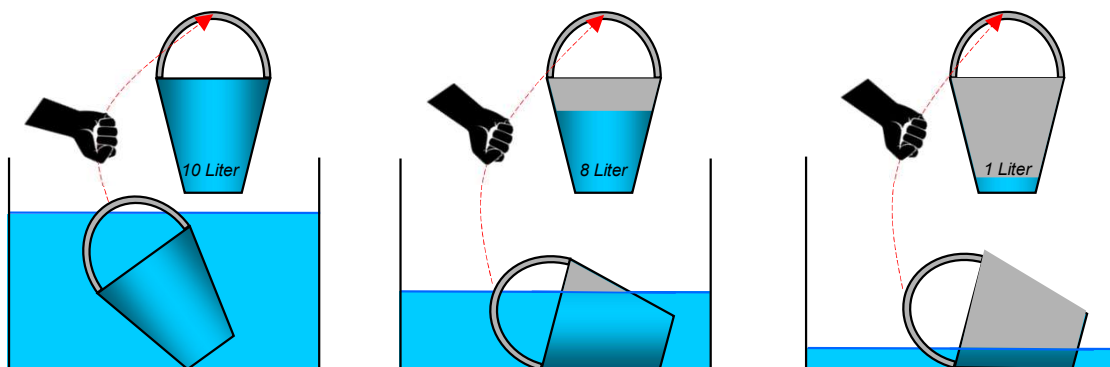
## Erläuterungen an einem Beispiel mit Wasser:

Stellen Sie sich vor, Sie möchten einen mit Wasser gefüllten Behälter ausschöpfen. Dazu steht Ihnen ein Eimer mit 10 Liter Fassungsvermögen zur Verfügung. Sie sind in der Lage, den Eimer pro Sekunde 1 mal zu füllen und auszuleeren. Ihr 'Schöpfvermögen' wäre dann 10 l/s ( Zehn Liter pro Sekunde ). Eine andere Frage ist nun, wie hoch ist Ihre wirkliche 'Förderleistung' ?

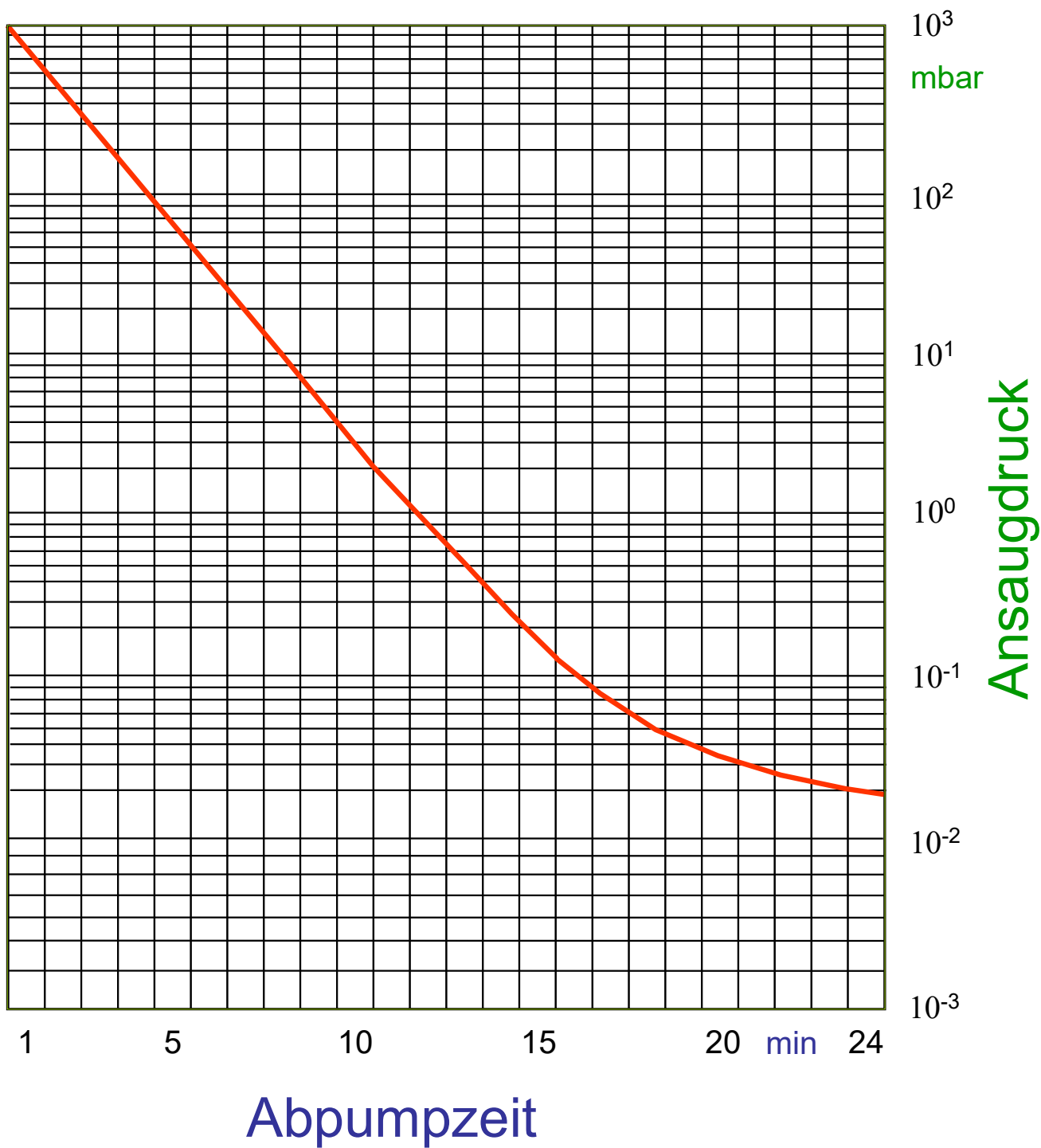
**Sind Sie sicher, den Eimer wirklich jedes Mal randvoll zu bekommen?**

**Bei abnehmendem Füllstand im Behälter sicher nicht mehr!**

Diese Eimerfüllung ist nun, in die Gasphysik übertragen, der Gasdruck. Multipliziert mit dem pro Sekunde bereitgestellten Schöpfraum, gibt er den wirklichen Gasdurchsatz der Pumpe an.



# VORVAKUUM - ABPUMPZEIT



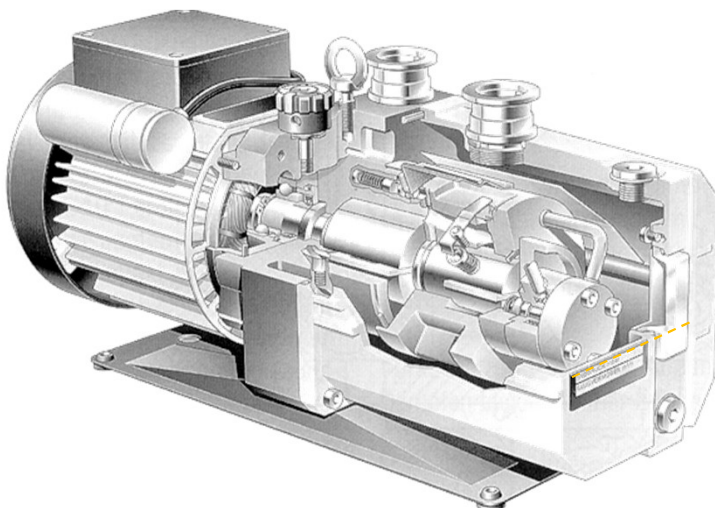
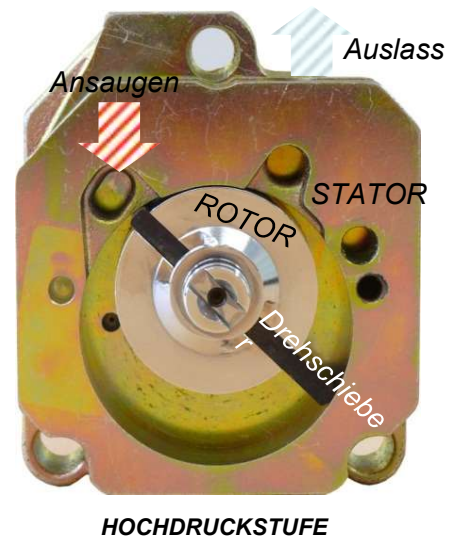
# DREHSCHIEBERPUMPE

## WIRKUNGSPRINZIP: VERDRÄNGERPUMPE

Die DREHSCHIEBERPUMPE wurde 1909 von Wolfgang Gaede entwickelt.

In einem Gehäuse (Stator) befindet sich ein zylindrischer Arbeitsraum in den zwei unterschiedliche Kanäle (Ansaug- u. Ausstoßkanal) münden. Ein im Ausstoßkanal eingebautes Rückschlagventil trennt die Atmosphäre vom Innenraum der Pumpe. Im Arbeitsraum dreht sich ein exzentrisch angeordneter Rotor. Je nach Hersteller und Pumpentyp sind in diesen Rotor zwei oder mehr Schieber eingesetzt. Diese werden durch Druckfedern oder Fliehkraft nach außen an die Wand des Stators gedrückt. Ist nur eines dieser Pumpsysteme im Pumpengehäuse eingesetzt, trägt die Pumpe die Bezeichnung einstufige Drehschieberpumpe, sind zwei dieser Pumpsysteme im Pumpengehäuse eingesetzt, wird diese Pumpe als zweistufige Drehschieberpumpe bezeichnet.

Bei der Drehung des Innenteils (Rotor) entstehen Räume, die sich abwechselnd vergrößern und verkleinern. Dadurch werden Gase angesaugt, komprimiert und ausgestoßen. Es werden meistens zweistufige Pumpen als "VORPUMPEN" für Turbo-Molekularpumpen verwendet.



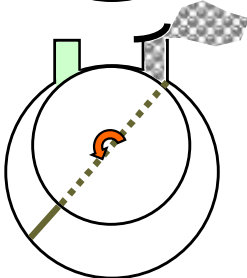
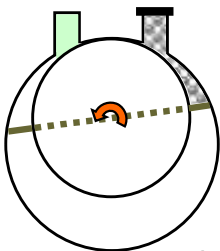
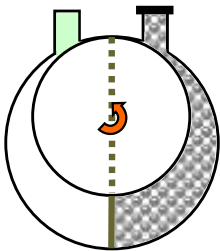
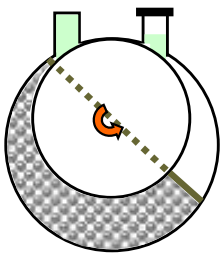
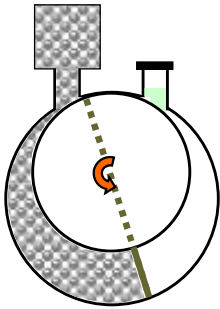
### Achtung !

Bei Drehschieberpumpen und ähnlichen Vakuumpumpen darf während des Betriebs der Auslass (Exhaust) nie verschlossen sein. Verletzungsgefahr durch Bersten des Pumpengehäuses.



# DREHSCHIEBERPUMPE

## Arbeitsweise einer einstufigen Drehschieberpumpe



Ein mit Gas gefüllter Behälter ist mit der Ansaugseite einer solchen Pumpe verbunden. Durch Drehen des mit Schiebern versehenen und exzentrisch angeordneten Rotors entsteht ein Schöpfraum, dessen Volumen im Verlauf der ersten Hälfte der Umdrehung mehr und mehr zunimmt. In diesem sich vergrößernden Schöpfraum dehnt sich das Gas, welches vom Behälter her angesaugt wird, aus. Infolgedessen vermindert sich der Druck im System.

Der Schöpfraum wird durch den sich weiterdrehenden Schieber von der Vakuumkammer isoliert. Im Schöpfraum befindet sich eine kleine Gasmenge mit erniedrigtem Druck.

Ab einer bestimmten Stellung des Schiebers beginnt, infolge der exzentrischen Anordnung des Rotors, eine Verkleinerung des isolierten Raumes. Die eingeschlossene Gasmenge wird in dem sich verkleinernden Raum komprimiert.

Die nach innen gerichtete Schließkräfte am Ausstoßventil setzen sich zusammen aus:

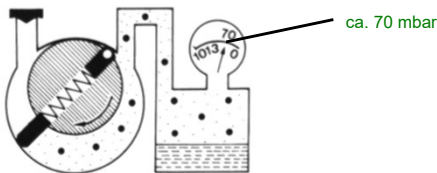
- Kraft, hervorgerufen durch den Atmosphärendruck
- Federkraft des Ausstoßventils
- Gewicht der über dem Ventil befindlichen Ölsäule

Summe dieser Schließkräfte etwa 1200 mbar.

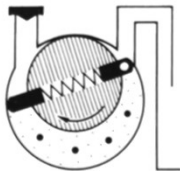
Das Öffnen des Ausstoßventils erfolgt zu dem Zeitpunkt, bei dem die nach außen gerichtete Kraft, die vom Gasdruck ausgeübt wird, die nach innen gerichteten Schließkräfte überwiegt.

# DREHSCHIEBERPUMPE

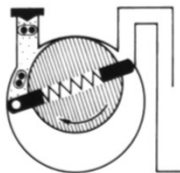
## Ohne Gasballast



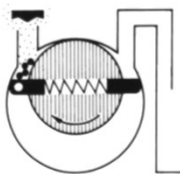
Die Pumpe ist an das schon fast luftleere Gefäß angeschlossen u. fördert nur noch Dampfteilchen.



Der Schöpfraum ist vom Gefäß getrennt. Die Verdichtung beginnt.

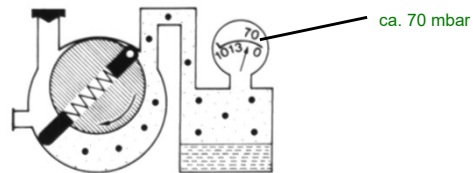


Der Inhalt des Schöpfraumes ist schon soweit verdichtet, daß der Dampf zu Tröpfchen kondensiert. Es beginnt in der " Pumpe zu regnen ".

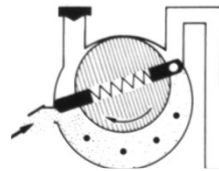


Erst jetzt erzeugt die restliche Luft den erforderlichen Überdruck und öffnet das Auspuffventil, doch der Dampf ist bereits kondensiert und die Tröpfchen sind in der Pumpe niedergeschlagen.

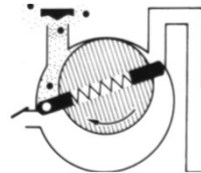
## Mit Gasballast



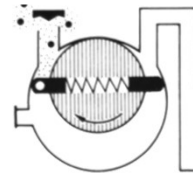
Die Pumpe ist an das schon fast luftleere Gefäß angeschlossen u. fördert nur noch Dampfteilchen.



Der Schöpfraum ist vom Gefäß getrennt. Jetzt öffnet das Gasballast - Ventil, wodurch der Schöpfraum zusätzlich von außen mit Luft, dem " Gasballast " gefüllt wird.



Das Auspuffventil wird aufgedrückt, Dampf und Gaspartikelchen werden ausgestoßen. Der erforderliche Überdruck wurde durch die zusätzliche Gasballastluft schon früh erreicht. Es kam also gar nicht zu einer Kondensation.

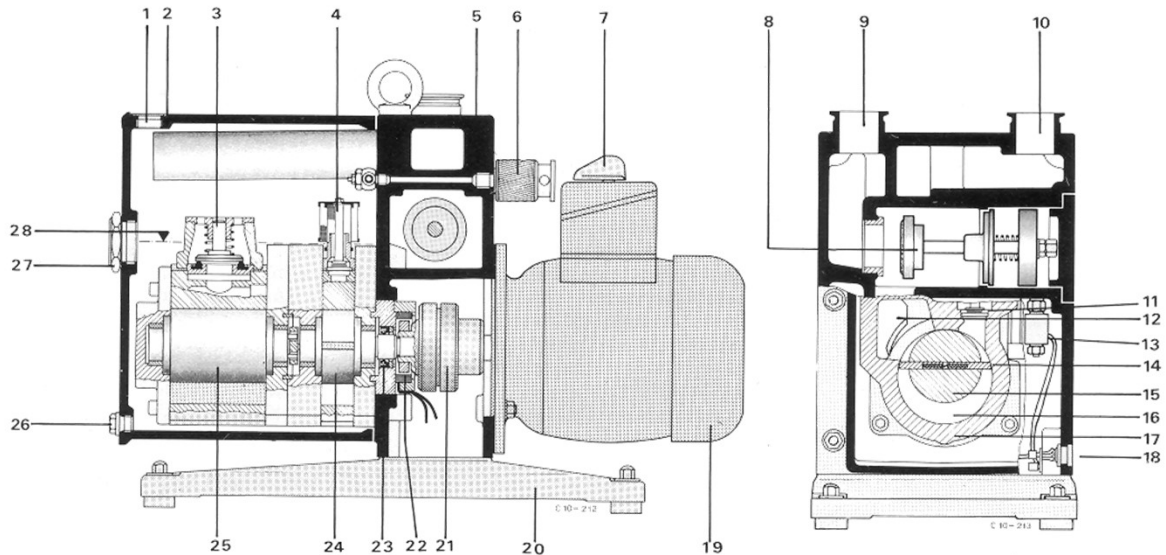


Die Pumpe stößt weiter Luft und Dampf aus



# DREHSCHIEBERPUMPE

## Schnittbild einer zweistufigen Drehschieberpumpe:



1	Öleinfüllschraube	10	Auspuffanschluss	20	Grundplatte
2	Kappe	11	Pumpenventil	21	Kupplung
3	Überdruckventil	12	Saugkanal	22	Dynamo
4	Pumpenventil	13	Magnetventil	23	Radial-Wellen-
5	Aufnahmeständer	14	Schieber	14	Dichtung
6	Gasballastventil	15	Rotor	24	Pumpstufe II
7	Ein- Aus- Schalter mit	16	Arbeitsraum	25	Pumpstufe I
	Motorschutzscharter	17	Pumpenzylinder	26	Ölablass-Schraube
8	Hochvakuum-Sicherheitsventil	18	Überwachungsanschluss	27	Ölstandsglas
9	Vakuumanschluss	19	Motor	28	Ölniveau

## Technische Daten einer zweistufigen Drehschieberpumpe (Beispiel):

Nennsaugvermögen <sup>1)</sup>	m <sup>3</sup> x h <sup>-1</sup>	115
Saugvermögen <sup>1)</sup>	m <sup>3</sup> x h <sup>-1</sup>	105
Endpartialdruck ohne Gasballast <sup>1)</sup>	mbar	< 1 x 10 <sup>-4</sup>
Endpartialdruck mit Gasballast <sup>1)</sup>	mbar	< 1 x 10 <sup>-2</sup>
Wasserdampfverträglichkeit <sup>1)</sup>	mbar	35
Gemittelter Schalldruckpegel nach DIN 45 635 <sup>2)</sup>	dB(A)	< 65
Netzspannung, 50 Hz	V	220 / 230
Motorleistung	kW	3
Nenndrehzahl	min <sup>-1</sup>	1500
Motorschutzart		IP 54
Schaltpunkt Thermoschalter	°C	125
Max. Wasserverbrauch	l x h <sup>-1</sup>	60
Gewicht	kg	150
Ölfüllung, min. / max.	l	4,5 / 5,5
Saugstutzen – Anschluss	DN	63 ISO-K
Auspuffstutzen – Anschluss	DN	63 ISO-K

<sup>1)</sup> Nach DIN 28 400 (1  
<sup>2)</sup> Bei Enddruckbetrieb ohne  
 Gasballast, Freifeldmessung  
 in 1m Abstand

# SPERRSCHIEBERPUMPE

Ein exzentrisch angetriebener Drehkolben bewegt sich berührungslos innerhalb eines zylindrischen Gehäuses. Am Drehkolben befindet sich ein Sperrschieber, der im Sperrschieberlager eine Hin- und Herbewegung durchführt. An einer seitlichen Öffnung (Ansaugstutzen) tritt das abzupumpende Gas in einen sichelförmigen Schöpfraum ein, welcher sein Volumen durch die Drehung ständig ändert und dadurch eine Schöpfwirkung erzeugt.

Am oberen Totpunkt erzeugt der Drehkolben den maximalen Schöpfraum. Der Sperrschieber ist dabei soweit oben, dass seine seitliche Öffnung verschlossen ist. Vom Nullpunkt ausgehend bildet sich beim Weiterdrehen ein neues Volumen. Das zuvor abgepumpte Gas kommt nun in den Verdichterraum und wird beim Weiterdrehen in Richtung Exhaust verdrängt (Wirkungsprinzip: Verdrängerpumpe). Bei ca. 1050 mbar öffnet sich das Exhaustventil und das Gas kann ausgestoßen werden. Bei niedrigen Drücken wird das Exhaustventil von Öl überlagert, bei vollem Durchsatz bleibt es frei von Öl. Im Ventilraum wird das ausgestoßene Gas durch eine Ölfalle vom mitgerissenem Öl getrennt. An den Stirnflächen des Sperrschiebers und des Drehkolbens muss ständig genügend Öl vorhanden sein, das über verschiedene Kanäle zugeführt wird um einen sich zwischen Schöpfraum, Verdichterraum sowie um den Drehkolben ständigen Ölfilm aufrecht zu erhalten. Kurz vor Erreichen des oberen Totpunkts füllt sich bei Gasdurchsatz der Ventilkanal vollständig mit Öl. Im Verdichterraum entsteht dadurch kein schädliches Volumen, jedoch beim Weiterdrehen öffnet der Ölschlag plötzlich das Ventil und verursacht bei Enddruck das typische Ventilklopfen.

Die Drehfrequenz des Exzenter befindet sich zwischen 400 bis 600 / min im Intervall und ist somit erheblich geringer als bei ölgedichteten Drehschieberpumpen. Neben einer Gaspumpe ist die Sperrschieberpumpe gleichzeitig eine Ölpumpe. Auch hier ist der Ölkreislauf ebenso wichtig wie die Gasführung.

Bei einstufigen Sperrschieberpumpen sind beide Stufen parallel geschaltet. Bei zweistufigen ist die Auspuffseite (Exhaust) der ersten Stufe mit der Ansaugseite der zweiten Stufe verbunden. Durch die verschiedenen Größen der Drehkolben ergeben sich unterschiedliche Saugvermögen. Die Hochvakuumstufe bildet der längere Kolben. Ein- und Zweistufige Sperrschieberpumpen unterscheiden sich äußerlich oft überhaupt nicht.

## Beispiel

Hersteller:	Fa. ULVAC
Pumpe:	Sperrschieberpumpe
Typ:	PKS-030
Saugvermögen:	180 m <sup>3</sup> /h
Enddruck:	2,7 x 10 <sup>-2</sup> mbar
Motor:	3,7 kW
Ölkapazität:	8 Liter
Wasserkühlung:	3 L/min
Gewicht:	380 kg
Abmessungen:	680 x 720 x 900 mm

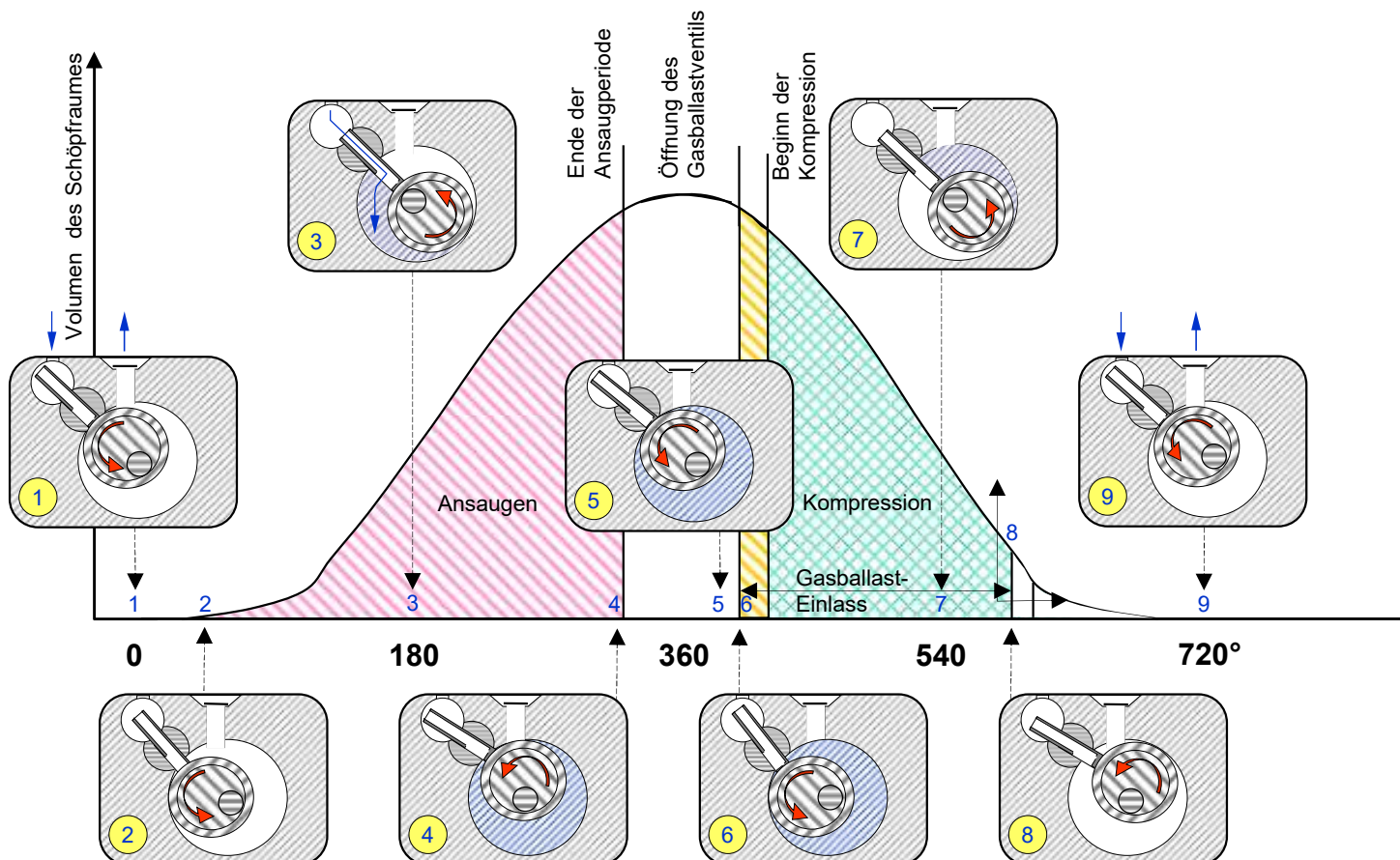




# SPERRSCHIEBERPUMPE

## Arbeitszyklus

- Position 1: Oberer Totpunkt
- Position 2: Freigabe der Öffnung am Saugkanal des Schiebers, Ansaugperiode beginnt
- Position 3: Unterer Totpunkt, Öffnung am Saugkanal ist ganz frei. Abzusaugendes Gas (Pfeile) tritt frei in den Schöpfraum (blau schraffiert ein).
- Position 4: Verschließen der Öffnung am Saugkanal durch die Lamellen. Ansaugperiode endet.
- Position 5: Oberer Totpunkt, max. Rauminhalt des Schöpfraumes.
- Position 6: Kurz vor Beginn der Kompressionsperiode gibt die Stirnfläche des Drehkolbens die Gasballastöffnung frei. Gasballasteinlass beginnt.
- Position 7: Gasballastöffnung ist ganz frei
- Position 8: Ende des Gasballasteinlasses
- Position 9: Ende der Pumpperiode



# TROCKENLAUFENDE VERDRÄNGERPUMPEN

---

Zu den trocken laufenden Pumpen zählen die nachfolgend beschriebenen Pumpentypen:

**Wälzkolben – Vakuumpumpe**

**Klaunenrotor – Vakuumpumpe**

**Membran – Vakuumpumpe**

**Scroll – Vakuumpumpe**

**Hubkolben - Vakuumpumpe**

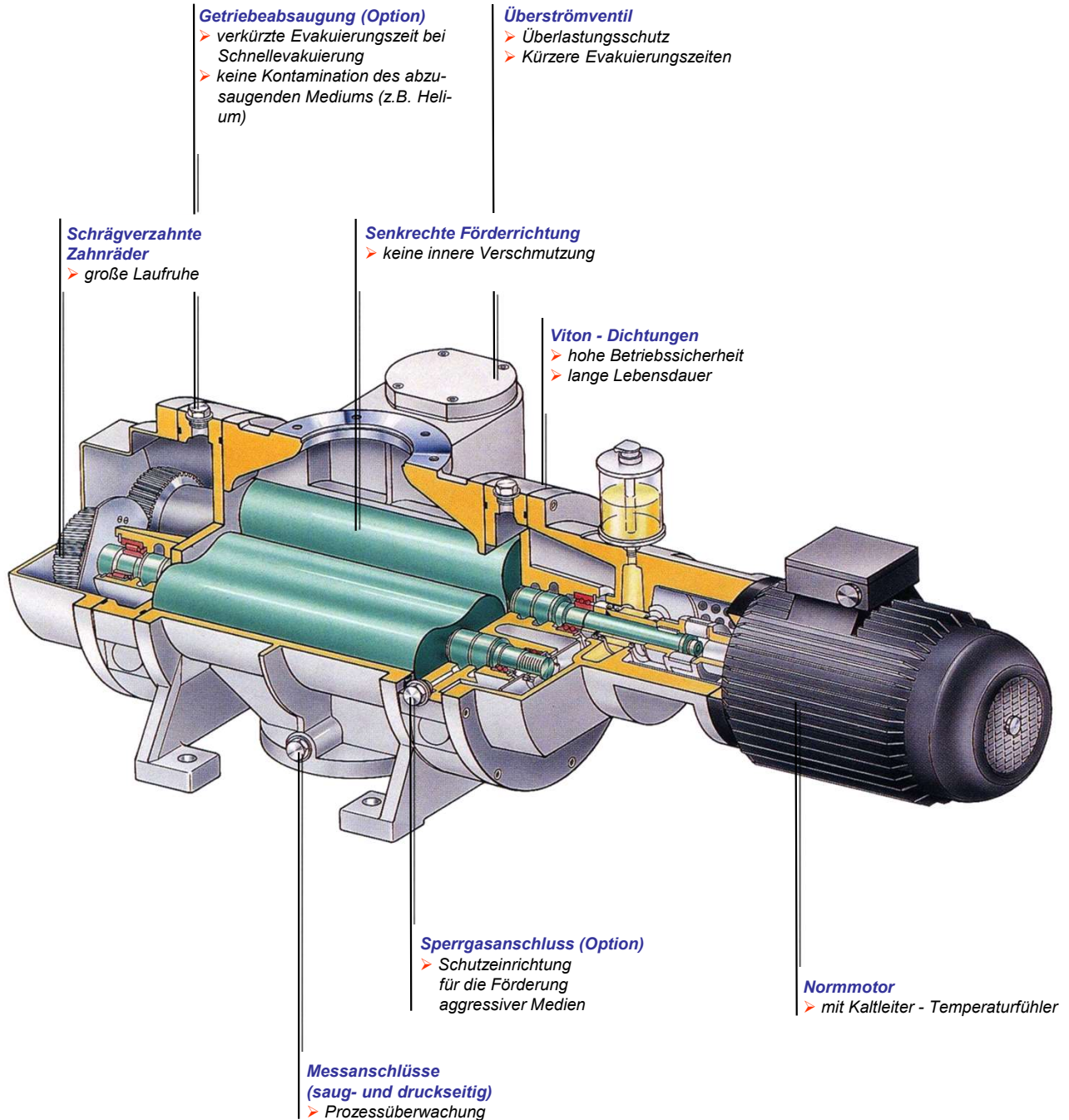
Diese Vakuumpumpen werden ohne flüssige Dichtmittel betrieben.

Soweit Öldämpfe aus gefetteten Lagern Prozesse beeinflussen, müssen diese separat abgeschieden werden.

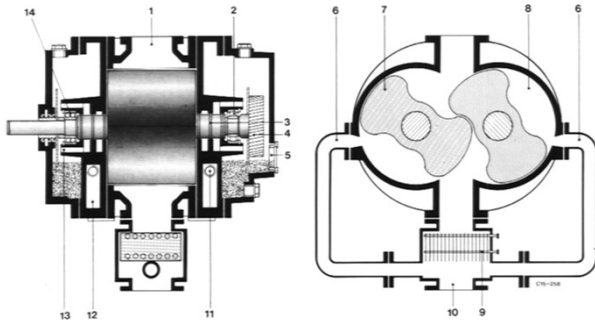
Vakuumpumpen, die vom Fein- und Grobvakuum aus gegen Atmosphäre arbeiten, „trockene Vakuumpumpen“ sind von zunehmendem Interesse, insbesondere im Bereich der Ätz- und CVD- Verfahren. Die dabei eingeleiteten oder entstehenden aggressiven Gase können das fehlende Dichtmedium weder angreifen, noch kann dieses als Verunreinigung im Prozess stören.

# WÄLZKOLBENPUMPE - AUFBAU

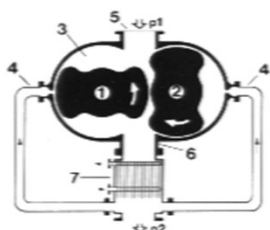
## WIRKUNGSPRINZIP: VERDRÄNGERPUMPE



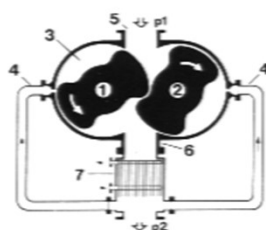
# WÄLZKOLBENPUMPE - FUNKTION



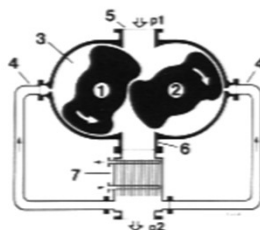
- 1 Sauganschluss
- 2 Loslager
- 3 Labyrinthabdichtung
- 4 Getriebe
- 5 Ölstandsglas
- 6 Kühlgaseinlass
- 7 Wälzkolben
- 8 Schöpfraum
- 9 Gaskühler
- 10 Druckanschluss
- 11 Sperrgasanschluss
- 12 Sperrgaskammer
- 13 Ölrücklauf
- 14 Festlager



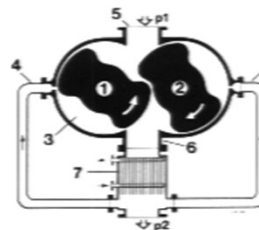
**Phase 1**



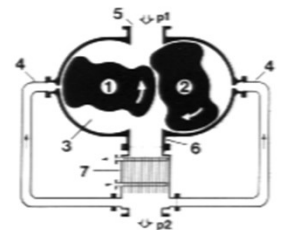
**Phase 2**



**Phase 3**



**Phase 4**



**Phase 5**

## Phase 1

Raum 3 steht mit dem Saugstutzen 5 in Verbindung und saugt bei Drehung der Wälzkolben 1 und 2 Gas mit dem Druck  $p_1$  an.

## Phase 2

Raum 3 ist sowohl gegen den Saugstutzen 5 als auch gegen den Kaltgaseinlass 4 abgeschlossen.

## Phase 3

Über den Kaltgasumlauf strömt kaltes Gas in den Raum 3, bis der Gegendruck  $p_2$  erreicht wird.

## Phase 4

Raum 3 ist sowohl gegen den Kaltgaseinlass 4 als auch gegen den Druckstutzen 6 verschlossen.

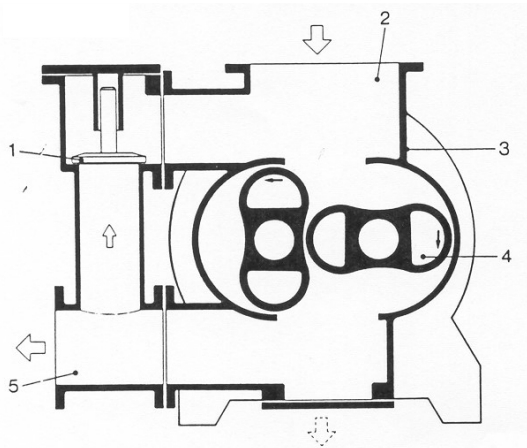
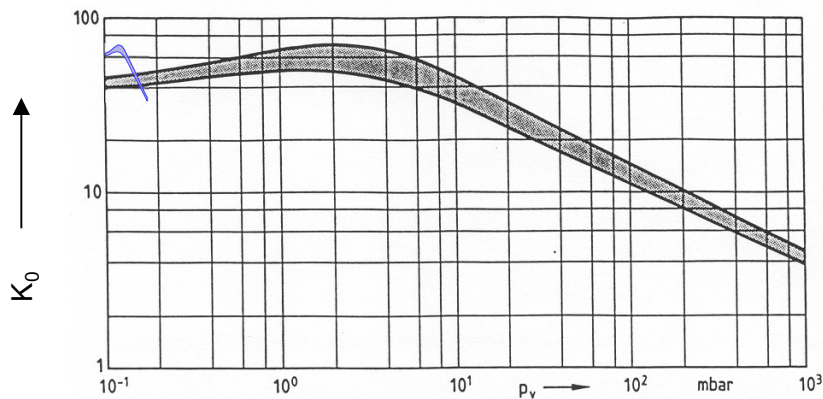
## Phase 5

Raum 3 steht mit Druckstutzen 6 in Verbindung und das am Saugstutzen 5 und am Kaltgaseinlass 4 angesaugte Gasgemisch wird ausgestoßen. Hinter dem Kühler 7 strömt ein Teil – entsprechend der am Saugstutzen 5 angesaugten Gasmenge – zur nächsten Pumpe bzw. ins Freie.

# WÄLZKOLBENPUMPE

Die Wälzkolbenpumpenpumpe ist die seit Mitte des vorigen Jahrhunderts (1954) zur Vakuumerzeugung eingesetzte Form der bereits Mitte des 19. Jahrhunderts erfundenen und entwickelten Rootspumpe.

Man nutzt aus, dass das maximal erreichbare Kompressionsverhältnis  $k_0$  von ca. 2 – 5 bei Atmosphärendruck im Feinvakuum mehr als zehnmals so groß wird.



- 1 Überströmventil
- 2 Saugseite
- 3 Gehäuse
- 4 Kolben
- 5 Ausstoßseite

Wie in der Abbildung gezeigt, wälzen sich im Gehäuse bei einem Spiel von 0,1 – 1 mm gegen die zylindrischen und die ebenen stirnseitigen Wände, zwei 8-förmige „Wälzkolben“ gegenläufig um und berühren sich auch gegenseitig nicht beim zahnradartigen ineinander greifen. Einer der Rotoren wird angetrieben, der andere über ein außerhalb des Pumpengehäuses aufgesetztes Zahnradpaar zum synchronisierten Gegenlauf gezwungen. Wegen der Gasspalte fehlt praktisch die Reibung zwischen den Rotoren und den Wänden. Man kann Wälzkolbenpumpen mit wesentlich höheren Drehzahlen von mehreren tausend Umdrehungen pro Minute laufen lassen und entsprechend höhere, über die Drehzahl auch variable oder steuerbare Saugvermögen erreichen als mit anderen Verdrängerpumpen.

# WÄLZKOLBENPUMPE

Der Schöpfraum verkleinert sich beim Weiterdrehen der Wälzkolben nicht, Daher kann erst während seiner Öffnung zur Verdrängungsseite eine Verdichtung des eingeströmten Gases erfolgen.

In dieser Zeitspanne findet in dem Raum zwischen dem verdrängungsseitigen Gas, welches durch seinen höheren Druck in den Schöpfraum zurückströmt und dem entgegenkommenden Wälzkolben die Kompression statt.

Mit steigender Druckdifferenz zwischen Ausstoß- und Einlasseite strömt eine zunehmende Gasmenge durch die Rotor-Wand- und Rotor-Rotor-Schlitze auf die Ansaugseite zurück.

Ein bei niedrigen Drücken merklicher Rücktransport von Gas erfolgt über die Druckseitige Adsorption und die einlasseitige Desorption an den Rotoroberflächen. In jedem Falle wird das theoretische, verlustfreie Saugvermögen  $S_{th}$  auf ein kleineres wirksames Saugvermögen  $S$  vermindert. Dieses hängt zudem vom Saugvermögen  $S_v$  der in der Regel vorhandenen Vorpumpe ab.

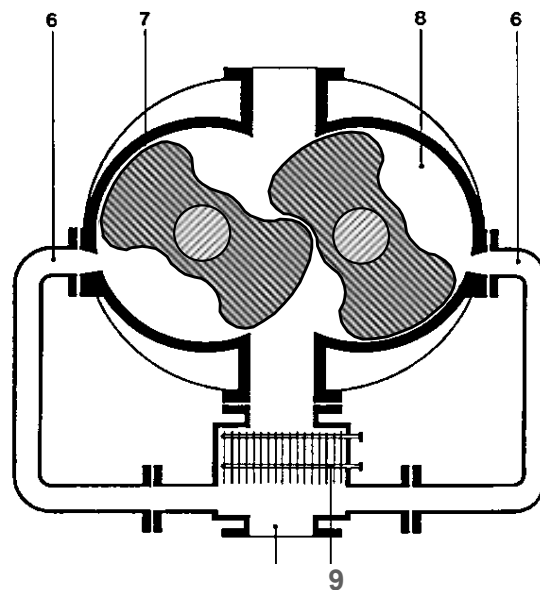
Um die Saugvermögensverluste erträglich zu halten, wählt man im Feinvakuumbereich den „Abstufung“ genannten Quotienten  $S_{th} / S_v$  meist ca. 10 : 1 und nicht über 20 : 1. Im Grobvakuum wird die erlaubte Druckdifferenz und die Abstufung (bis 2 : 1) begrenzt durch die als Folge größerer Kompressionsarbeit steigende Temperatur des Gases und der Kolben. Letztere sind gegenüber dem Gehäuse vergleichsweise schlecht gekühlt und dürfen sich nicht so weit ausdehnen, dass es zu Berührung und Festlaufen kommt.

Mit Hilfe eines die Druckdifferenz begrenzenden Überströmventils kann dieser Gefahr begegnet werden; dann kann die Pumpe beim Auspumpen zusammen mit der Vorpumpe eingeschaltet werden, und man erreicht kürzere Evakuierungszeiten.

Für permanent große Druckdifferenzen hat man Wälzkolbenvakuumpumpen mit Gasumlauf zur Kühlung der Rotoren entwickelt.

Ein Wärmetauscher senkt zunächst die Temperatur des ausgestoßenen Gases. Das angesaugte und im Schöpfraum eingeschlossene Gas bleibt wegen der Statorform und der Verwendung breiter Wälzkolben konstruktionsbedingt eine relativ große Zeitspanne vom Auslass getrennt.

Während dieser Zeit strömt gekühltes Gas von der Verdrängungsseite und zeitlich durch die Kolbenform gesteuert in den Schöpfraum ein. Es komprimiert die geschöpfte Gasmenge und kühlt gleichzeitig diese und die Rotoren. Die so erreichbaren Enddrücke beim Ausstoßen gegen den Atmosphärendruck liegen je nach Pumpengröße zwischen 100 und 200 mbar.



6 Kühlgaseinlass  
9 Gaskühler

# WÄLZKOLBENPUMPE

---

## Eigenschaften und Anwendungsgebiete eine Wälzkolbenpumpe

Die besonderen Merkmale einer Wälzkolbenpumpe sind:

1. Hohes Saugvermögen bei kleinen Abmessungen. Sie verfügt von allen Verdrängerpumpen über das höchste spezifische Saugvermögen bezogen auf das Volumen der Pumpe.
2. Trockener Schöpfraum. Das geförderte Medium wird nicht verunreinigt. Dies ist eigentlich die wichtigste Eigenschaft vor allem bei Rückgewinnung von geförderten Medien und beim Umweltschutz.
3. Erschütterungsarmer Lauf. Die Rotoren lassen sich dynamisch auf kleinste Restwuchten einstellen.
4. Geringer Energiebedarf und Verschleiß aufgrund der fehlenden Reibung im Schöpfraum.
5. Weitgehende Unempfindlichkeit gegen im Förderstrom enthaltene Staub- und Flüssigkeitspartikel.

Sie hat damit Eigenschaften, die aus Gesichtspunkten der Wirtschaftlichkeit und des Umweltschutzes in zunehmendem Maße an Arbeitsmaschinen gestellt werden.

Die verschiedenen Ausführungsformen dieser Pumpen werden allein oder in Kombination mit anderen Pumpenarten wirtschaftlich in den Hauptanwendungsgebieten Forschung, Trocknungstechnik, Chemie, Schnellevakuierung großer Behälter, z. B. im Turbinenbau und in anderen modernen Technologien eingesetzt.

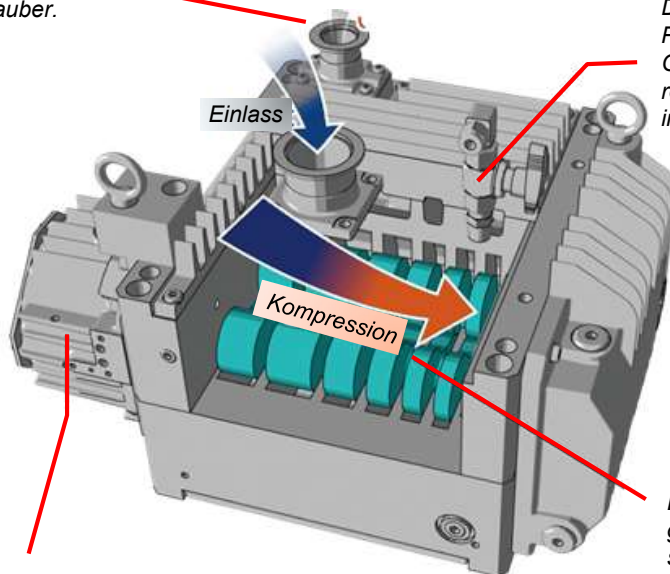


# TROCKENLAUFENDE VAKUUMPUMPE

Beispiel: Kashiya NeoDry15, mehrstufig

Das Wirkungsprinzip entspricht dem einer Standard-Wälzkolbenpumpe. Anders als bei dieser Pumpe sind hier die Wälzkolben in mehrere, einzelne Kompressionsstufen unterteilt. Zwei mehrstufige Rotoren laufen kontaktfrei gegeneinander und komprimieren Gas vom Einlass zum Auslass der Vakuumpumpe. Dies ermöglicht einen weitaus größeren Druckbereich, als der einer einstufigen Wälzkolbenpumpe. Die Vakuumpumpe wird schon bei Atmosphärendruck gestartet und erreicht Enddrücke bis ca.  $10^{-2}$  mbar. Die max. Wasserdampfabsaugleistung bei voll geöffnetem Gasballastventil beträgt ca. 250 g/h.

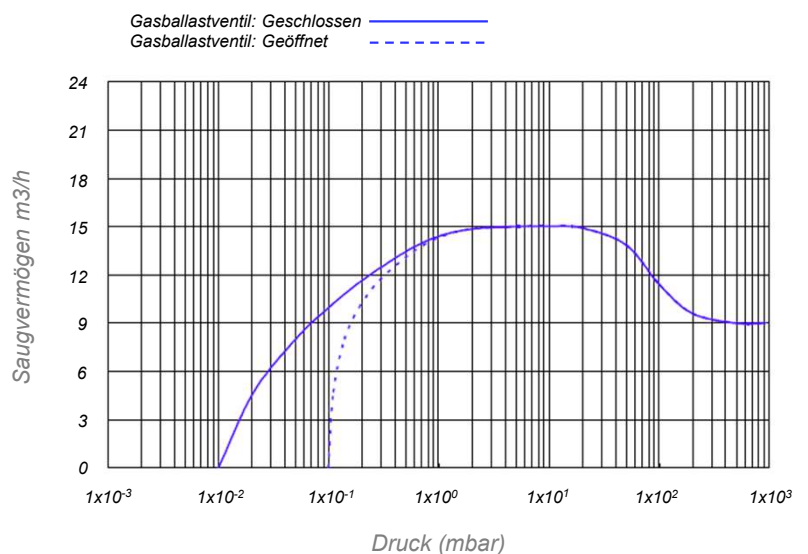
Kein Öl im Schöpfraum, der Auslass bleibt sauber.



Gasballast Anschluss:  
Durch Spülen mit z.B. Stickstoff wird der Partialdruck von kondensationsfähigen Gasen ( $H_2O$  od. lösungsmittelhaltige Dämpfen) reduziert und bewahrt die Pumpe vor Kondensat im Innenraum.

Luftgekühlte Vakuumpumpe, es wird kein Kühlwasser benötigt.

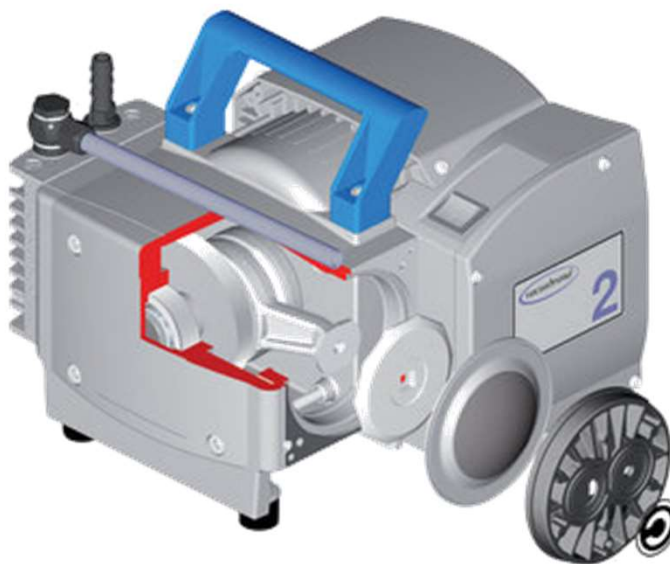
Die Wälzkolben laufen berührungsfrei gegeneinander, es werden keine störenden Partikel erzeugt. Die Betriebsdauer der Vakuumpumpe wird dadurch wesentlich verlängert.



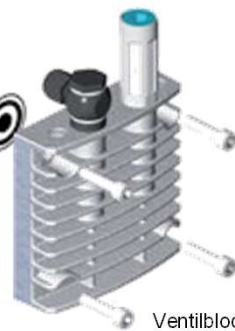


# MEMBRAN - VAKUUMPUMPE

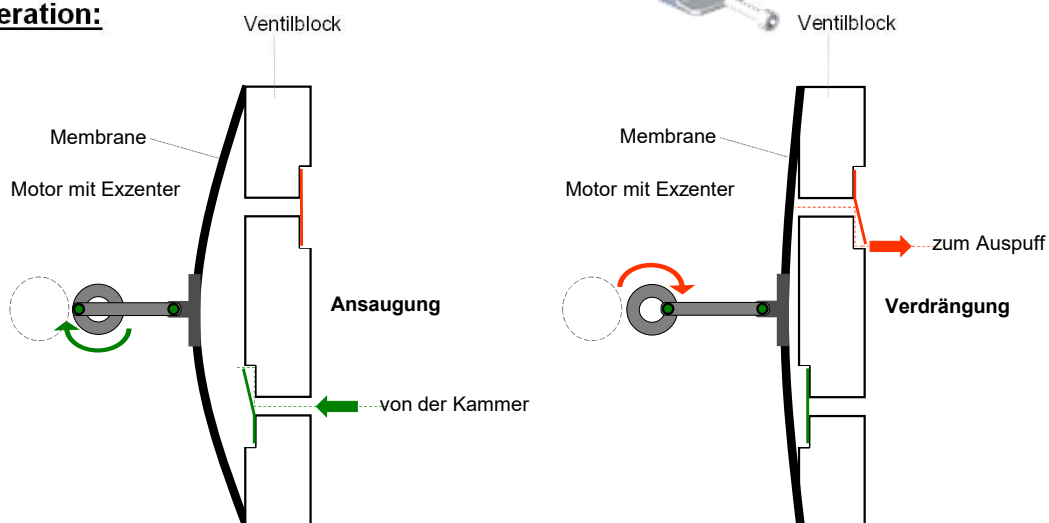
Die Membran – Vakuumpumpe ist eine für Saugvermögen unter 10 m<sup>3</sup>/h interessante, von flüssigen Dichtmitteln freie Konstruktion. Die zwischen Gehäuse und Ventilkopf eingespannte Membran wird mit Hilfe der Schubstange und des Excenters oszillierend bewegt. Dadurch entsteht der sich periodisch vergrößernde und verkleinernde Schöpf- und Kompressionsraum. Die Grenzen elastischer Deformierbarkeit der Membran und die nötige Formgebung bedingen relativ kleine Schöpfvolumina und das verbleibende, schädliche Restvolumen bewirkt relativ kleine Kompressionsverhältnisse. In einstufiger Ausführung liegt der Enddruck bei ca. 80 mbar, bei mehrstufiger (zweistufige) wird z. Zt. ca. 1 mbar erreicht. Auch bei sehr kleinen Totvolumina wird der Enddruck durch den Öffnungsdruck der Einlassventile nach unten begrenzt, da diese in der Regel als Flatterventile aus Elastomeren ausgebildet sind. Der Einsatz von PTFE (Teflon) als Werkstoff der Pumpenköpfe und als Überzug der Membran macht diese Pumpen gegen nahezu alle im Betrieb vorkommenden Chemikalien unempfindlich und für viele Labore interessant.



Membran-Vakuumpumpe, bestehend aus 8 einzelnen Pumpenmodulen



## Operation:



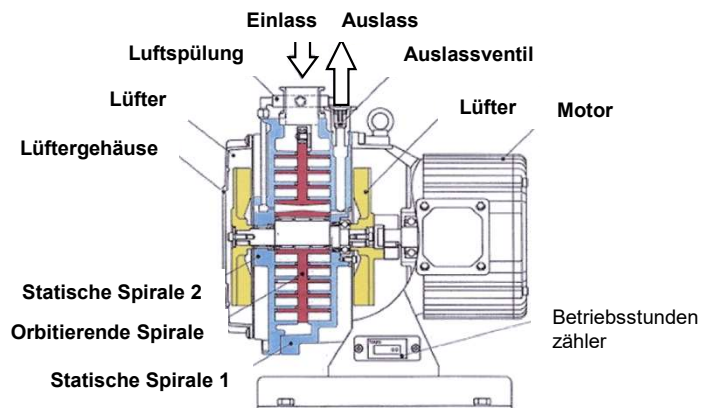
# ÖLFREIE SCROLL - VAKUUMPUMPE

## FUNKTIONSPRINZIP:

Diese ölfreie Vakuumpumpe ist erst seit wenigen Jahren im Einsatz.

Jede Scrollpumpe besteht aus zwei archimedischen Spiralen, die um 180° versetzt ineinander gesetzt werden.

Hierdurch entstehen mehrere halbmondförmige Taschen in unterschiedlicher Größe. In einer feststehenden Spirale wird eine zweite Spirale über einen Exzenter orbitierend bewegt, hierdurch verringert sich das Volumen der Taschen und die Gase werden von außen nach innen verdichtet und somit gefördert. Wichtig für die Qualität der Scrollpumpe ist die Einhaltung exakter Fertigungstoleranzen und eine geeignete Materialwahl.



Gas tritt in die Pumpstufen ein.



Gas wird verdrängt und ..



bewegt sich abwärts in Richtung Mittelpunkt.



Gas wird im Zentrum der Pumpe in Richtung Auslass verdrängt.

# ÖLFREIE SCROLL - VAKUUMPUMPE

## VORTEILE:

Trockenverdichtende Scrollpumpen zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Absolut ölfrei
- Niedriges Endvakuum
- Hohes effektives Saugvermögen
- Niedriger Enddruck
- Geringer Geräuschpegel
- Schwingungsarmer Betrieb
- Maximaler Einlassdruck
- Geringes Gewicht
- Luftkühlung
- Geringe Leistungsaufnahme

## ANWENDUNGEN:

Ölfreie Scrollpumpen eignen sich für den Einsatz in Applikationen überall dort, wo ein trockenes und sauberes Vakuum benötigt wird:

- Elektronenstrahlschweißen
- Laser
- Lecksuchsysteme
- Vorpumpe für Turbomolekularpumpe
- Oberflächenanalysengeräte
- Lampenfertigung
- Rasterelektronenmikroskope
- Schleusenkammern

## TECHNISCHE DATEN, z. B. Leybold SC 30 D:

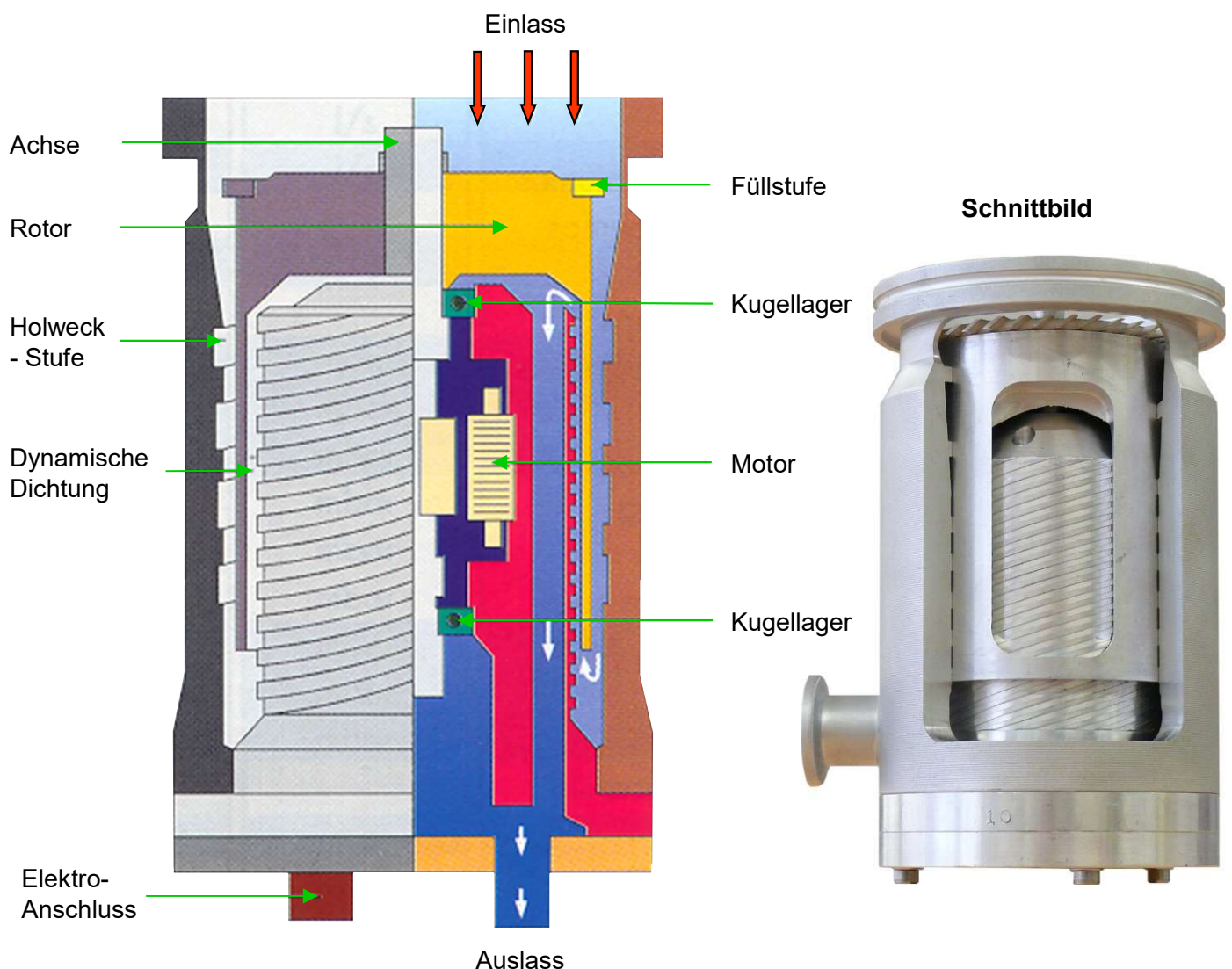
Nennsaugvermögen*	50 Hz	m <sup>3</sup> /h	30
	60 Hz	m <sup>3</sup> /h	36
Saugvermögen*	50 Hz	m <sup>3</sup> /h	26
	60 Hz	m <sup>3</sup> /h	31
Erreichbarer Enddruck		mbar	< 0,01
Leckrate		mbar l/s	10 <sup>-4</sup>
Max. Einlassdruck			Atmosphäre
Zul. Umgebungstemperatur		°C	5 – 40
Anschlüsse	Einlass	NW	40
	Auslass	NW	25
Kühlung			Luft
Wasserdampfverträglichkeit mit Purge	min.	g/h	1,04
Schutzklasse			IP 20
Motorleistung		W	600
Motorumdrehungen**	230 V / 50 Hz	min <sup>-1</sup>	1450
Motorumdrehungen**	230 V / 60 Hz	min <sup>-1</sup>	1730
Geräuschpegel in 1m Freifeldmessung**		dB (A)	< 62
Abmessungen (B x H x T)			
Ausführung mit 1 - Phasen – Motor		mm	328 x 372 x 44
Ausführung mit Drehstrom – Motor		mm	328 x 372 x 372
Gewicht			
Ausführung mit 1 - Phasen – Motor		kg	44
Ausführung mit Drehstrom – Motor		kg	38

\* Nach DIN 28 400 ff

\* Angaben für Ausführung mit 1 - Phasen - Motor

# MOLEKULAR - PUMPEN

Die Wirkungsweise einer Molekularpumpe ist die Impulsübertragung von einer bewegten Wand auf ein Gas. Die Ausführung nach Holweck arbeitet mit einem glatten, zylindrischen Rotor. Dieser ist von einem Stator umgeben. Als Pumpkanal hat dieser eine gewindeartig umlaufende Nut. Die radialen Abstände zwischen dem Rotor und den die Nutwindungen trennenden Stegen müssen klein sein, um die Rückströmung durch diese Dichtspalte hinreichend zu reduzieren. Eine scheibenförmige Ausführung mit spiraligem Kanal und rotierender Gegenscheibe war bereits 1943 (Siegbahn) bekannt. Molekularpumpen werden bei einigen Turbomolekularpumpen in Serie nachgeschaltet, in der Regel baulich integriert. Man kann damit bis etwa  $10^3$  Pa komprimieren. Eine moderne Ausführung mit beschauelter Füllstufe, rotierendem Hohlzylinder und feststehenden Kanälen zeigt folgende Abbildung.



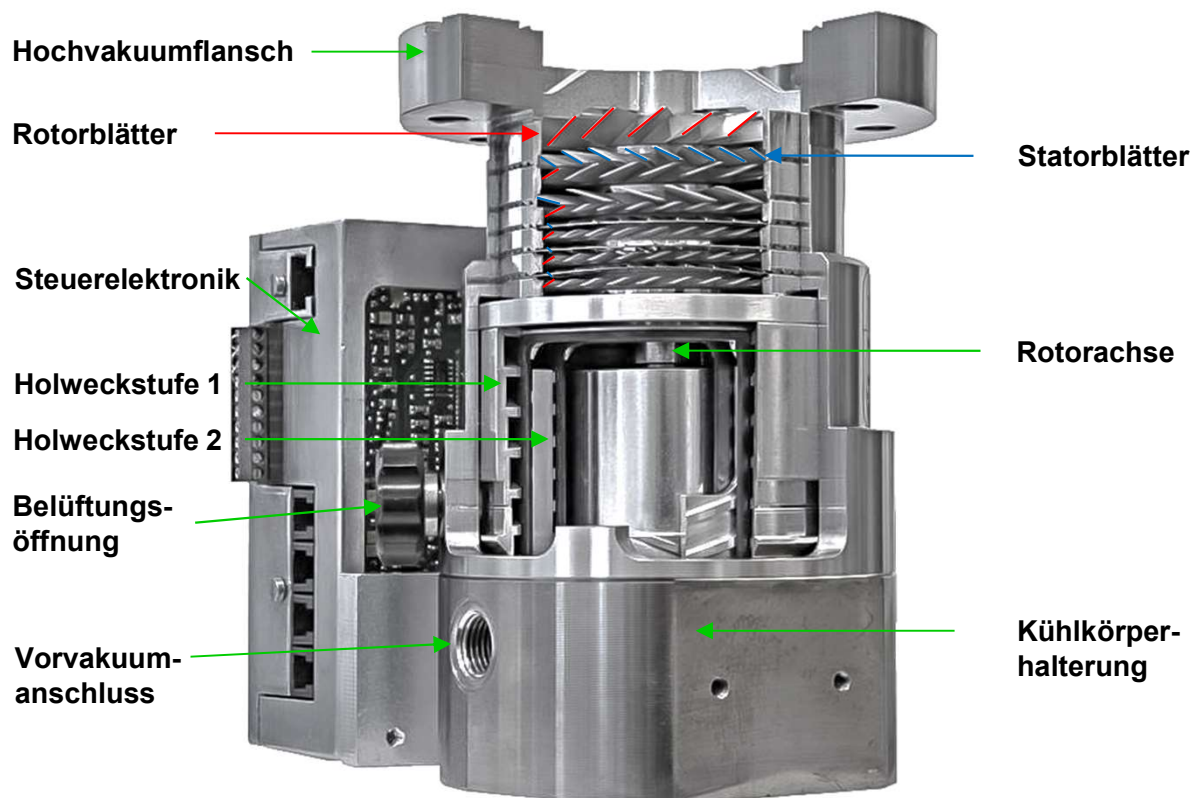
*Molekularpumpe von Holweck – Trommeltyp (nach Alcatel)*



# TURBOMOLEKULAR – PUMPEN

Wide Range

Die 1956 von Becker erfundene Turbomolekularpumpe (TMP) hat – ähnlich wie eine Turbine – um einen massiven Rotorkern abwechselnd Rotor- und Stator- Schaufelkränze und zwar in Form spiegelbildlich schräg geschlitzter Scheiben. Die Saugvermögen der parallel geschalteten Pumpschlitzte addieren sich zum Saugvermögen einer Scheibe. Jedes Rotor – Stator - Scheibenpaar liefert ein bestimmtes Druckverhältnis  $P_{\text{aus}} / P_{\text{ein}} = k$ , die Kompression. Die aus den Drücken am Pumpenausgang  $P_v$  und am Eingang  $P_a$  gebildete

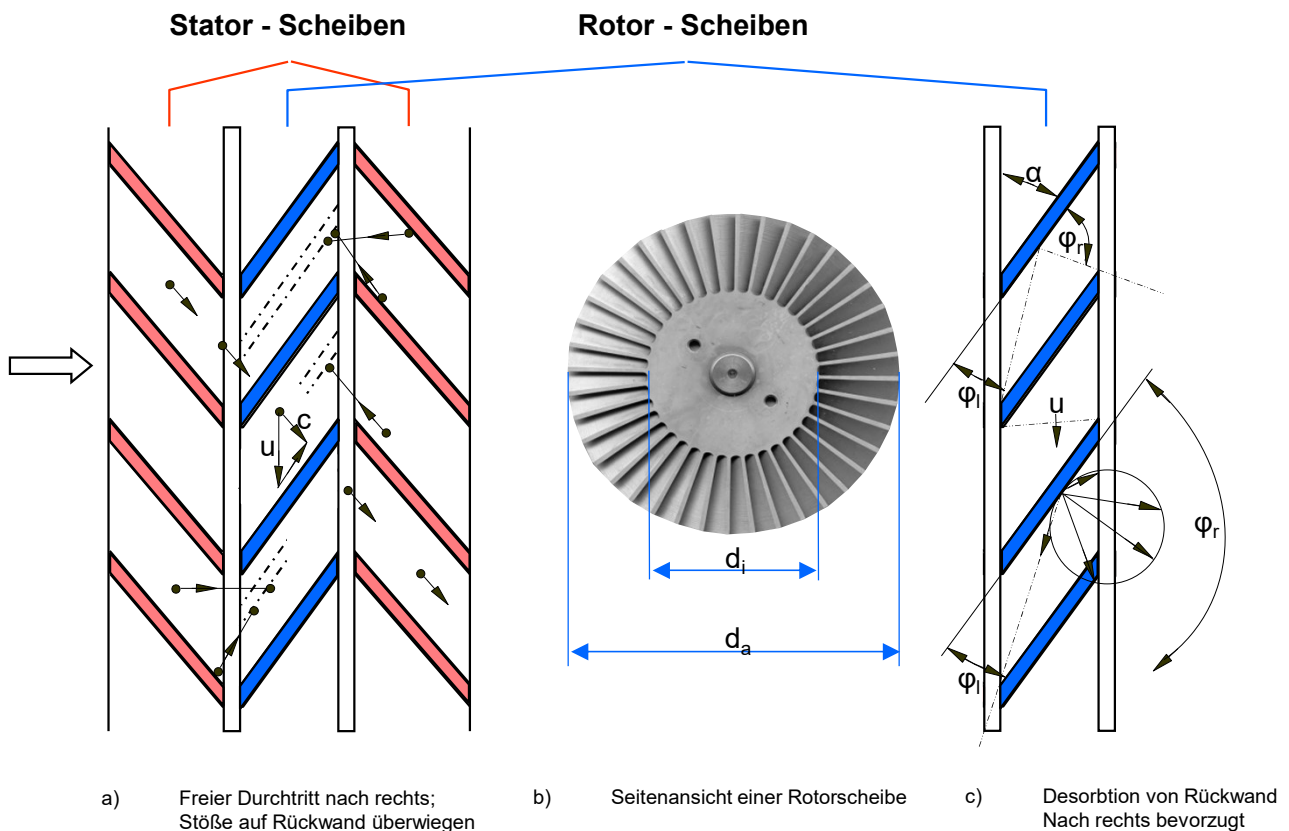


Gesamtkompression (nur TMP)  $P_v / P_a = k_{\text{ges}}$  ist das Produkt der Kompression der in Reihe geschalteten Scheibenpaare. So genannte zweiflutige Ausführungen haben zwei auf einer horizontalen Achse spiegelbildlich angebrachte, von der Mitte zu den Enden fördernde Schaufelpakete. Der Vorteil, nur vorvakuumseitig gelagert zu sein wird bei dieser besonders betriebssicheren Ausführung durch ihren höheren Preis erkaufte.

# TURBOMOLEKULAR - PUMPEN

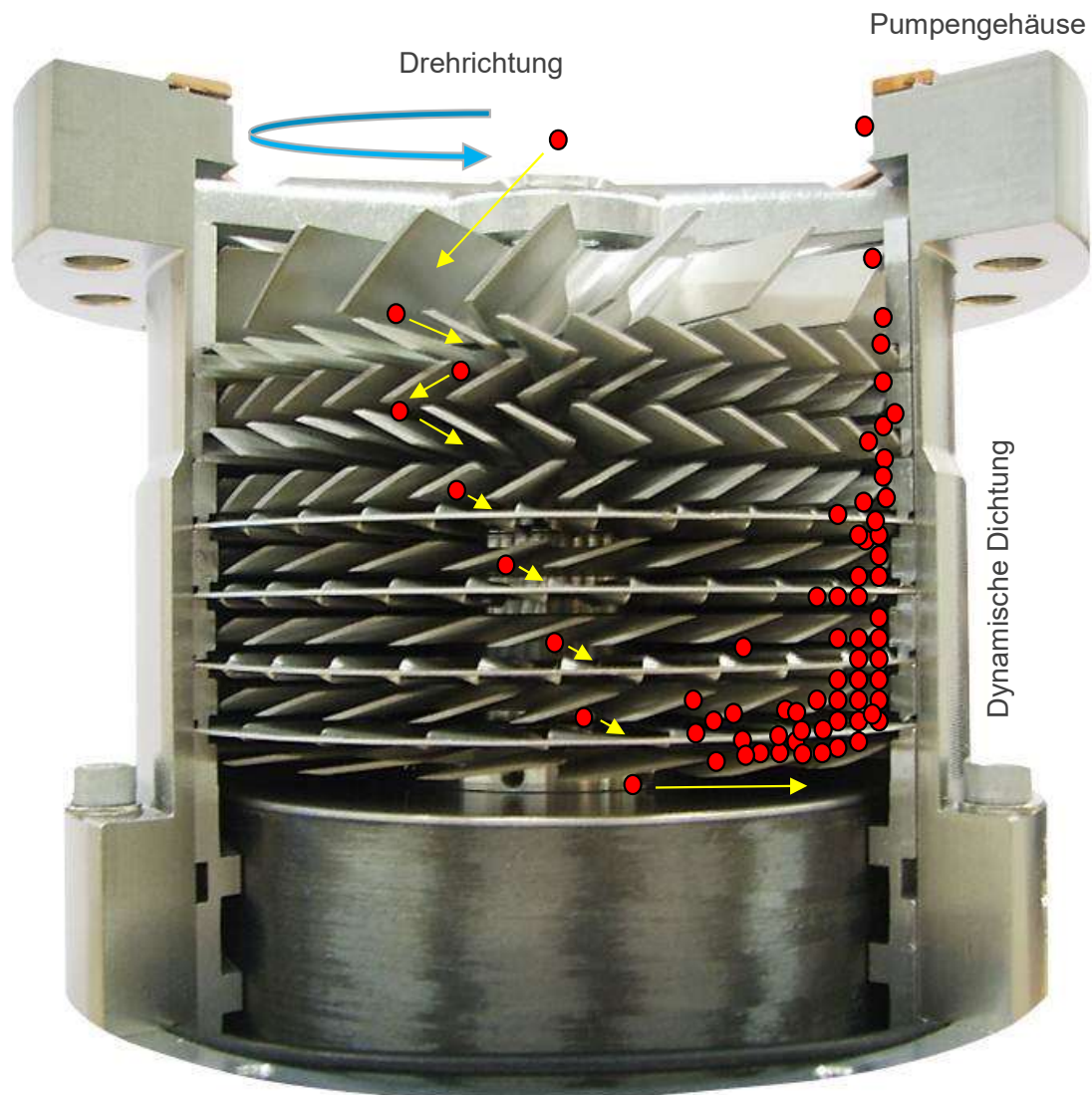
Um als Pumpe gut wirksam zu sein, muss die Umfangsgeschwindigkeit  $u$  der Schlitze in der Größenordnung der Teilchengeschwindigkeit  $c$  liegen. Mit hohen Drehzahlen, bis ca.  $10^5/\text{min}$  erreicht man heute Werte bis  $u \sim 500 \text{ m/s}$ . Gleichzeitig muss molekulare Strömung in den Schlitzen vorliegen. (keine Stöße zwischen den Molekülen); zum Betrieb ist daher eine Vorpumpe nötig.

Der unter diesen Bedingungen bewirkte Pumpprozess beruht darauf, dass die Durchtrittswahrscheinlichkeit für Moleküle unterschiedlich sind, wenn sie aus einem ruhenden Gas oder von ruhenden Oberflächen von beiden Seiten in die bewegten Pumpschlitze eintreten. In einen Rotorschlitz eintretende Moleküle geeigneter Geschwindigkeitsgröße und Geschwindigkeitsrichtung durchlaufen diesen bei dessen Vorwärtsbewegung ohne Wandberührung. In entgegengesetzter Richtung kann nahezu kein Gasteilchen auf die andere Seite gelangen, ohne auf eine Schlitzwand zu treffen.



Nicht frei durch den Rohrschlitz fliegende Gasteilchen treffen überwiegend auf die in Schlitzbewegungsrichtung rückwärtige Schlitzwand, die ihnen entgegen kommt. Nach ihrer Verweilzeit desorbieren sie mit der in Abb. c) durch die Pfeillängen gegebenen Häufigkeiten und Richtungen (Cosinus - Verteilung). Wegen der Schräglage dieser Wand ( $\alpha < 45^\circ$ ) treten sie mit höherer Wahrscheinlichkeit nach rechts, d. h. in Förderrichtung wieder aus dem Schlitz, der zweite, wichtigere Pumpprozess.

# TURBOMOLEKULAR - PUMPEN

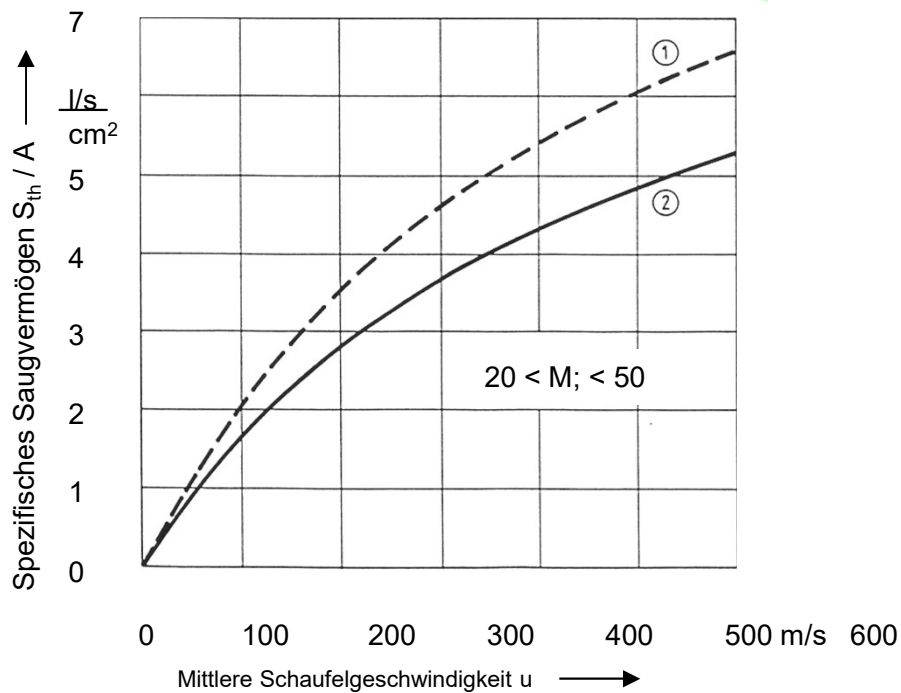


Natürlich gibt es auch Teilchen, die zwei oder mehr Wandstöße im Schlitz erfahren, das Ergebnis wird dadurch aber nicht entscheidend geändert. Umfangreiche Rechnungen unter Einbeziehung der zufälligen Desorptionsrichtungen sind bekannt. Eine vereinfachte Betrachtung beschreibt das maximale theoretische Saugvermögen  $S_{th}$  als Reihenschaltung einer Eintrittsblende vom Querschnitt  $A$  (Leitwert  $L = A \cdot \bar{c}/4$ ) mit einer ohne Druckerhöhung fördernden Pumpe ( $\Delta p = 0$ ) des Saugvermögens  $S_0 = A \cdot u/4$  ( $u$  = Schaufelgeschwindigkeit), für die gilt:  $S_{th} = S_0 \times L / (S_0 + L)$ . Dann erhält man für das auf den Ansaugquerschnitt bezogene, spezifische Saugvermögen:

$$\frac{S_{th}}{A} = \frac{\bar{c}}{4} \cdot \frac{1}{1 + \bar{c}/u}$$

# TURBOMOLEKULAR - PUMPEN

Diese Funktion zeigt die anschließende Abbildung für Stickstoff; sie stellt eine nicht erreichbare Obergrenze dar. Für eine reale Pumpe kann man  $S_{th}$  berechnen aus der beschauften Scheibenfläche  $A = (d_a^2 - d_i^2)$  und der Schaufelgeschwindigkeit  $u = (\pi/2) \cdot (d_a + d_i) \cdot f$ , mit  $f$  = Drehzahl. Sofern es sich um die normalen, mittelschweren Gase mit relativen Massenzahlen  $20 < M < 50$  handelt, liegt bei einer optimalen Konstruktion der wahre Wert dann etwa 20% tiefer als der errechnete, da dieser Prozentsatz der beschauften Eintrittsfläche von den Schaufeln selbst eingenommen wird.



1 Schaufeldicke null

2 Schaufeldicke 20% der Kanalbreite

Maximales spezifisches Saugvermögen als Funktion der Schaufelgeschwindigkeit



# TURBOMOLEKULAR - PUMPEN

---

Ist der Neigungswinkel der Schlitze gegen ihre Bewegungsrichtung  $45^\circ$ , so erhält man das maximale Saugvermögen bei kleinem Druckverhältnis. Bei kleinem Neigungswinkel ist es umgekehrt. In den praktisch ausgeführten Pumpen sind meist drei im Neigungswinkel der Schlitze abgestufte Scheibengruppen verwendet. Der Gasstrom tritt zuerst in die Gruppe mit großem Saugvermögen ein. In der letzten Gruppe wird das Gas bei kleinerem Volumen über die Schlitze mit dem größten Druckverhältnis verdichtet.

Handelsüblich sind derzeit TMP mit Saugvermögen  $S$  zwischen 50 l/s und 6000 l/s. Es hängt nicht stark von der Gasart ab. Zwischen  $10^{-1}$  und  $10^3$  Pa fällt es auf das Saugvermögen der Vorpumpe ab, welche 1% bis 10% des Saugvermögens der TMP haben soll. Das für Luft erreichbare Druckverhältnis  $k_{\text{ges}} = 10^9$  beträgt pro Scheibenpaar bis zu 25. Weil diese Kompression exponentiell sowohl mit der Wurzel aus der Massenzahl der Teilchen als auch mit der Umfangsgeschwindigkeit  $u$  der Schlitze wächst, erreicht man mit üblichen Pumpen für Wasserstoff ( $H_2$ ) nur Druckverhältnisse von ca.  $10^3$ . Turbomolekularpumpen, die zur Erzeugung von UHV bis  $10^{-9}$  Pa eingesetzt und mit einer zweistufigen Drehschieberpumpe betrieben werden, benötigen wegen der ansaugseitigen Restgas-Partialdrücke dieser Pumpen von  $10^{-6}$  Pa für Wasserstoff sowie von ca. 0,1 und bis zu 1 Pa für Stickstoff die oben genannten Druckverhältnisse ( $H_2 - 10^3$ ;  $N_2 - 10^9$ ). Höhere Werte werden aus wirtschaftlichen Gründen nicht realisiert.

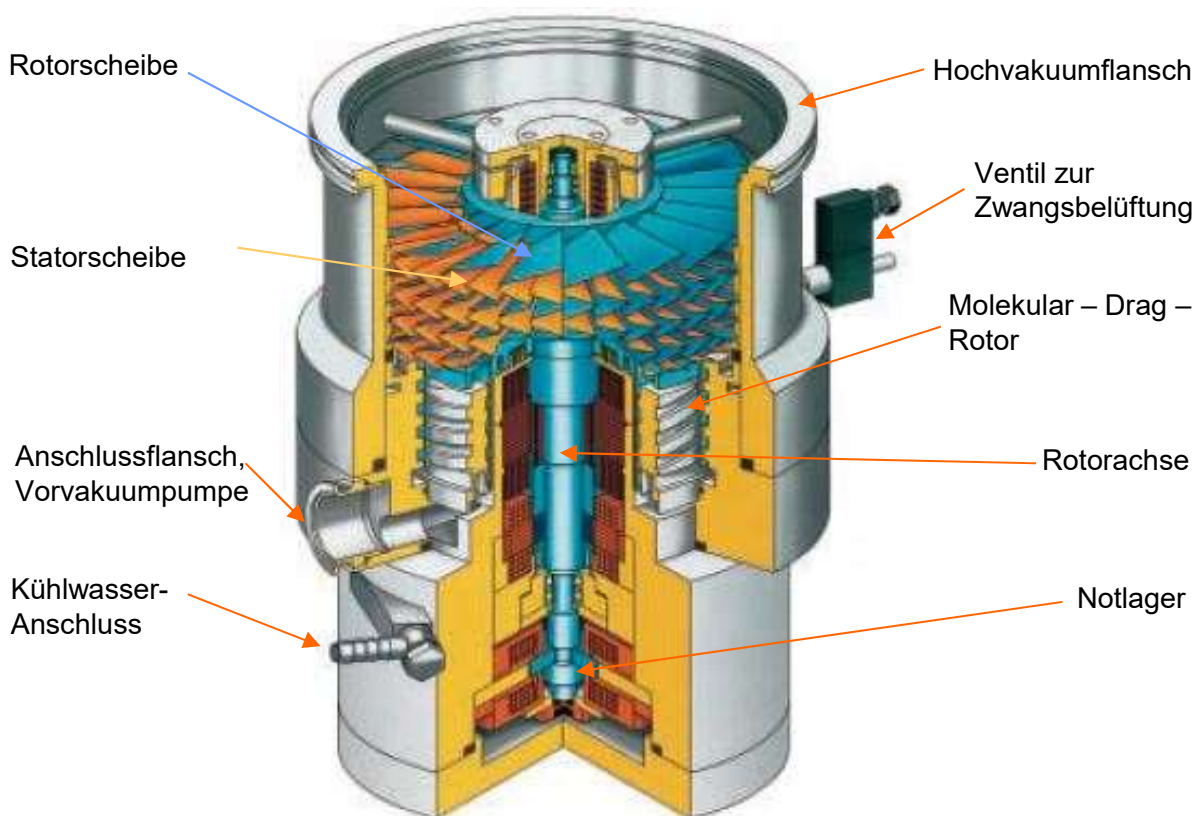
Bei dichten, sauberen Anlagen besteht das Restgas im Rezipienten zum größten Teil aus Wasserstoff, der in der Regel aus den Kammerwänden nachgeliefert wird. Weiter findet man in den meisten Fällen noch  $CO_2$ ,  $CO$  und  $H_2O$ . Für niedrigere Drücke sind die Pumpen mit Heizmanschetten zum Ausheizen bei  $100^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C}$  ausgestattet.

Wegen der großen Massenzahl von Ölen ist der Öl-Partialdruck bei laufender TMP im Rezipienten hingegen auch bei den tiefsten Drücken vernachlässigbar, sofern der Rezipient selbst sauber ist. Um bei Stillstand des Rotors die innere Rückströmung von Öldampf zu weitgehend zu vermeiden, flutet man beim Abstellen die noch laufende Pumpe mit trockenem Stickstoff auf mindestens 0,2 bar. Der Stickstoff bremst den Rotor, belegt die Oberflächen und desorbiert beim erneuten Abpumpen wieder gut. Zur Vermeidung der Öldiffusion soll das Starten einer TMP zusammen mit dem Einschalten der Vorpumpe erfolgen. Das Vorkriechen von Öl aus vorvakuumseitigen Lagern kann durch PTFE-Kriechsperrern verhindert werden. Die Lager-Ölschmierung hat auch die Aufgabe, eine hinreichende Lagerkühlung zu bewirken.

Die Rotoren werden ausgewuchtet und schwingungsgedämpft eingebaut. Die Vibrationsminderung erhöht die Laufruhe und die Lager-Lebensdauer (bis zu 20.000 h). Die einflutige TMP mit ihrer günstigen Einstromgeometrie hat sich im Laufe der Zeit trotz ihrer größeren Lagerprobleme zunehmend eingeführt. Ihre Achse steht in den meisten Fällen senkrecht, während zweiflutige Ausführungen mit horizontaler Achse arbeiten. Der Antrieb soll verlustarm (Erwärmung) sein und erfolgt je nach Hersteller mit Kurzschlussläufern, Gleichstrom- oder Hysteresemotoren.

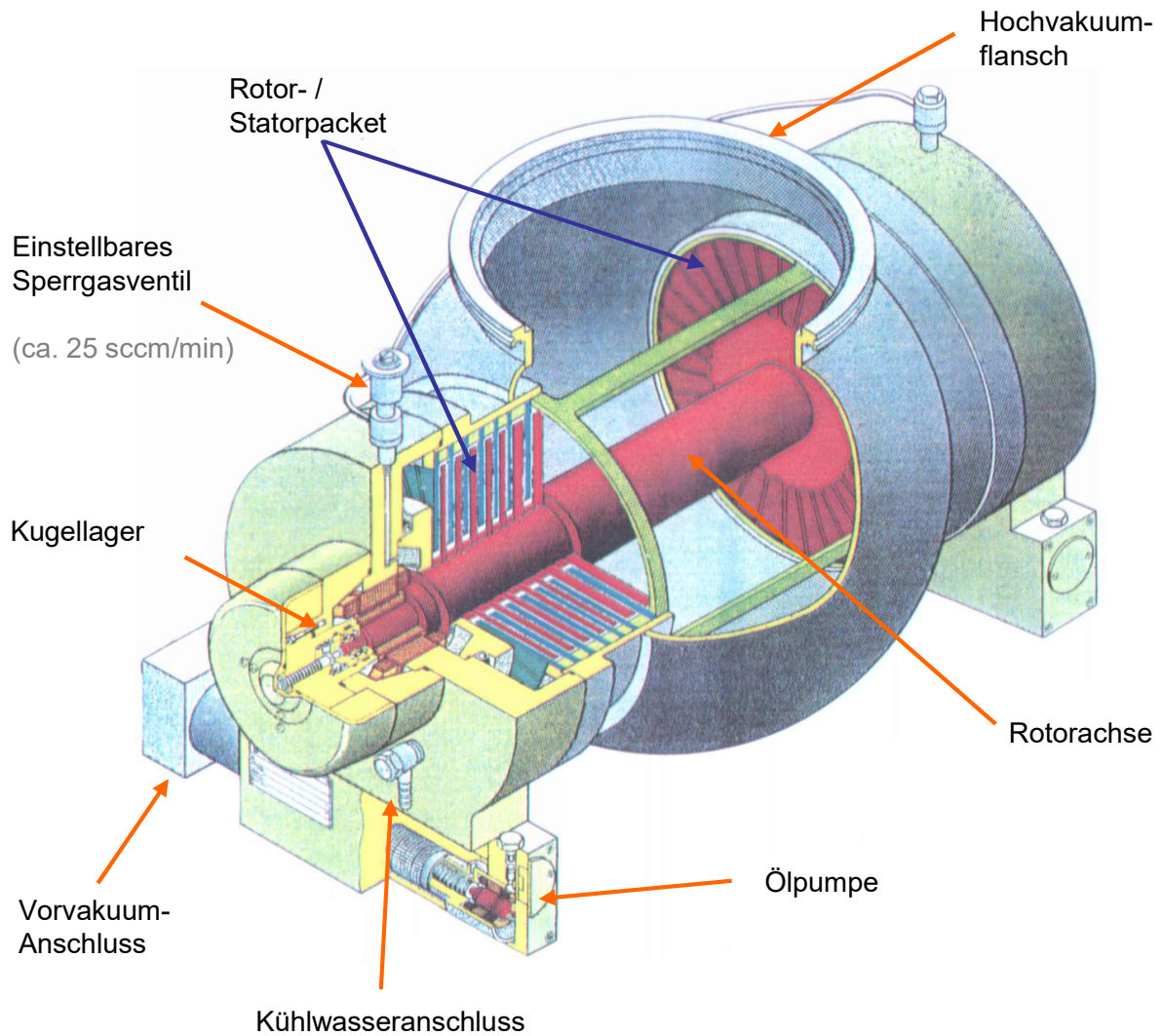
# TURBOMOLEKULAR - PUMPEN

Bereits jetzt schon spielen Magnetlager eine sehr große Rolle. Um die gesamt 5 Beweglichkeiten des Rotors (1 x axial, 2 x seitlich in beiden Lagern) zu regeln, muss mindestens eine Regelung aktiv statt passiv erfolgen. Es gibt Versionen, bei denen eine Holweckstufe baulich integriert nachgeschaltet ist, welche den erforderlichen Vorvakuumdruck in den Bereich um ca. 10 mbar anhebt; dann reicht für „trockene“ (ölfreie) Prozesse bei kleineren Anlagen eine Membran - Vorpumpe. Gegen aggressive Gase gibt es Ausführungen mit Schutzschichten auf den Innenflächen und chemisch resistente Schmiermittel. Äußere Magnetfelder können metallische Rotoren durch Wirbelstrombildung unzulässig aufheizen. Bei Feldstärken über  $1-3 \cdot 10^{-2}$  Tesla in radialer Richtung werden magnetische Abschirmungen nötig. Der Einsatz nicht leitender, z. B. keramischer Rotoren, wäre denkbar. Vollautomatischen, drehzahlvariablen und mikroprozessorgesteuerten Antriebssystemen gilt zunehmend Nachfrage.



Turbomolekularpumpe (Wide Range) besteht aus einer Turbomolekular und einer Holweckstufe (Molekular – Drag – Pump)

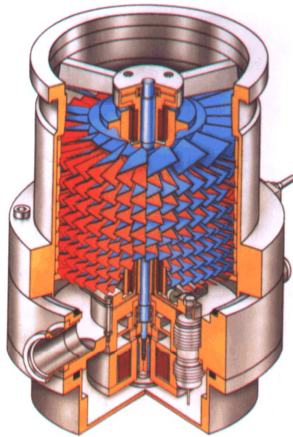
# TURBOMOLEKULAR - PUMPEN



Doppelflutige Turbomolekularpumpe mit Sperrgasanschluss. (verhindert das Eindringen aggressiver Gase in die Lagerbereiche. Die Flächen auf der Vakuumseite sind chemieresistent beschichtet.

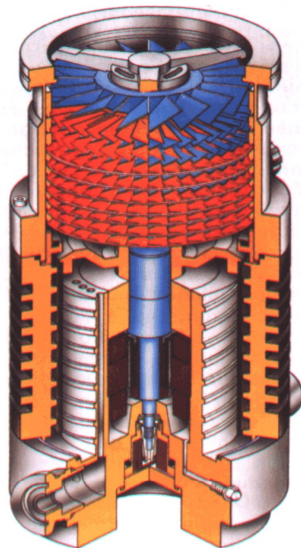
# TURBOMOLEKULAR – PUMPEN

## Zusammenfassung gängiger Ausführungen



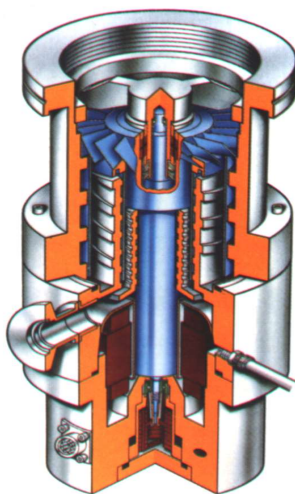
### TURBOMOLEKULARPUMPEN

Diese Art von magnetgelagerter Molekularpumpe stellt die modernste Entwicklungsstufe von Turbomolekularpumpen dar. Die Lagerung besteht aus zwei permanent-magnetischen Radiallagern und einem aktiven Axiallager. Die Positionierung wird ständig durch elektronische Sensoren überwacht. Um bei eventuellen mechanischen Problemen, Rotor oder Statorbrücke zu verhindern, sind schmiermittelfreie Notlager eingebaut. Oft sind diese Notlager vor Ort unkompliziert auszutauschen. Minimale Geräuschentwicklung, extrem niedrige Vibrationen und absolute Wartungs- und Schmiermittelfreiheit bilden die Vorteile dieser Pumpenart. Die Lage des Einbaus ist beliebig.



### TURBOMOLEKULARPUMPEN WIDE RANGE

Wide Range TMP setzen sich aus zwei verschiedenen Arten von Turbomolekularpumpen zusammen. Das Kompressionsverhalten gegenüber Standard Turbomolekularpumpen ist um ca. drei Zehnerpotenzen größer. Dies ermöglicht eine trockene Pumpe ( z.B. ölfreie Membranpumpe ) als Vorpumpe zu verwenden. Hier wird eine Vakuumbeständigkeit bis 13 mbar erreicht. In dieser Konfiguration ist keine Ölrückströmung in den Rezipienten möglich. Gute Saugvermögens- und Kompressionswerte werden bei allen Gasarten, einschließlich Wasserstoff, erreicht.



### MOLECULAR - DRAG - PUMP

Der Aufbau der Molekular - Drag - Pumpe ( MDP ) unterscheidet sich von den herkömmlichen Turbomolekularpumpen. Der Rotor besteht aus einer Turboscheibe und einem mehrstufigen Molekular - Pumpsystem. Ein Enddruck von  $10^{-7}$  mbar und eine Vorvakuumbeständigkeit werden trotz eines Spaltes von 0,3 mm erreicht. Im Dauerbetrieb kann also eine trockene Membranpumpe als Vorpumpe eingesetzt werden. Der Vorteil gegenüber Turbomolekularpumpen besteht im höheren Saugvermögen zwischen 1 und  $10^{-3}$  mbar.

# TURBOMOLEKULAR – PUMPEN

---

## Eigenschaften und Anwendungen

Die Turbomolekularpumpen zeichnen sich durch folgende Eigenschaften besonders aus.

- Hohes Saugvermögen bei geringem Gewicht und kleinen Abmessungen.
- Annähernd gleiches Saugvermögen für alle Gase und Dämpfe, unter  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar konstant.
- Kohlenwasserstofffreies Hoch- und Ultrahochvakuum.
- Die Pumpen sind direkt am Rezipienten anflanschbar, Einbaulage meist variabel.
- Einfache Handhabung, schnell einsatzbereit.
- Unkomplizierte, anspruchslöse Wartung; niedrige Betriebskosten
- Keine Drehdurchführungen zur Atmosphäreseite vorhanden.
- Erprobte Konstruktion – technisch zuverlässig
- Leise und vibrationsarm



# ÖLDIFFUSIONSPUMPEN

---

Die Erfindung der Diffusionspumpe bedeutete den eigentlichen Beginn der modernen Hochvakuumtechnik. In der Zwischenzeit sind andere Pumpmethoden entwickelt worden, die der Diffusionspumpe zunehmend Konkurrenz machen und sie aus manchen Anwendungsgebieten mehr oder weniger verdrängt haben. Insgesamt gesehen behauptet die Öldiffusionspumpe noch immer ihre Stellung, nicht zuletzt dank ihrer Zuverlässigkeit. Ihr hauptsächliches Einsatzgebiet ist die konventionelle HV-Technik.

Die Öldiffusionspumpe gehört zu den Gastransfervakuumpumpen (Förderpumpen), die das aus dem zu evakuierenden Hochvakuumraum abgepumpte Gas unter Verdichtung in den Vorvakuumraum transportieren. Sie halten also ein Druckgefälle zwischen Hoch- und Vorvakuum aufrecht.

Wegen der prinzipbedingten Treibmittlrückströmung sind für die meisten Anwendungen Dampfsperren (Baffles) erforderlich, die nicht nur für den Treibmitteldampf, sondern auch für eine Reihe abzupumpender Gase typischen, zum Teil unerwünschten Eigenschaften von Adsorptions- und Kondensationspumpen zeigen.



*Öldiffusionspumpe*



*Düsenstock*

# ÖLDIFFUSIONSPUMPEN

## Wirkungsweise

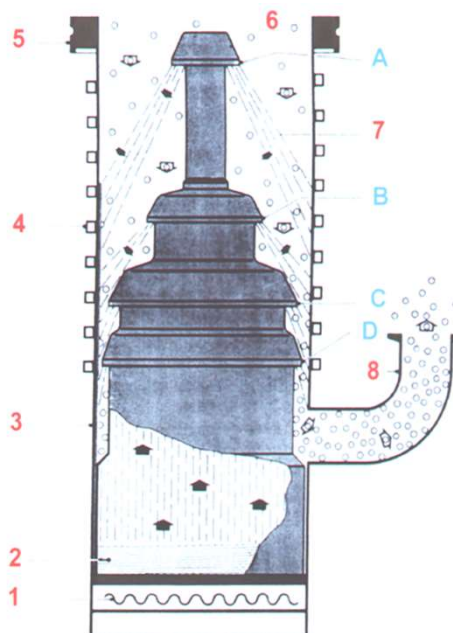
Die Heizung erhitzt das im Siedegefäß befindliche Treibmittel (spezielle organische Flüssigkeiten) bis zur Verdampfung.

Der Dampf steigt im Düsensystem (Düsenstock) auf und tritt durch die Düsen schräg nach unten aus. Der Dampfdruck beträgt vor dem Eintritt in die Düsen etwa 1 bis 15 mbar. In den Düsen entsteht eine Überschallströmung. Der Dampfstrahl trifft auf die gekühlte Wand, kondensiert dort und läuft in das Siedegefäß zurück.

Gasmoleküle, die durch die Ansaugöffnung aus dem Rezipienten in den Dampfstrahl geraten (durch Diffusion in den Strahl eindringen), erhalten einen Impuls in Richtung des Dampfstrahls und werden, während der Dampf kondensiert, an die vorgeschaltete Pumpstufe bzw. an das Vorvakuum abgegeben. Zum Teil bleiben sie auch im Kondensat gelöst. Andererseits werden Moleküle, die von unten, also vom Vorvakuum her in den Dampfstrahl eintreten, mit hoher Wahrscheinlichkeit zurückbefördert. Der Dampfstrahl hält also ein Druckgefälle zwischen Vor- und Hochvakuum aufrecht (Kompression).

Zur Vergrößerung des gesamten Kompressionsvermögens ordnet man stets 3 oder 4 Stufen hintereinander an, deren Kompressionsverhältnisse sich multiplizieren. Damit eine Stufe überhaupt einwandfrei arbeiten kann, muss der Vorvakuumdruck so niedrig sein, dass der Dampfstrahl ungehindert den Kühlmantel erreichen kann (Vorvakuumbeständigkeit).

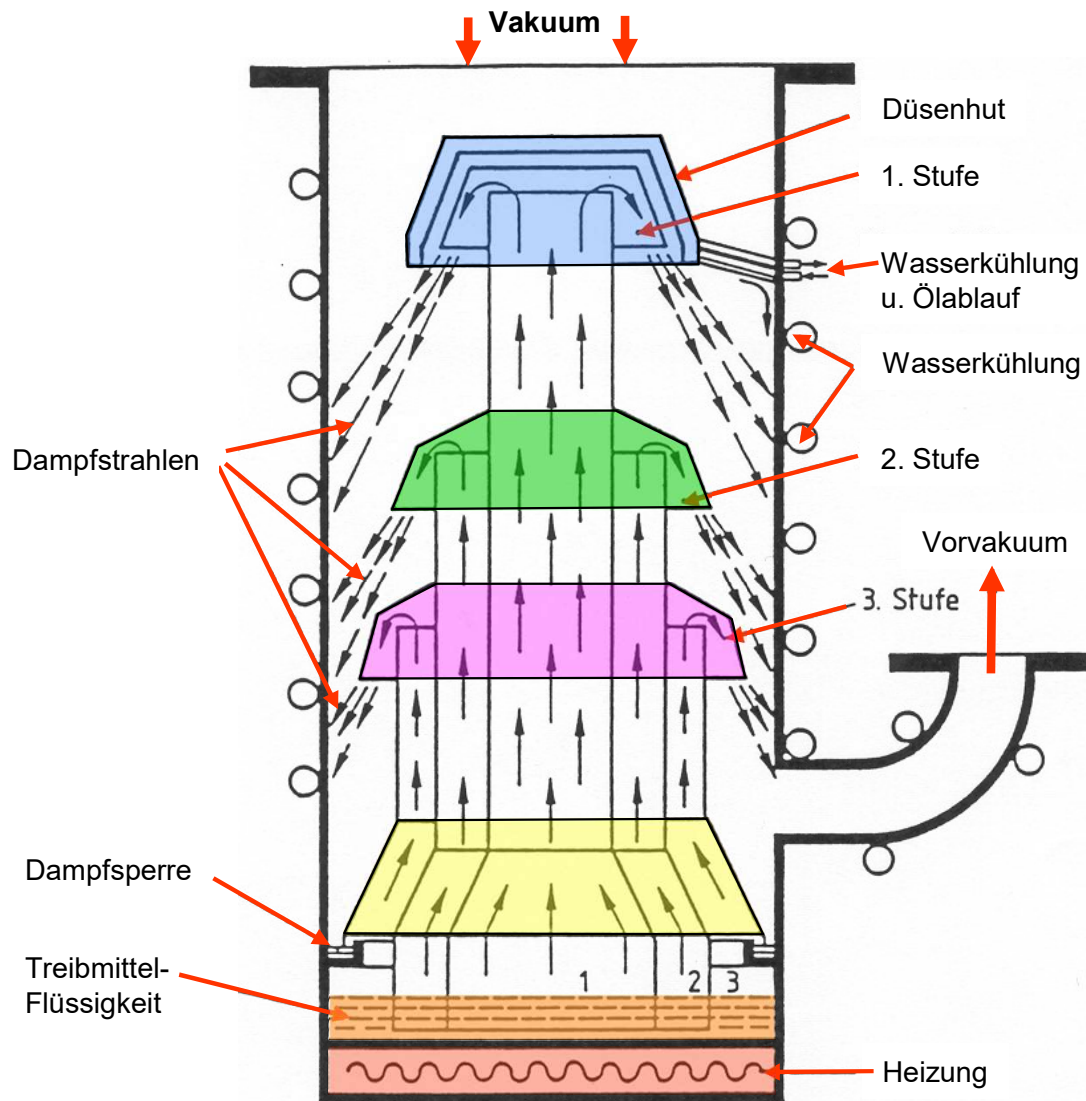
Die oberste Stufe wird für höchstes Saugvermögen, die unterste für höchste Vorvakuumbeständigkeit ausgelegt. Dazu müssen die Düsendimensionen sorgfältig optimiert werden.



1. Heizung
2. Siederaum
3. Pumpenkörper
4. Kühlrohre
5. Hochvakuumflansch
6. Gasteilchen
7. Dampfstrahl
8. Vorvakuumstutzen

# ÖLDIFFUSIONSPUMPEN

Oldiffusionspumpen-Schema mit Düsenhut





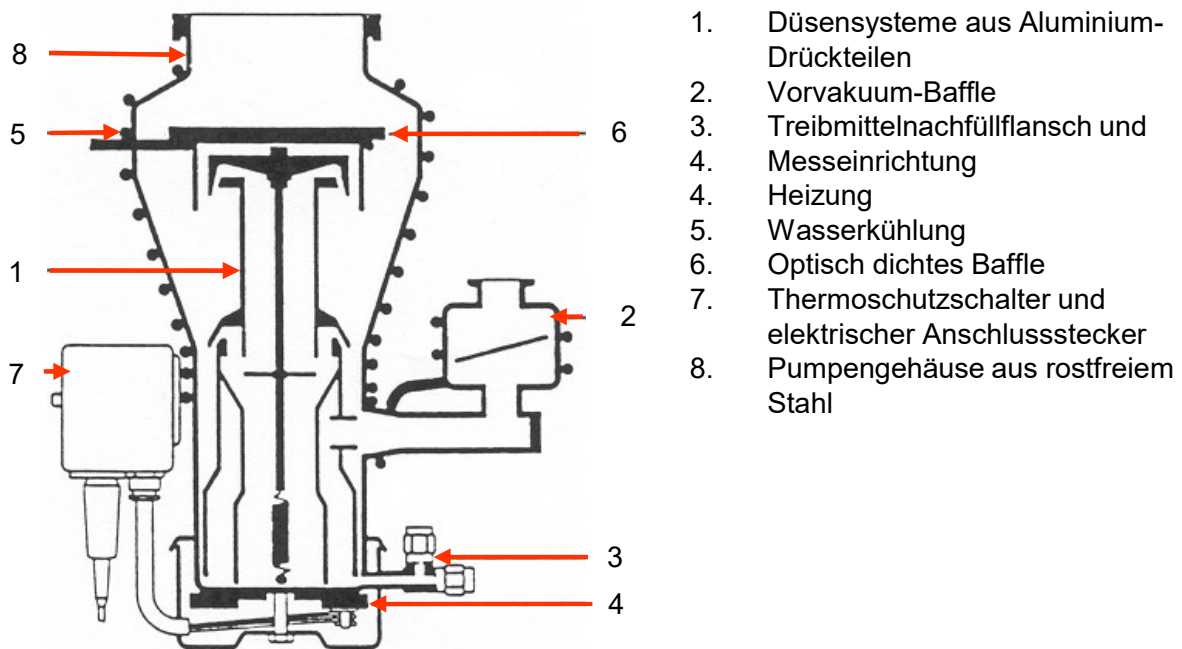
# ÖLDIFFUSIONSPUMPEN

## DIFset-Pumpen

Öldiffusionspumpen mit integriertem Baffle und Booster-Stufe erlauben nebst einer kompakteren Bauweise auch den Verzicht auf eine Flanschverbindung – d. h. eine Dichtung entfällt. Diese beiden Vorzüge ergeben höhere spezifische Leistungswerte für Saugvermögen, Vorvakuumbeständigkeit und Enddruck bei einem geringeren Anschaffungspreis. Das so genannte Vorvakuum-Baffle im Vorvakuumstutzen reduziert bei hohem Gasdurchsatz den Treibmittelverbrauch erheblich. Die leistungsstarke Heizung ermöglicht ohne Heizplattenaustausch den Einsatz von Mineralölen, Silikonölen und Pentaphenyläther als Treibmittel. Der eingebaute Thermoschutzschalter verhindert eine Überhitzung des Treibmittels.

### Vorteile:

- Kompakte Bauweise
- Eingebautes Wasser - Baffle
- Pumpenkörper und Anschlussflansche aus rostfreiem Stahl
- Hohes spezifische Saugvermögen
- Höchste Vorvakuumbeständigkeit durch integrierte Booster Stufe
- Für Mineralöle, Silikonöle oder Pentaphenyläther (z. B. Santovac)
- Kurze Anheizzeit



# ÖLDIFFUSIONSPUMPEN

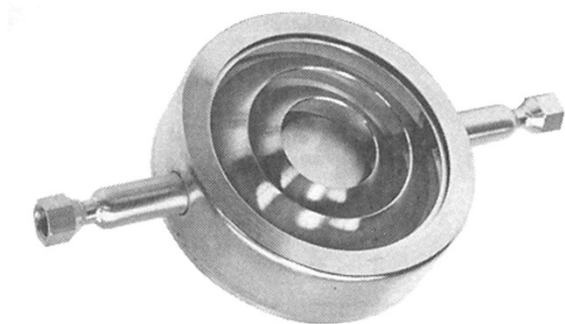
Eines der Hauptprobleme bei Treibmittelpumpen ist der Übertritt eines Teils des Treibmitteldampfes in den Hochvakuumrezipienten (Treibmittlrückströmung). Der größte Teil der Treibmittlrückströmung wird durch eine gekühlte Haube über der obersten Düse, dem Cold Cap, zurückgehalten.

Im Vorvakuum-Stutzen baut man oft eine Schikane ein, bestehend aus einem Satz von Prallplatten, die die Aufgabe haben, den bei hohem Gasdurchsatz mitgerissenen Treibmittelnebel zurückzuhalten.

## **Baffle:**

Das Baffle hat die Aufgabe, die von der Diffusionspumpe rückströmenden Treibmittelmoleküle am Eintritt in den Rezipienten zu hindern. Der zurückströmende Treibmitteldampf schlägt sich auf dem optisch dichten Baffle nieder. Der Dampfdruck des Treibmittels ist temperaturabhängig. Will man die Treibmittel-Wiederverdampfung vom Baffle unter einen bestimmten Wert erniedrigen, so muss das Baffle hinreichend gekühlt werden.

Das Baffle ist mit Wasser, Kühlmittel-Kühlaggregat oder flüssigem Stickstoff kühlbar. Bei Kühlung mit Kühlaggregat oder flüssigem Stickstoff erhält man außerordentlich niedrige Rückströmraten. Bei Kühlung mit flüssigem Stickstoff wird das Baffle zu einer hochwirksamen Pumpe für Wasserdampf.



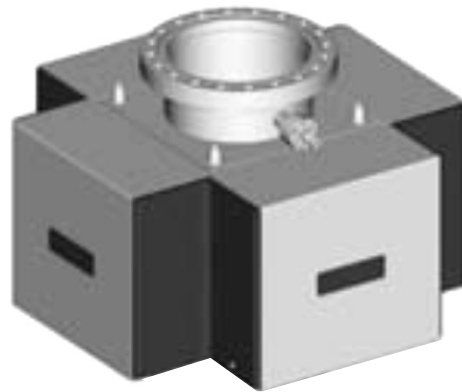
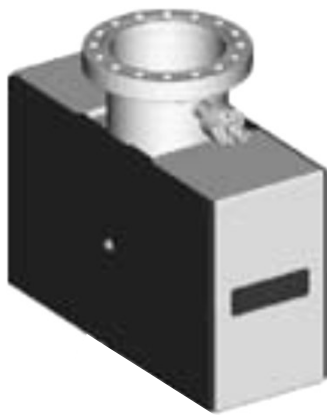
*Dampfsperre (Baffle)*

Das wirksame Saugvermögen für nicht kondensierbare Gase wird durch das Baffle auf rund die Hälfte gedrosselt.

# IONENZERSTÄUBERPUMPE

## WIRKUNGSPRINZIP: SORPTIONSPUMPE

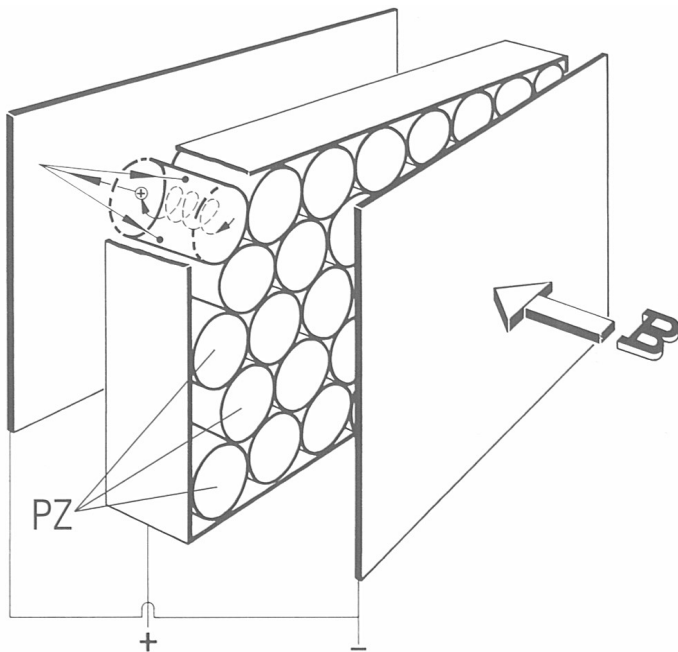
- Die **Ionen - Zerstäuberpumpe** besitzt keine bewegten Teile
- Sie hat keinen Auspuff
- Sie wird mit **Hochspannung** betrieben
- In ihr werden Gasmoleküle elektrisch aufgeladen = „ **ionisiert** “
- Die Ionisierung wird durch ein **Magnetfeld** verstärkt
- Die entstandenen Ionen werden durch die Hochspannung auf die Wände des Pumpengehäuses geschossen
- Dort sind **Titanplatten** angeordnet, deren Oberfläche durch die auftreffenden Ionen teilweise **zerstäubt** wird
- An und in dieser zerstäubten Metalloberfläche binden sich sehr gut Gase. Man nennt dies **Getterwirkung**
- Aus diesem Grund wird die **Ionen - Zerstäuberpumpe** oft auch **Ionen - Getterpumpe** genannt



*Hochspannungsnetzteil mit Vakuummessung*

Ionen – Zerstäuberpumpen verschiedenartiger Bauart und Leistung, sowie Kontrolleinheiten

# IONENZERSTÄUBERPUMPEN



Ionen treffen auf die Kathode  
( Titanplatten ) der  
Gasentladungsanordnung  
( Anodenzyylinder ) auf,

Kathodenmaterial wird zerstäubt.

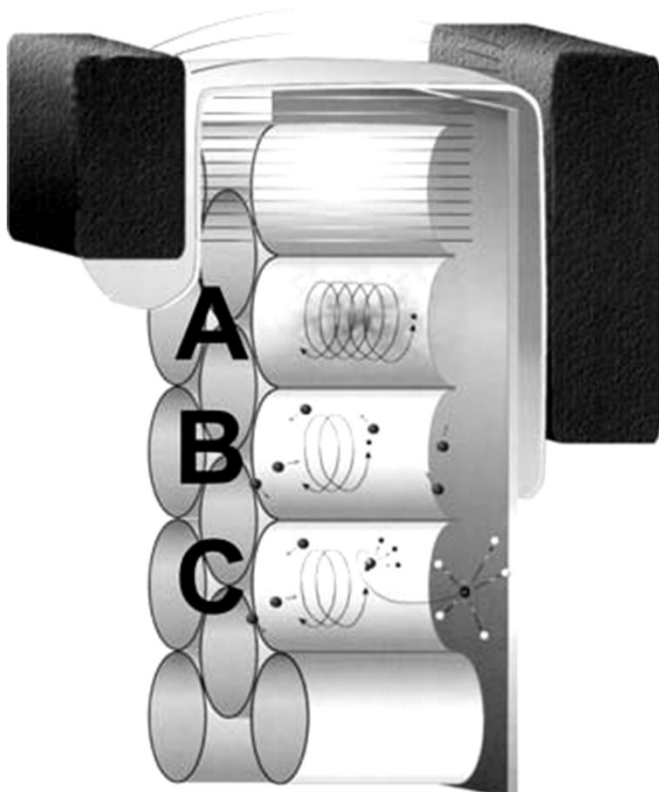
Die dadurch an anderen Stellen  
entstehenden Titan – Niederschläge  
wirken als Getterfilm und binden die  
reaktionsfähigen Gasteilchen

z. B.                      Stickstoff  
                              Sauerstoff  
                              Wasserstoff

## Beispiel technischer Daten einer IZ - Pumpe:

Flanschdurchmesser:	100 mm
Pumpengewicht:	20 kg
Saugvermögen:	60 Liter / sek.
Einsatzbereich:	$< 10^{-11}$ mbar

*Eine Kontrolleinheit liefert die benötigte  
Hochspannung von ca. 7000 Volt*



**A** – Erzeugung einer Elektronenwolke

**B** – Ionisierung der Gasmoleküle

**C** - Ionenaufprall

# IONENZERSTÄUBERPUMPEN

---

## **Erzeugung einer Elektronenwolke (Zeichnung, Bereich A)**

Wenn die IGP auf einen geeigneten Startdruck evakuiert ist, wird eine positive Hochspannung an die Anode angelegt, so dass sich Elektronenwolken innerhalb der Anodenzyylinder bilden. Die Höhe der an den Anodenzyindern anliegenden Spannung beeinflusst sowohl die Dichte der geladenen Teilchen, als auch ihre Geschwindigkeit in direkter Weise. Durch das von den Permanentmagneten erzeugte Magnetfeld werden die Elektronen auf Spiralbahnen gezwungen. Die Dichte der Wolke ist außerdem proportional zum Druck des Systems. Im Allgemeinen verringert sich die Dichte mit abnehmendem Druck, da weniger Gasmoleküle frei beweglich sind und weniger Elektronen durch Ionisation freigesetzt werden. Druck und Spannung beeinflussen außerdem den Durchmesser der Elektronenwolke. Die Größe der Anoden ist so gewählt, dass die beste Ionisationsrate, Leitfähigkeit und Implantationsrate von Gasmolekülen erzielt wird. Eine IGP vom Typ Diode setzt sich zusammen aus einem oder mehreren Pumpelementen, den dazu gehörigen externen Permanentmagneten und dem Pumpengehäuse. Die Pumpelemente sind die Teile der Pumpe, die die eigentliche Pumparbeit verrichten. Jedes Pumpelement besteht aus 2 Kathodenblechen und einem Anodenelement, kurz Anode genannt. Die Anode wiederum ist aus zahlreichen zylinderförmigen kurzen Metallröhrchen aufgebaut, die wie Waben aneinander geschweißt sind. Jedes Röhrchen bildet das Zentrum einer Penning - Zelle. Je mehr Zellen eine Anode enthält, umso höher ist das Saugvermögen des daraus aufgebauten Pumpelements. Die Anode befindet sich zwischen den beiden Kathodenblechen, die durch einen Spalt von der Anode getrennt sind. Der Spalt ist so groß, dass er das Einstromen von Gas erlaubt. Anode und Kathoden sind fest verbunden und mittels Keramikisolatoren elektrisch isoliert. Sie bilden das Pumpelement. Ein oder mehrere Pumpelemente werden in das Pumpengehäuse eingebaut. Das Pumpengehäuse ist eine kleine Vakuumkammer, die Taschen zur Aufnahme der Pumpelemente besitzt. Die Permanentmagnete werden von außen auf die Taschen gesetzt und vervollständigen den Aufbau. Zur Funktion einer IGP sind im Wesentlichen drei Prozesse notwendig, die im Folgenden erläutert werden sollen.

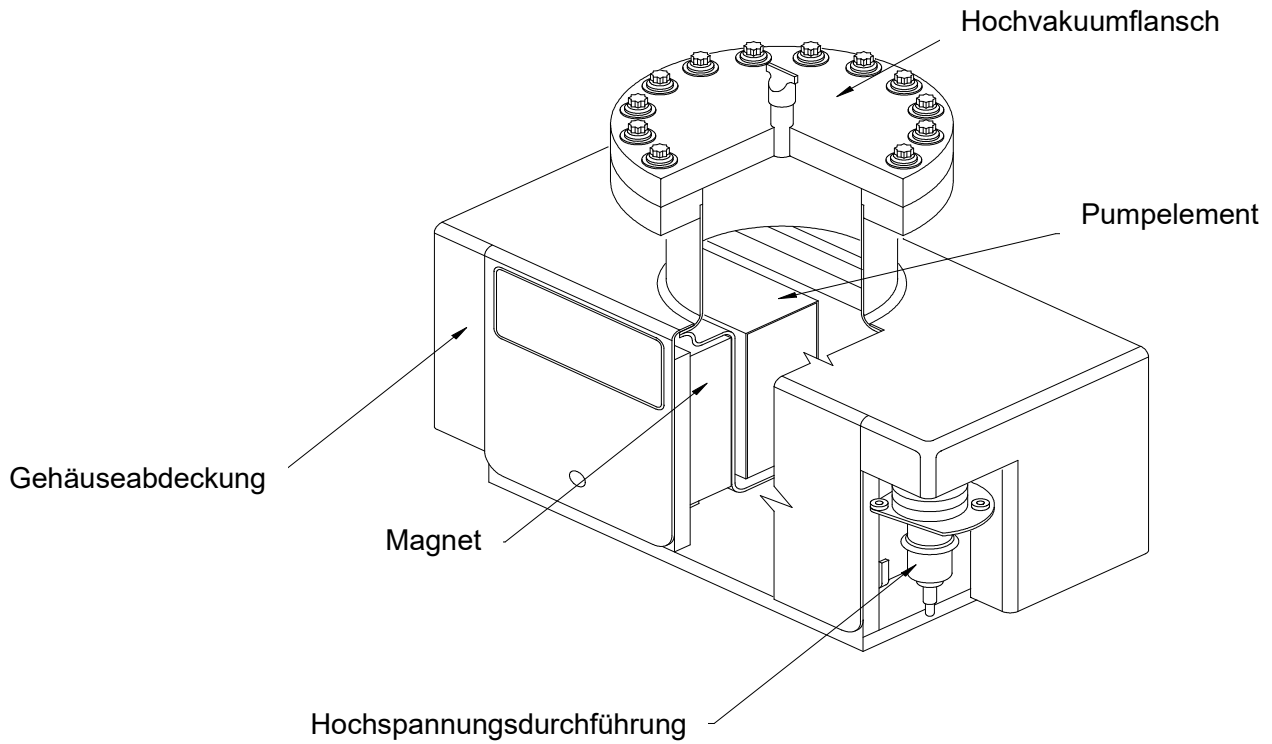
## **Ionisierung der Gasmoleküle (Zeichnung, Bereich B)**

Neutrale Gasmoleküle und Atome im Bereich der Elektronenwolke werden beim Zusammenstoß mit Elektronen ausreichender Energie ionisiert. Dabei freigesetzte Elektronen werden Teil der Elektronenwolke und können wiederum andere Moleküle ionisieren. Je höher die am System anliegende Spannung ist, desto schneller bewegen sich die Elektronen der Elektronenwolke und desto größer ist die Wahrscheinlichkeit für die Stoßionisation. Das ursprüngliche Gasmolekül bleibt als positives Ion innerhalb der positiv geladenen Hochspannungsanode zurück. Unter der Wirkung der elektromagnetischen Kräfte wird das Ion in Richtung der im Verhältnis zur Anode negativ geladenen Kathode beschleunigt, wobei es eine hohe kinetische Energie erreicht, die in etwa der angelegten Hochspannung entspricht.

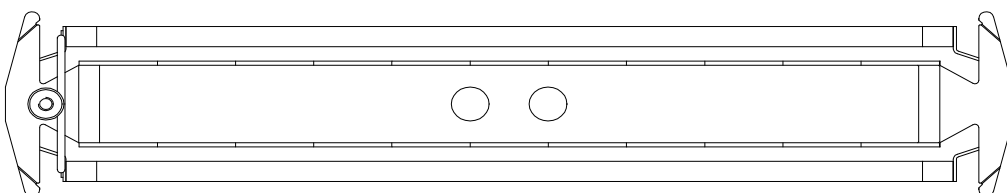
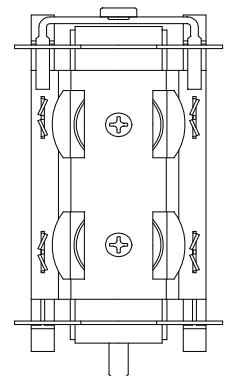
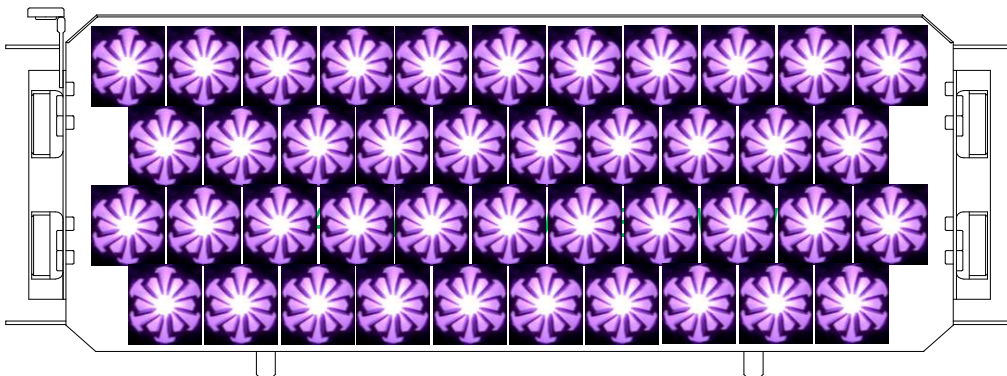
## **Ionenaufprall (Zeichnung, Bereich C)**

Die ionisierten Gasmoleküle mit positiver Ladung treffen mit einer hohen kinetischen Energie auf die Kathode. Beim Aufprall geschehen mehrere Dinge gleichzeitig. Das ionisierte Gasmolekül kann direkt mit dem Kathodenmaterial reagieren, wobei es sich chemisch an ein Atom der Kathode bindet. Wenn diese Reaktion auftritt, treibt die Stoßenergie weitere Atome als nicht geladene Teilchen aus der Kathode. Dieser Kathodenzerstäubung (Sputtern) genannte Vorgang verteilt das Kathodenmaterial über das Pumpelement, wodurch frisches Kathodenmaterial zur Verfügung steht, um zusätzlich reaktive Gase unabhängig von der Ladung der Moleküle chemisch zu binden. Ein ionisiertes Gasmolekül, das nicht mit dem Kathodenmaterial reagiert, wird in das Kathodenmaterial implantiert oder unter einem bestimmten Winkel in die Pumpe zurück reflektiert. Das ionisierte Gasmolekül wird zum Zeitpunkt des Aufpralls neutralisiert. Wenn es reflektiert wird, ist es möglich, dass es als neutrales Molekül auf andere Oberflächen der Pumpe trifft und dort implantiert wird. Der Mechanismus, um die Moleküle aus dem Vakuumsystem zu entfernen, ist entweder chemischer oder physikalischer Natur und hängt sowohl von der Art der Gase als auch vom Kathodenmaterial ab. Diese Faktoren bestimmen außerdem, ob sich Moleküle auf den Pumpenwänden ablagern, in die Kathoden implantiert oder als Teilchen mit hohen Geschwindigkeiten reflektiert werden.

# IONENZERSTÄUBERPUMPEN



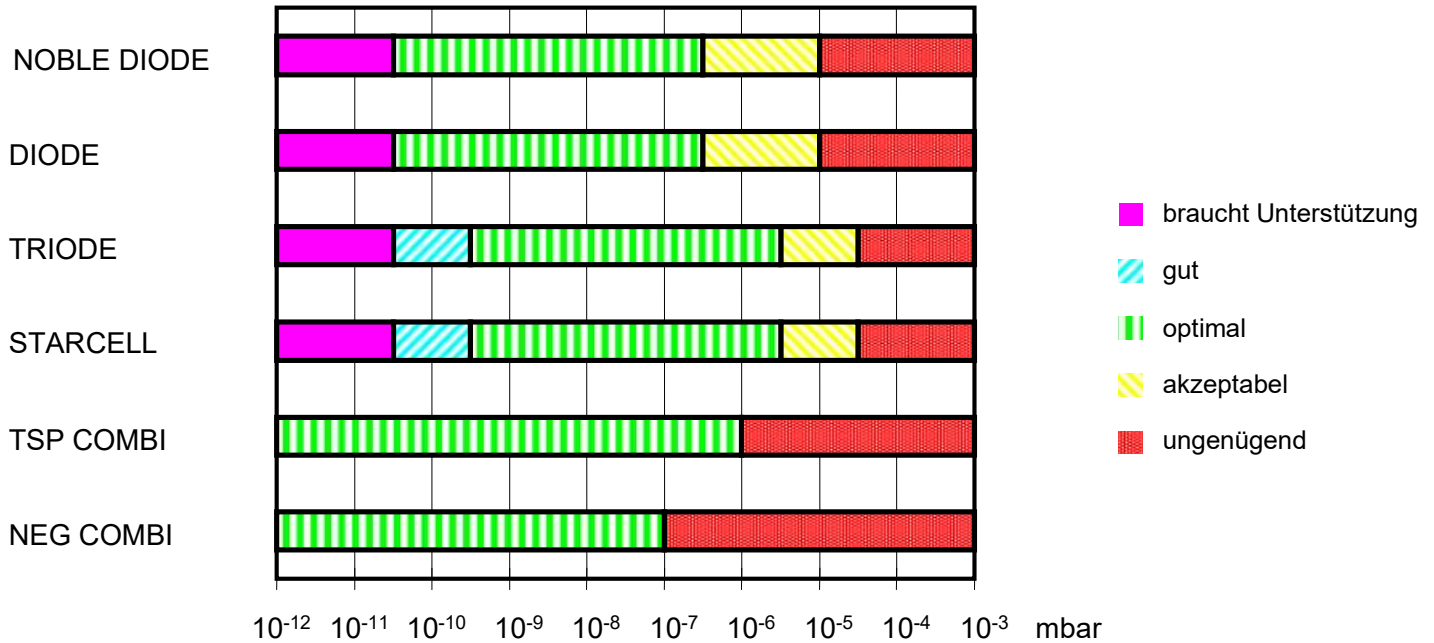
*Plasma - Entwicklung*



# IONENZERSTÄUBERPUMPEN

## ARBEITSBEREICHE

### PUMPENTYP:



## WIRKUNG MIT UNTERSCHIEDLICHEN GASEN

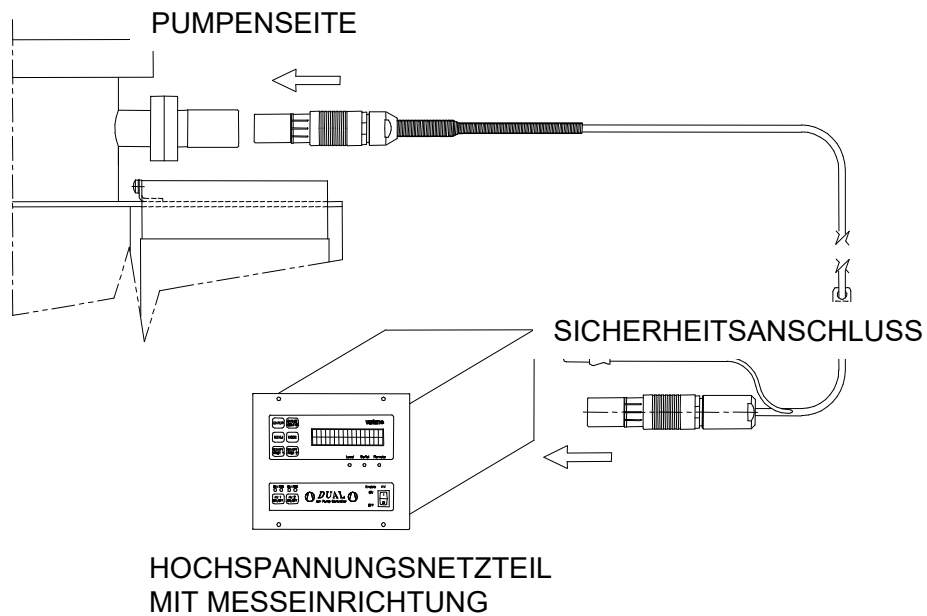
	TSP	NEG	TRIODE	STAR CELL	DIODE	NOBLE DIODE
Wasserstoff	3	4	1	2	3	1
Helium	0	0	3	4	1	3
Wasser	3	3	2	2	3	2
Methan	0	0	3	3	2	3
Stickstoff	3	3	2	2	3	3
O <sub>2</sub> , CO , CO <sub>2</sub>	4	3	2	2	3	3
Argon	0	0	3	4	1	3

keine  
einfach  
gut  
sehr gut  
hervorragend

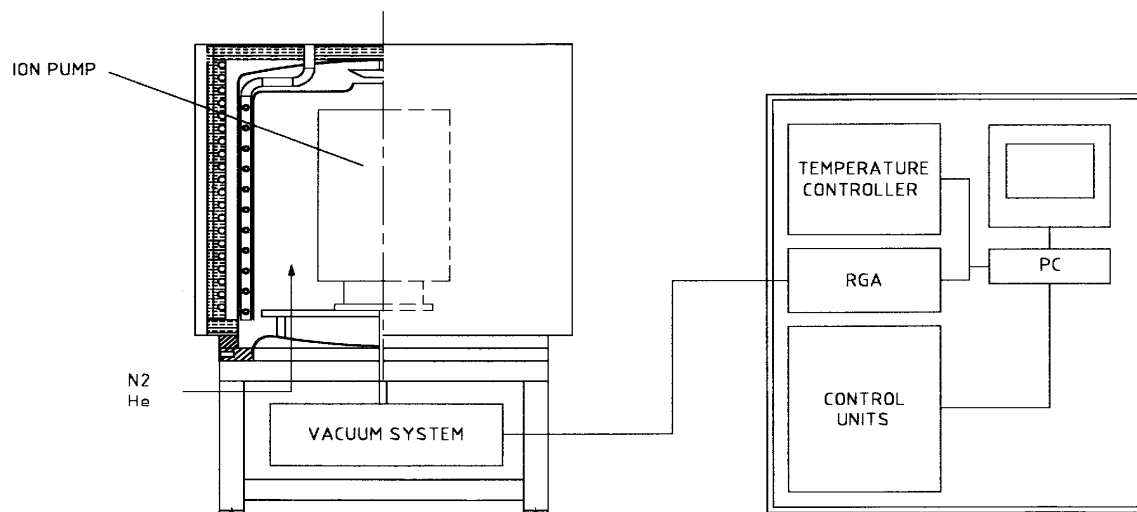
0
1
2
3
4

# IONENZERSTÄUBERPUMPEN

## KONTROLLEINHEIT



## SYSTEM ZUM AUSGASEN





# KRYOPUMPEN

---

Als Kryopumpen bezeichnet man Pumpen, die in der Lage sind, auch die wesentlichen Permanentgase zu kondensieren. Kryopumpen arbeiten heute ausschließlich mit einem geschlossenen Helium - Kühlkreislauf.

Zwei Arbeitstemperaturen finden hier ihre Anwendung. Bis 20 Kelvin werden hier alle Gase bis auf Wasserstoff, Helium und Neon gebunden.

Bei 4,2 K - der Temperatur des flüssigen Heliums bei Atmosphärendruck - alle Gase außer Helium.

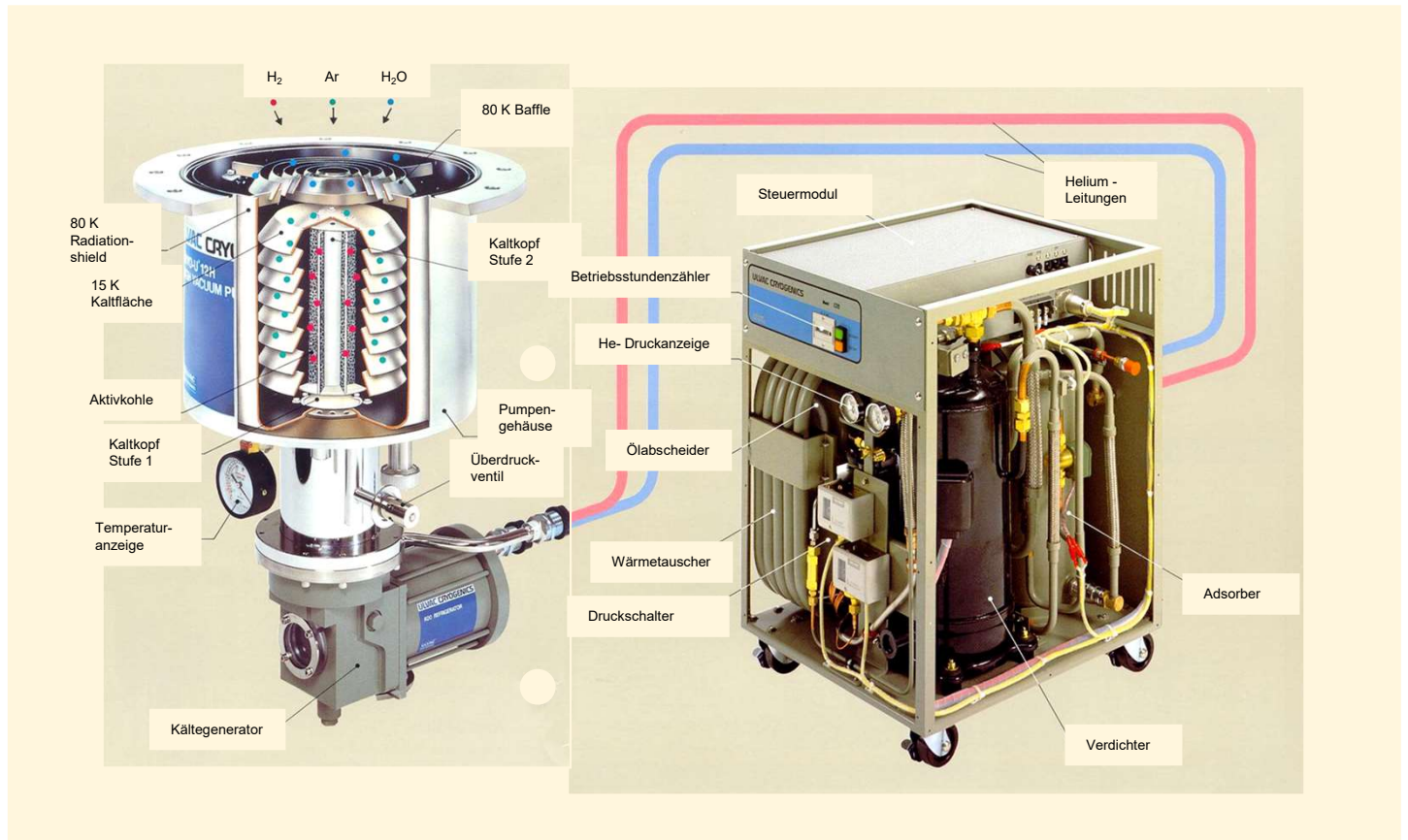
Kryopumpen werden für mittlere bis große Saugvermögen angeboten. Da sie die Gase speichern, ist beim Betrieb unbedingt darauf zu achten, dass keine gefährlichen Mischungen gepumpt werden, wie etwa  $H_2$  und  $O_2$ . Die begrenzte Kapazität verlangt eine periodische Regenerierung durch Aufheizen.

Dies muss bei der Konzeption einer Vakuumanlage von vornherein berücksichtigt werden.

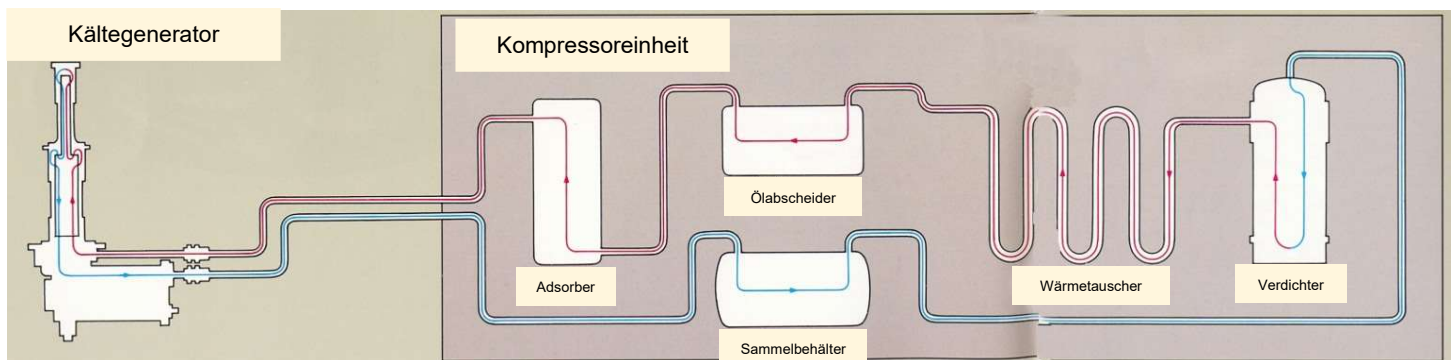


# KRYOPUMPEN

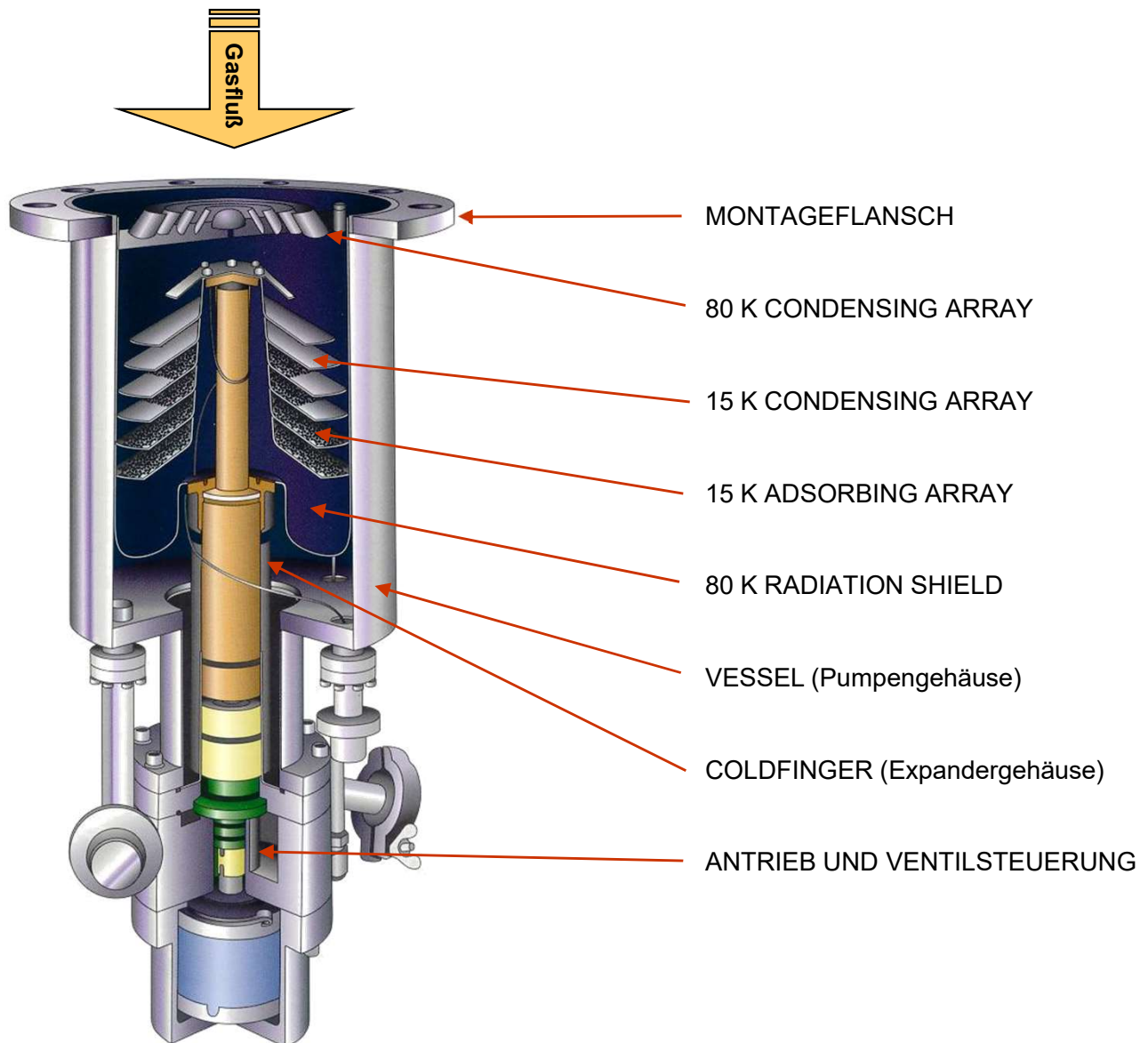
## KOMPRESSOR MIT PUMPE



### Helium Gasfluss im Kryopump-System



## KRYOPUMPE APD ( Schnittbild )

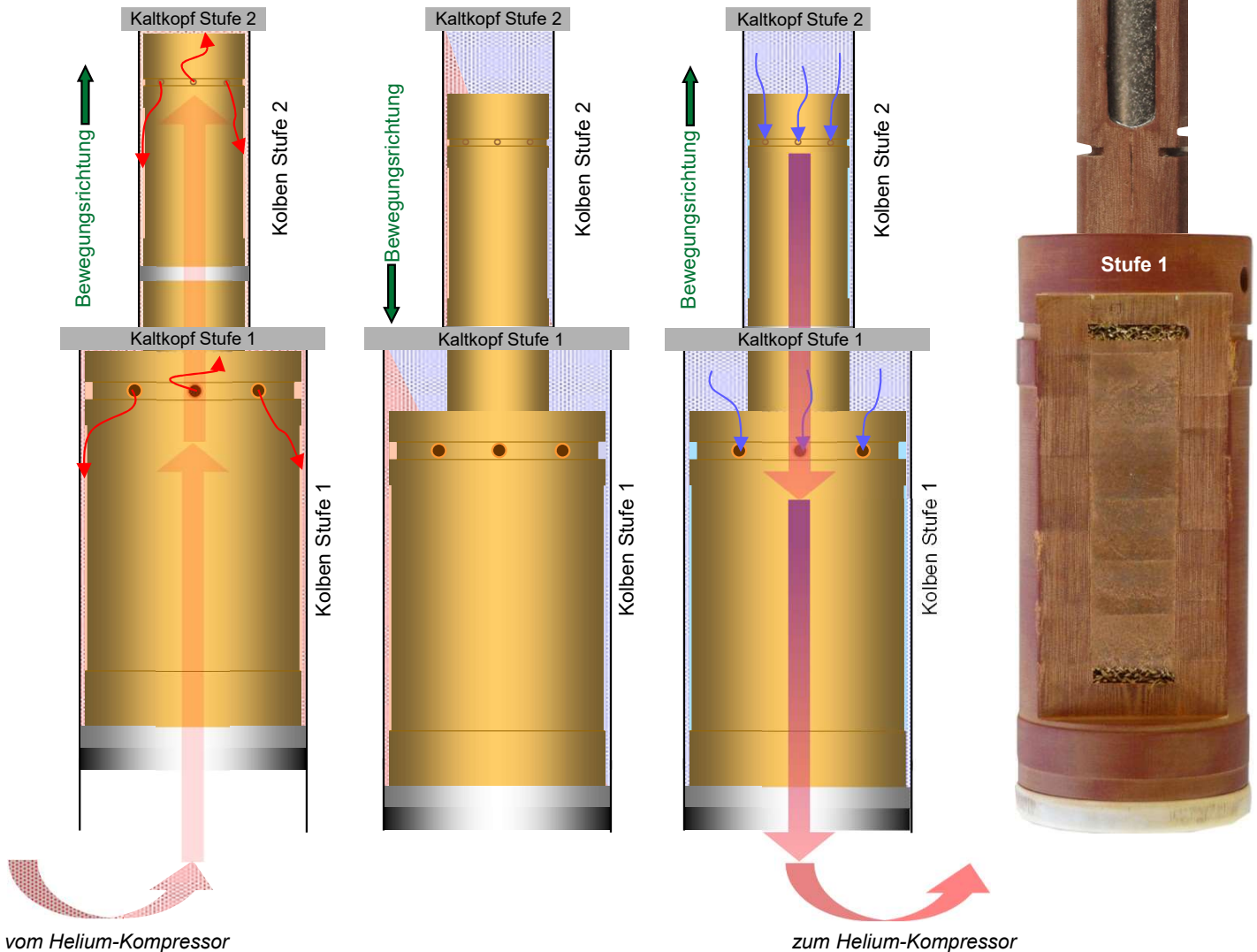


# FUNKTION EINES REFRIGERATORS

Auslass-Ventil schließt.  
Die Kolben bewegen sich  
in das Kaltkopfgehäuse.  
Das Einlass-Ventil öffnet  
sich. Das Kaltkopf-  
gehäuse wird mit Helium  
beaufschlagt.

Einlass-Ventil schließt.  
Die Kolben bewegen  
sich aus dem Kaltkopf-  
gehäuse.  
Helium wird expandiert.  
Das Volumen vergrößert  
sich und der Druck verringert  
sich.  
Temperatur im Volumen  
sinkt.

Auslass-Ventil öffnet.  
Die Kolben bewegen  
sich in das Kaltkopf-  
gehäuse. Dabei wird  
kaltes Helium durch die  
Kolben gedrängt.  
Bleischrot und Bronze  
werden gekühlt. Die  
entzogene Wärme wird  
abgeführt.



Bei Betrieb eines Kryosystems wird man schon nach kurzer Zeit merken, dass die Ableitung (zum Helium-Kompressor) gegenüber der Zuleitung (vom Helium-Kompressor) wärmer wird. Dies kann man gut durch das gleichzeitige Berühren der entsprechenden Anschlüsse jeweils mit einer Hand feststellen. Solange dies der Fall ist, wird dem Wärmetauscher-Material (Bronze, Bleischrot) Wärme entzogen und das System kühlt ein. Ist die Temperatur nach der Einkühlzeit ausgeglichen, wurde die Endtemperatur des Kryosystems erreicht. Für die genaue Ermittlung der Temperaturen ist natürlich ein geeignetes Tieftemperatur-Messgerät anzuwenden.

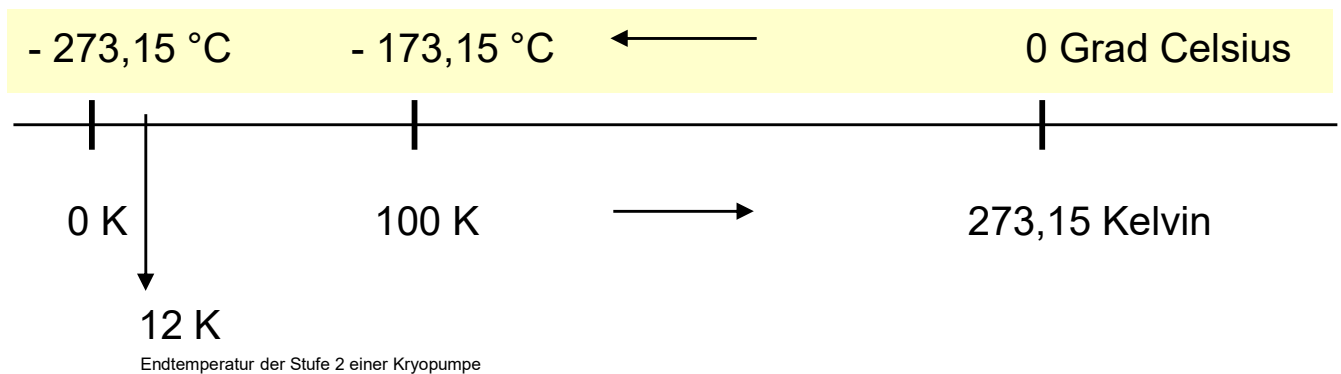
Die Bezeichnungen für die Kolben sind unterschiedlich. Bei den Herstellern werden diese auch Displacer oder Expander genannt.

# UMRECHNUNG VON KELVIN IN °C

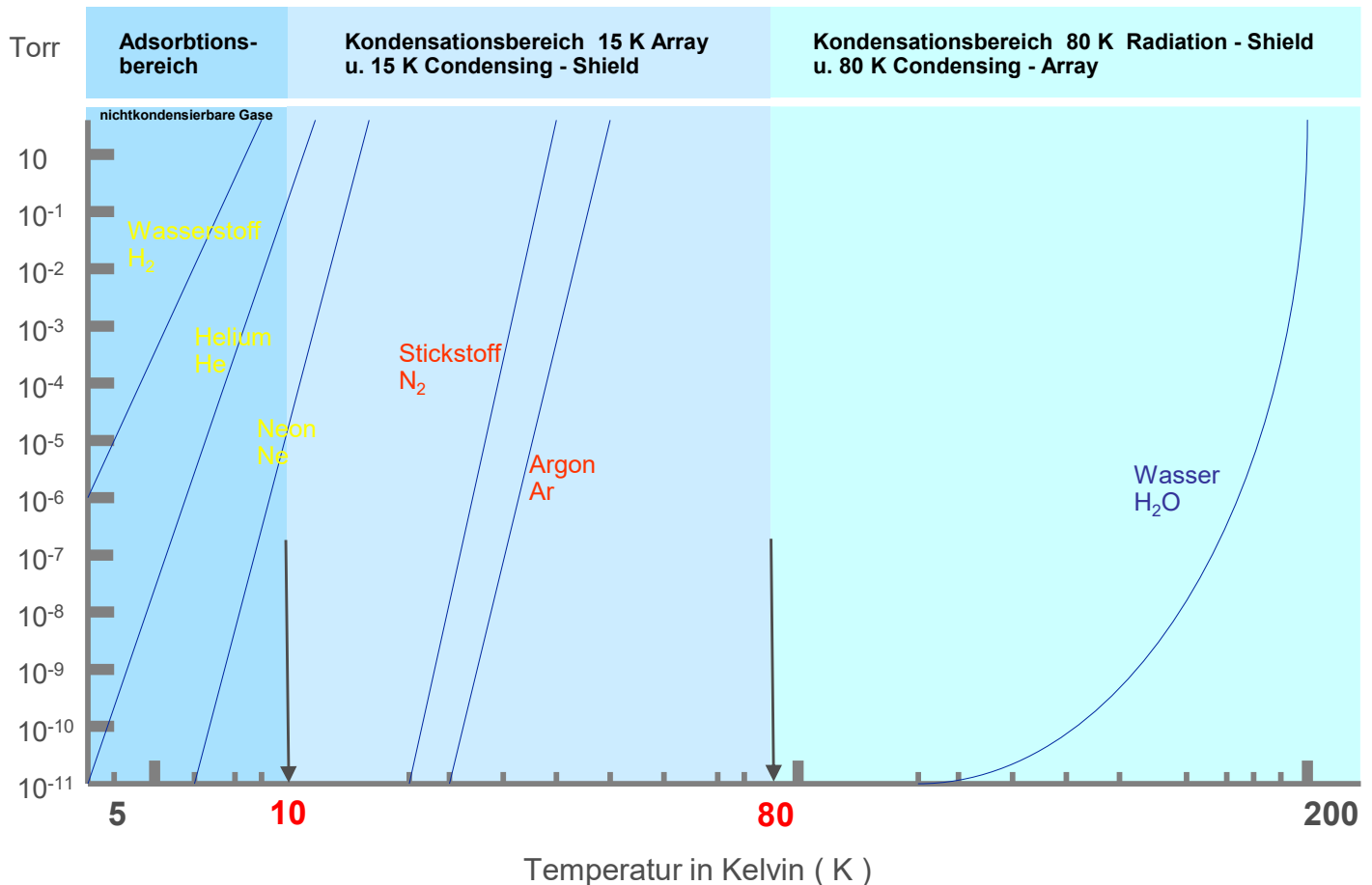
## Messung tiefer Temperaturen:

Zur Festlegung der thermodynamischen Temperaturskala bedarf es eines Fixpunktes, der durch den Tripelpunkt des Wassers bei  $T = 273,16 \text{ K}$  definiert ist. Da dieser Tripelpunkt bei  $0,01 \text{ Grad Celsius}$  liegt, lautet die Umrechnung zwischen Kelvin- und Celsius - Skala :

$$T (\text{K}) = t (^\circ\text{C}) + 273,15$$



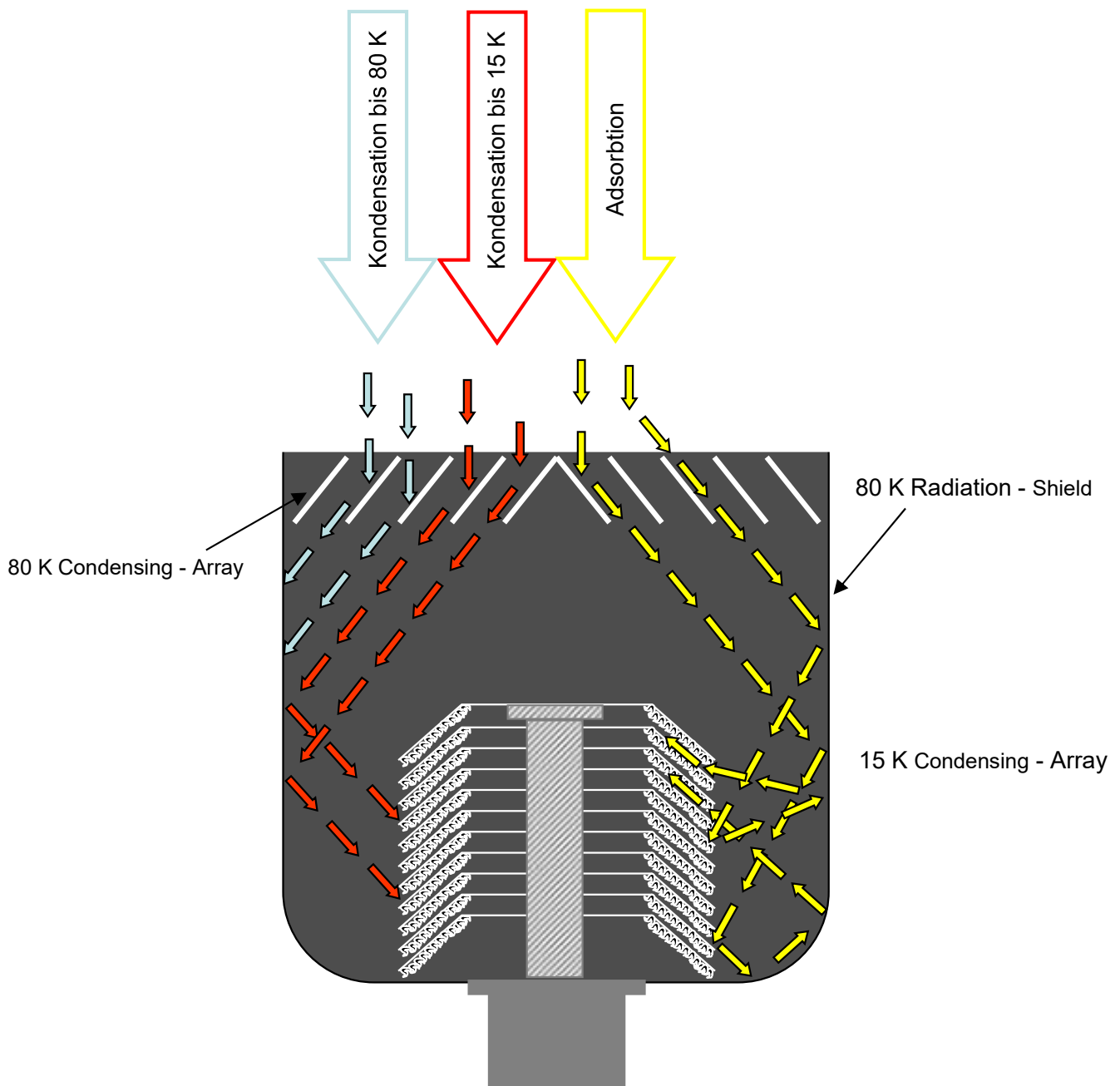
## KONDENSATIONS DIAGRAMM VERSCHIEDENER ELEMENTE





# KRYOPUMPEN

## KONDENSATION UND ADSORPTION



Gase haben unterschiedliche Kondensationspunkte, deshalb werden an den eingekühlten Flächen, entsprechende Gase kondensiert.

Nichtkondensierbare Gase können in einer herkömmlichen Kryopumpe nicht gebunden werden, diese adsorbiert man daher in einem zusätzlich integrierten Adsorber.

## 80 KELVIN CODENSING ARRAY

---

Das 80 K CONDENSING ARRAY ist direkt auf der Eingangsseite des 80 K RADIATION SHIELD montiert.



## 80 KELVIN - RADIATION SHIELD



Das 80 K - RADIATION SHIELD ist auf dem Flansch des Kaltfingers ( Stufe 1 ) montiert, der bis ca. 80 Kelvin eingekühlt wird. Das 80 K - RADIATION SHIELD, sowie das 80 K CONDENSING ARRAY haben zusammen die Aufgabe, bis 80 Kelvin kondensierbare Gase zu binden ( hauptsächlich Wasser  $H_2O$  ).



## 15 KELVIN - CODENSING ARRAY

---

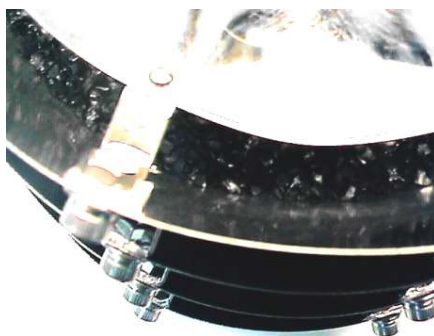
Das 15 - K CONDENSING ARRAY ist auf dem Flansch des Kaltfingers ( Stufe 2 ) montiert, der bis 15 Kelvin eingekühlt wird.



Das 15 K - CONDENSING ARRAY wird dazu benötigt, Gase zu binden, die bis 15 Kelvin kondensierbar sind ( z.B. Stickstoff und Argon ).

Gase die nicht kondensierbar sind, werden an der Unterseite des CONDENSING ARRAYs adsorbiert ( z.B. Helium, Neon, Wasserstoff ).

Größe und Ausführung variieren sehr stark zwischen den verschiedenen Pumpentypen und Herstellern. Hauptsächlich ist dieses Bauteil aus Kupfer gefertigt das anschließend phosphorarm vernickelt wird. Bei der Herstellung muß sehr auf exakte mechanische Übergänge geachtet werden, um möglichst keine thermischen Verluste zu erzeugen. Hierzu werden sämtliche Verbindungen zusätzlich mit Indiumfolie ausgeführt.



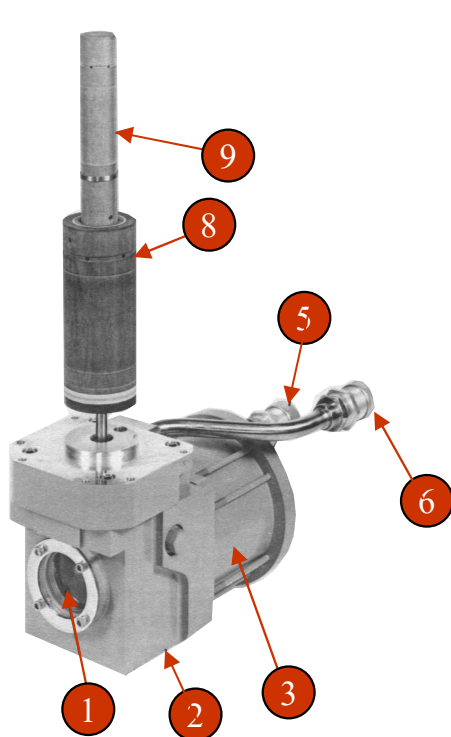
Dieses Bild zeigt die Unterseite eines 15 K - CONDENSING ARRAYs. Hier befindet sich Aktivkohle, die speziell auf die nichtkondensierbaren Gase ( He, Ne, H<sub>2</sub> ) abgestimmt ist.

This diagram illustrates the exploded view of a vacuum furnace assembly. The components are numbered 1 through 28. Key parts include:

- 1**: Top flange with heating elements.
- 2, 3, 5, 6**: Various bolts and nuts used for assembly.
- 4**: A stack of cylindrical components, likely a sample holder or a thermal shield.
- INDIUM**: Labels indicating the presence of indium in different parts of the assembly, likely for sealing or as a sample.
- 8**: A set of O-rings or seals.
- 9, 11, 12, 22, 23, 24**: A series of small components, possibly a valve or a sensor assembly.
- 13, 14**: A central vertical assembly, likely a sample holder or a thermal shield.
- 15, 16, 17, 18**: The base of the furnace, including a motor and a control panel.
- 20, 21**: The main body of the furnace, which is a large cylindrical vessel.
- 25, 26, 27**: A set of components, possibly a valve or a sensor assembly, located on the right side of the furnace.

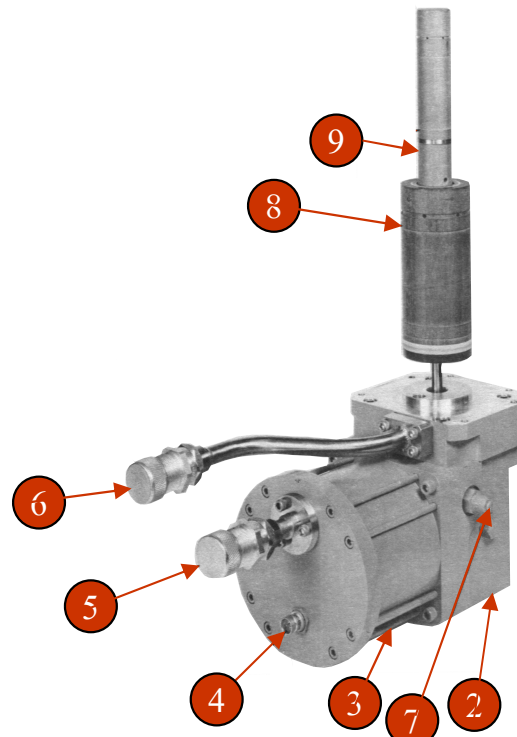
# KALTKOPF

Kalkopf nennt man den Teil einer Kryopumpe der für die Kälteerzeugung verantwortlich ist, er wird oft auch als Expander, Refrigerator oder Coldhead bezeichnet. In der Hauptsache besteht dieses Bauteil aus Motor, Ventilsteuerung und Displacer ( Verdrängereinheit ) Stufe 1 und 2.



Vorderseite

1. Schauglas
2. Antriebsgehäuse
3. Motor
4. Anschluss f. Stromversorgung
5. Helium - Return - Leitung



Rückseite

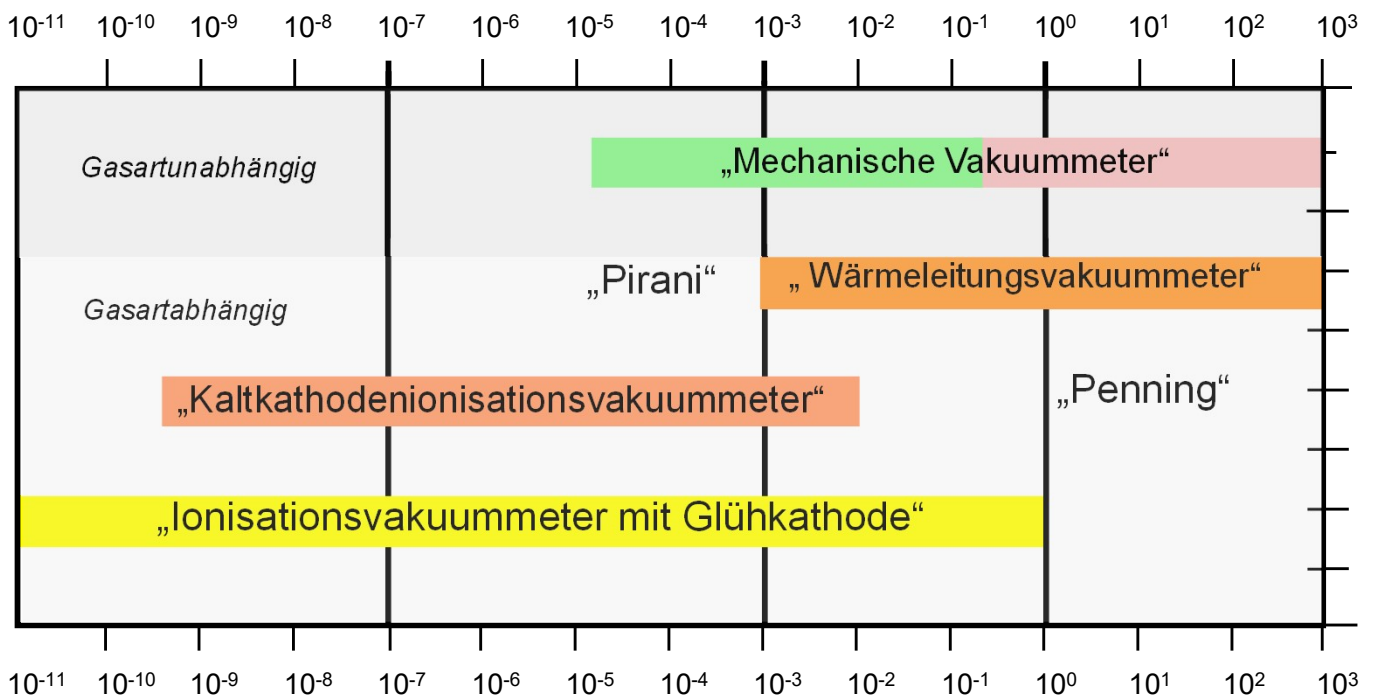
6. Helium - Supply - Leitung
7. Überdruck Ventil
8. Verdränger ( Stufe 1 )
9. Verdränger ( Stufe 2 )

# VAKUUM - TOTALDRUCKMESSGERÄTE

Einteilung nach Messprinzip und Druckbereich, Beispielauswahl

Der „Totaldruck“ ist die Summe der Teildrücke ( „Partialdrücke“ ) aller Gase und Dämpfe im Vakuumraum ( Gesetz von J. Dalton 1766 - 1844 UK ). Zur Messung der Partialdrücke dienen die „Massenspektrometer“.

Messgeräte für:



Ultrahochvakuum	Hochvakuum	Feinvakuum	Grobvakuum
$< 10^{-7}$ mbar	$10^{-7}$ bis $10^{-3}$ mbar	$10^{-3}$ bis 1 mbar	1 bis $\text{ca} 10^3$ mbar
$< 10^{-5}$ Pa	$10^{-5}$ bis $10^{-1}$ Pa	$10^{-1}$ bis $10^1$ Pa	$10^2$ bis $\text{ca} 10^5$ Pa

Zur Bewältigung der Druckmessaufgaben über so viele Zehnerpotenzen müssen die unterschiedlichsten physikalischen Effekte angewandt werden.

Wenn die mechanische Kraft auf die Wand zu klein wird, verwendet man die Wärmeleitung im Restgas zur Messung.

Bei noch niedrigerem Druck verschwindet auch dieser Effekt. Die noch verbliebenen Moleküle werden dann durch Elektronenstoß „ionisiert“, d. h. elektrisch aufgeladen. Mit Hilfe von elektronischen Messverstärkern kann man „Ionenstrom“ messen.

# MECHANISCHE VAKUUMMETER

---

Früher: Flüssigkeits- Vakuummeter, U- Rohr- Manometer mit Quecksilber.

**Röhrenfeder- Vakuummeter („Bourdonrohr-Vakuummeter“)**

E. Bourdon 1808 .. 1884, F

**Membran- Vakuummeter, Kapselfeder- Vakuummeter**

Mechanische Vakuummeter sind **gasartunabhängig**

Einfache M. V. unterliegen den Luftdruckschwankungen: Es sind **Relativdruckmesser**, 1000 mbar bis 10 mbar

Genauer sind die **Absolutdruckmesser**, z. B. als

**Membran- oder Kapselfeder- Vakuummeter** ausgeführt.

Sie besitzen ein abgeschmolzenes Vergleichsvakuum.

Damit wird Ablesung bis ca. 0,1 mbar möglich.

**Mechanische Vakuummeter** mit elektrischer Messwertnahme:

**Piezo- (Quarz-) Vakuummeter**, 1000 mbar bis 1 mbar

**Membran- Kapazitäts- Vakuummeter**, bis  $10^{-5}$  mbar

Verwandte der mechanischen Vakuummeter sind die

**Membran - Schaltdosen**, „Druckschalter“, zum Steuern

von Ventilen, Pumpen, Fluteinrichtungen.

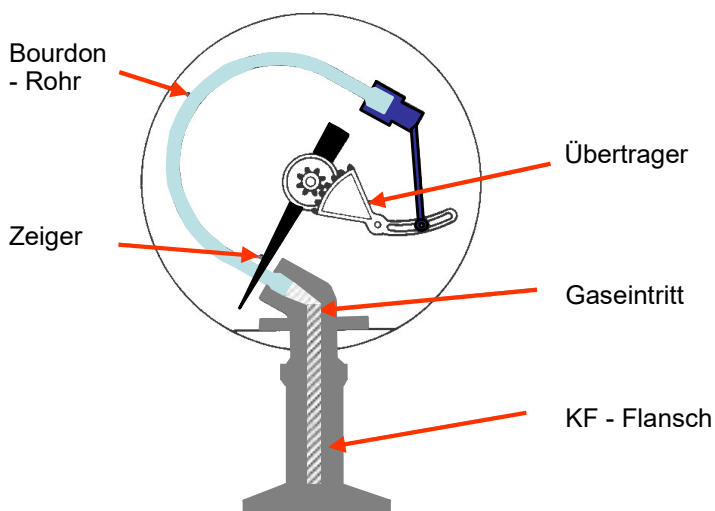
# RÖHRENFEDER – VAKUUMMETER

## BOURDON FEDERVAKUUMMETER



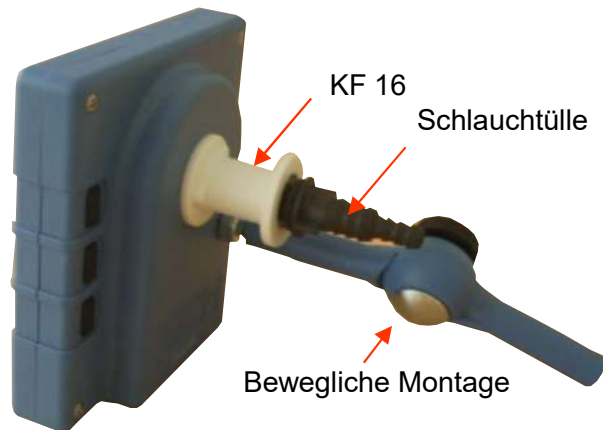
### Bourdon - Feder - Vakuummeter

- Messbereich 1 bis 1020 mbar
- Anzeige linear, von der Gasart unabhängig
- Nenntemperatur: 10 bis 60° C
- Robust, erschütterungsunempfindlich

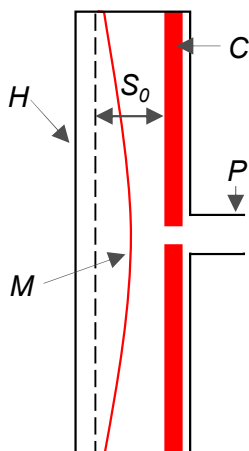


# GROB – VAKUUMMETER

KAPAZITIV / KERAMISCH



## Prinzip: Mechanischer Aufbau



*M: Membran*

*C: Kondensatorplatte*

*P: Vakuumanschluss*

*S<sub>0</sub>: Abstand Membran – Kondensatorplatte*

*H: Gehäuse*

- |                          |                             |
|--------------------------|-----------------------------|
| • Messbereich:           | 1 bis 1080 mbar             |
| • Messprinzip:           | Kapazitiv, gasartunabhängig |
| • Druckaufnehmer:        | Aluminiumoxid-Keramik       |
| • Anzeige unschaltbar:   | mbar, Torr, hPa             |
| • Anzeige:               | analog u. digital           |
| • Umgebungstemperatur:   | +10 bis +60° C              |
| • Max. Medientemperatur: | +80°C                       |
| • Max. zulässiger Druck: | 2 bar absolut               |



# WÄRMELEITUNGSVAKUUMMETER

## PIRANI

### Vereinfachtes Prinzip:

Ein elektrisch geheizter Draht wird durch das umgebende Gas gekühlt. Im Vakuum wird der Draht heißer, da das Gas fehlt.

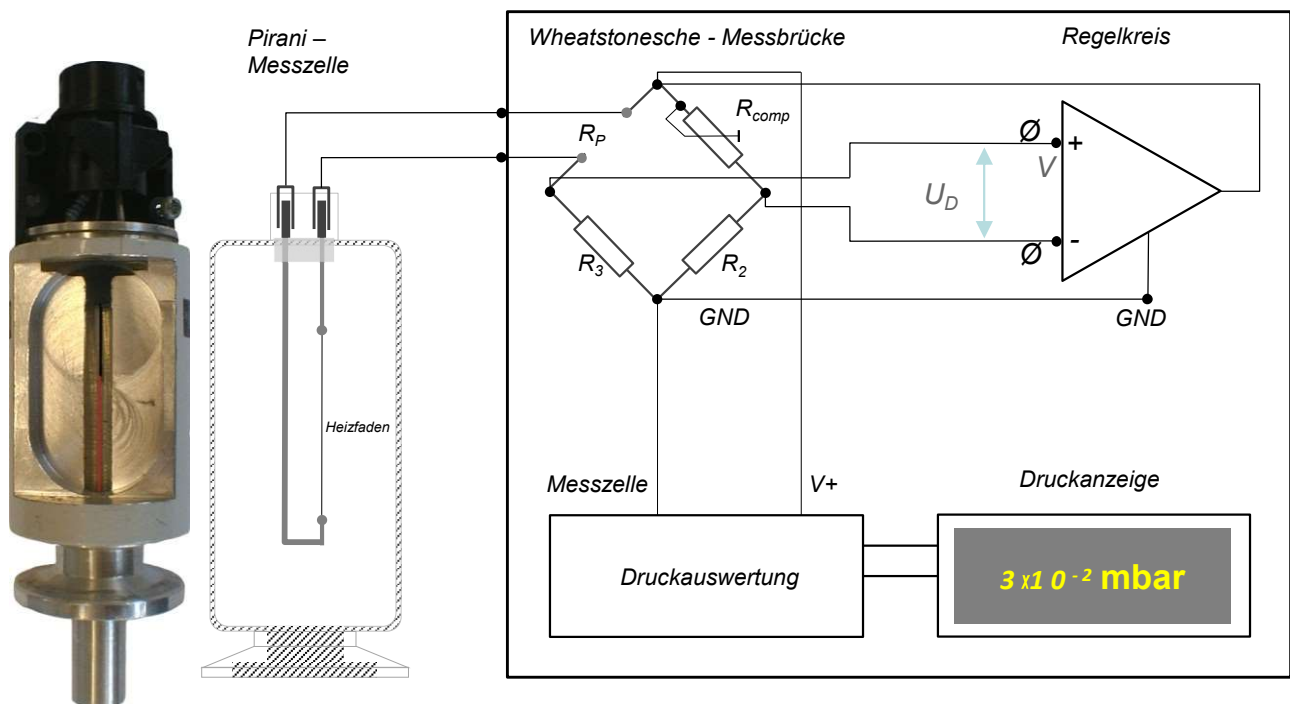
In der Praxis:

Heizung mit geregelter Spannung

Der Widerstand bleibt unverändert, die Temperatur bleibt gleich, der Strom ändert sich.

Messbereich 1000 mbar bis  $10^{-4}$  mbar

Anzeigedynamik sehr schnell.



$U_S$  Brückenspeisespannung  
 $U_D$  Diagonalspannung  
 $R_P$  Messelement  
 $R_1$  bis  $R_4$  Brückenwiderstände

Zur Auswertung der Anzeige dient eine spezielle, elektronische Schaltung, die „Wheatstonesche Messbrücke“ (Sir C. Wheatstone 1802 ..1875 UK) Wärmeleitungs–Vakuummeter sind gasartabhängig, daher müssen entsprechende Kalibrierkurven berücksichtigt werden.

Sonstige Messgenauigkeit bei " $\pm 10\%$ " im Feinvakuum.

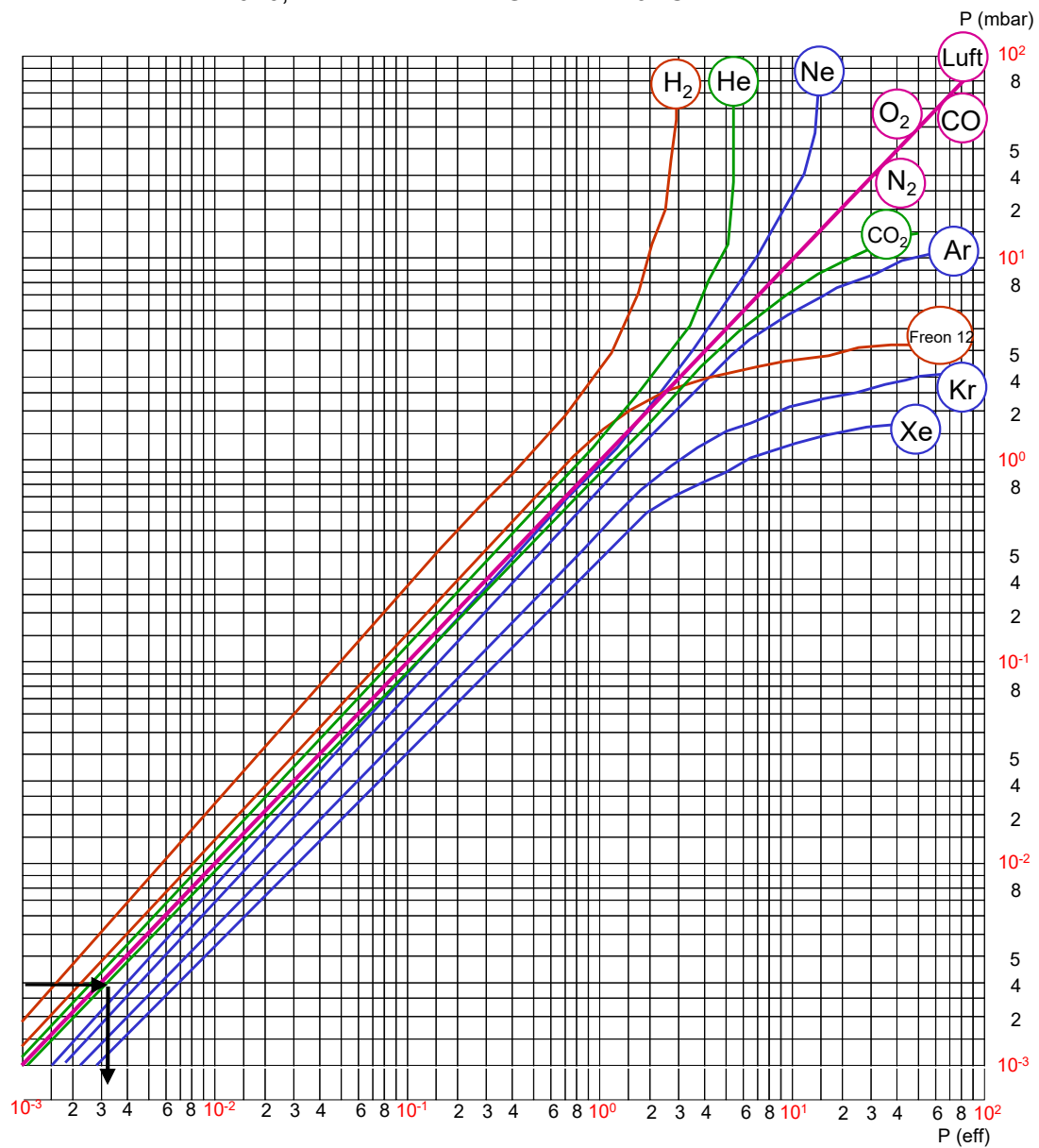
Die Messröhren sind sehr verschmutzungsempfindlich, treten Messfehler auf, sollte auf eventuellen Öl-Belag geprüft werden.

Da die Messzelle in der Hauptsache aus einem feinen Messdraht besteht, darf auf keinen Fall Pressluft zur Reinigung eingeblasen werden.

# WÄRMELEITUNGSVAKUUMMETER

## Beispiel: Kalibrierkurve

Angezeigter Druck (Vakuum – Messgerät auf Luft abgeglichen)  
Eichkurve zu TPR 010, für verschiedene Gase bei 20° C Mittelwerte



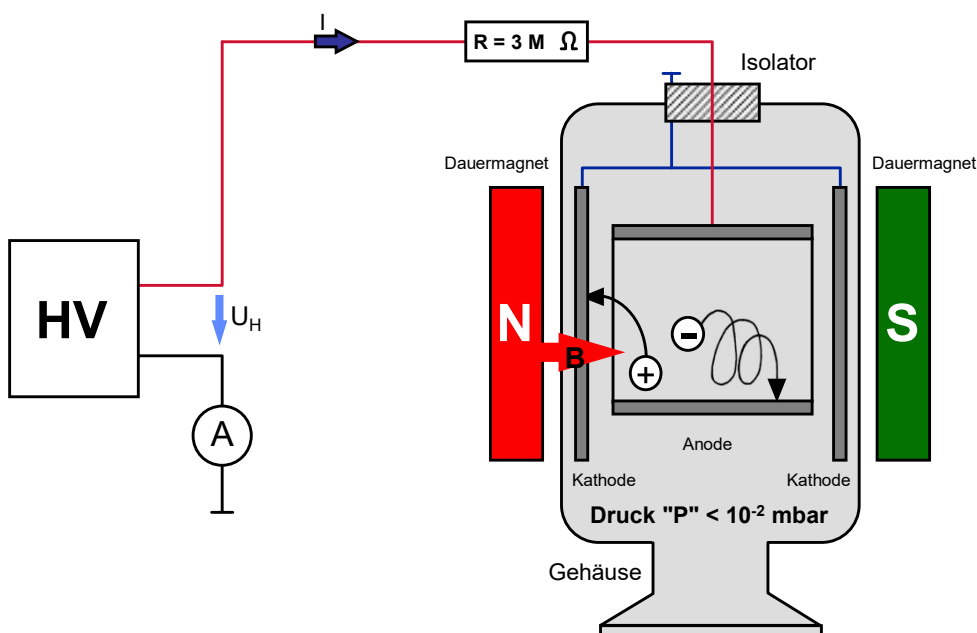
# KALTKATHODENIONISATIONS - VAKUUMMESSZELLE

## PENNING

Durch Anlegen einer Hochspannung zwischen 2 bis 3 kV werden Gas-Ionen erzeugt. Der „Entladungsstrom“ wird elektrisch erfasst. Zur Verbesserung der Ionisierung dient ein Dauermagnet der die Bahn der Teilchen beschleunigt und verlängert. Diese Messeinrichtung ist robust, die Wartung der Messzelle oft relativ einfach und preiswert.

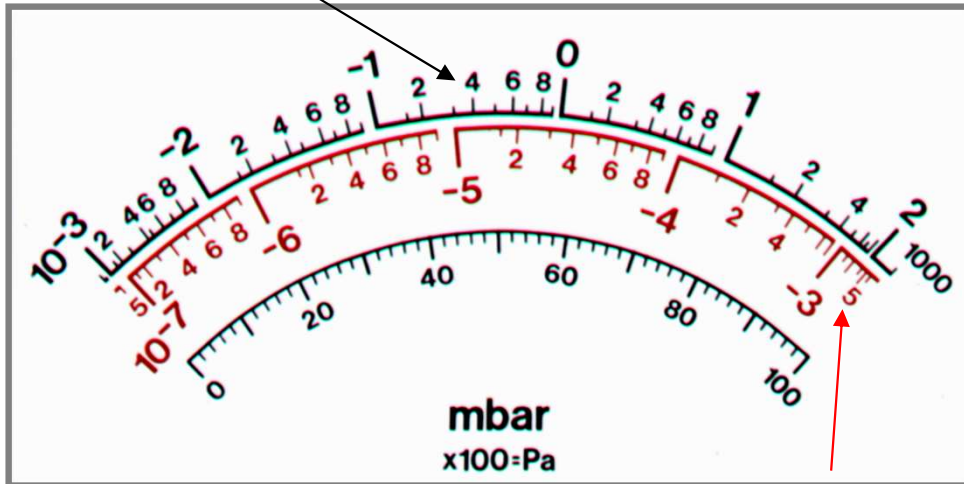
Leider ist die Messzelle sehr verschmutzungsempfindlich. Der Messbereich erstreckt sich zwischen ca.  $10^{-2}$  und  $10^{-9}$  mbar und variiert je nach Hersteller. Die Genauigkeit der Anzeige beträgt ca.  $\pm 50\%$ . Die Anzeige ist gasartabhängig. Eine entsprechende Kalibrierkurve ist anzuwenden, ebenso ist die Anzeigegenauigkeit abhängig von der Ionisationswahrscheinlichkeit.

Eine Penningmesszelle kann die an die Wand geschossenen Gas – Ionen aufzehren = pumpen ( siehe Ionenzerstäuberpumpen ). Eine Gasabgabe zur Unzeit, kann sich nachteilig auswirken. Diese muss bei der Lecksuche eventuell berücksichtigt werden. Nachteilig wirkt sich auch die Gasentladung auf organische Moleküle aus, da diese **gekrackt** werden könnten. Kohlenstoff – Schichtbildung in der Zelle. Die Messzelle sollte nicht bei zu hohem Druck betrieben werden (Herstellerhinweise beachten).



# VAKUUMMESSGERÄTE - SKALEN

Pirani - Messbereich



Penning - Messbereich

Skala eines kombinierten Vakuummessgerätes, durch Verknüpfung von unterschiedlichen Messmethoden kann ein größerer Messbereich angezeigt werden. Zum Beispiel 1000 mbar –  $10^{-11}$  mbar bei dieser Anzeige.



Vakuummessgerät Atm bis  $10^{-11}$  mbar

# GLÜHKATHODENIONISATIONS – VAKUUMMESSZELLE

BAYARD UND ALPERT 1950

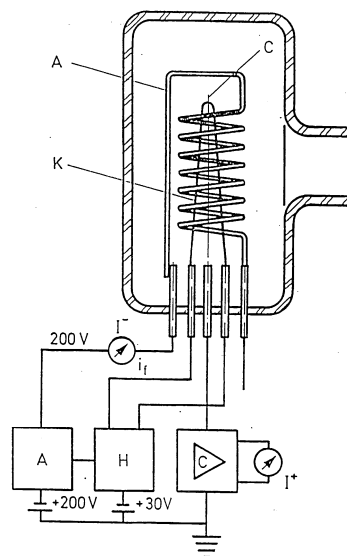
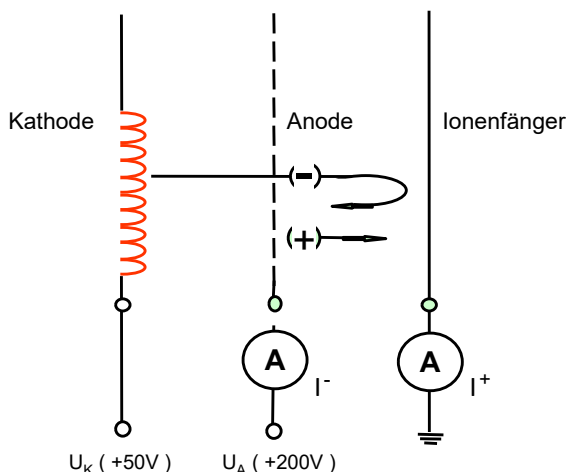
Einfache Elektronenerzeugung aus geheizter Kathode. Elektronen-Beschleunigungsspannung bei ca. 150 Volt. Der dünne Drahtaufbau des Messsystems ähnelt einer Radoröhre. Verschiedenartige Bauformen sind möglich.

Dieses System ist für genaue Messungen geeignet, mit einer Abweichung bis  $\pm 10\%$ . Der Messbereich erstreckt sich von  $10^{-4}$  mbar bis  $10^{-12}$  mbar. Die Anzeige ist gasartabhängig wie Penning-Vakuummeter oder Pirani-Vakuummeter (elektronische Vakuummessgeräte).

Handhabungsfehler: Durch Betrieb bei zu hohem Druck kann der Heizfaden zerstört werden. Einige Messzellen werden mit einem Niedertemperaturheizfaden betrieben. Der Heizfaden ist sehr erschütterungsempfindlich.

z. B.: Sonderbauform **Extraktor-Vakuummeter**, siehe Abbildung

Das Extraktorvakuummeter ist eine Bauform für Ultrahochvakuumanwendungen. Es ist mechanisch ungeschützt (Einbaumesssystem). Bei Messung tiefer Drücke müssen viele Störeffekte bedacht und Sondervorkehrungen getroffen werden.



Blockschaltbild zum Betrieb eines Glühkathoden - Ionisations-Vakuummeters

Elektrodensystem (K, A, C) nach Bayard – Alpert

K = Kathode in U – Form

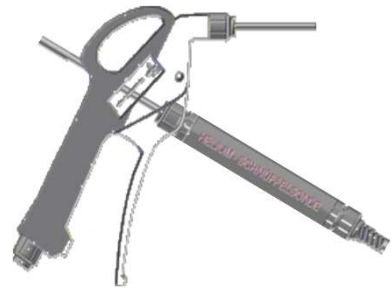
H = Heizstromversorgung

A = Anodenspirale mit Spannungsversorgung

C = Ionenkollektornadel mit Elektronenverstärker

# ***DICHTHEITSPRÜFUNG***

- Grundlagen



- Leckdetektoren  
Aufbau und Funktion

- Praktische Anwendungen  
Bedienung und Lecksuche

# GRUNDSÄTZLICHES ZUR LECKSUCHE

---

## **WAS IST EINE LECKAGE ?**

*Eine Leckage ist definiert als die Diffusion von Stoffen oder Energie in ein oder aus einem Gefäß.*

*Bei den heutigen hochtechnischen Fertigungsmethoden ist es unbedingt nötig, nachvollziehbare Daten über die Dichtheit von Bauteilen und Fertigungsanlagen garantieren zu können.*

## **HERMETISCH GESCHLOSSENEN BAUTEILE**

*werden auf Dichtheit geprüft, um das Eindringen von Fremdstoffen oder den Verlust von Gasen und Flüssigkeiten zu verhindern.*

## **EVAKUIERTE BAUTEILE**

*werden auf Dichtheit geprüft, um einen Druckanstieg zu vermeiden, der Funktion und Qualität beeinträchtigt.*

Zum Beispiel:

- *Elektronenröhren*
- *Sensoren*
- *Lebensmittelverpackungen etc.*

## **VAKUUMSYSTEME**

*werden auf Dichtheit geprüft, um optimale Enddrücke und bessere Pumpleistungen zu erreichen, sowie zur Vermeidung von Prozessbeeinträchtigungen durch eindringende Luft.*



# MAßEINHEIT FÜR DIE DICHTHEIT

---

**GASMENGE** pro **ZEITEINHEIT**

**DRUCK** mal **VOLUMEN** pro **ZEITEINHEIT**

**mbar · l/s** **MILLIBAR MAL LITER PRO SEKUNDE**

Bei einer Leckrate von 1mbar·l/s steigt der Druck in einem  
ausgepumpten Gefäß von

**1 Liter** Volumen in **1 Sekunde** um **1 mbar** an.

Solch ein Leck entspricht einer **BOHRUNG** von etwa 0,1 mm Durchmesser und 1mm Länge!

Dieses Leck hätte zur Folge, dass eine Hochvakuumpumpe mit einem Saugvermögen von 100 l/s nur einen Druck von ca.  $1 \cdot 10^{-2}$  mbar erreichen würde. Ist also das Saugvermögen der Vakuumpumpe bekannt, kann man mit einem Vakuum - Messgerät auf die Größe des Lecks schließen.

# GRENZLECKRATEN

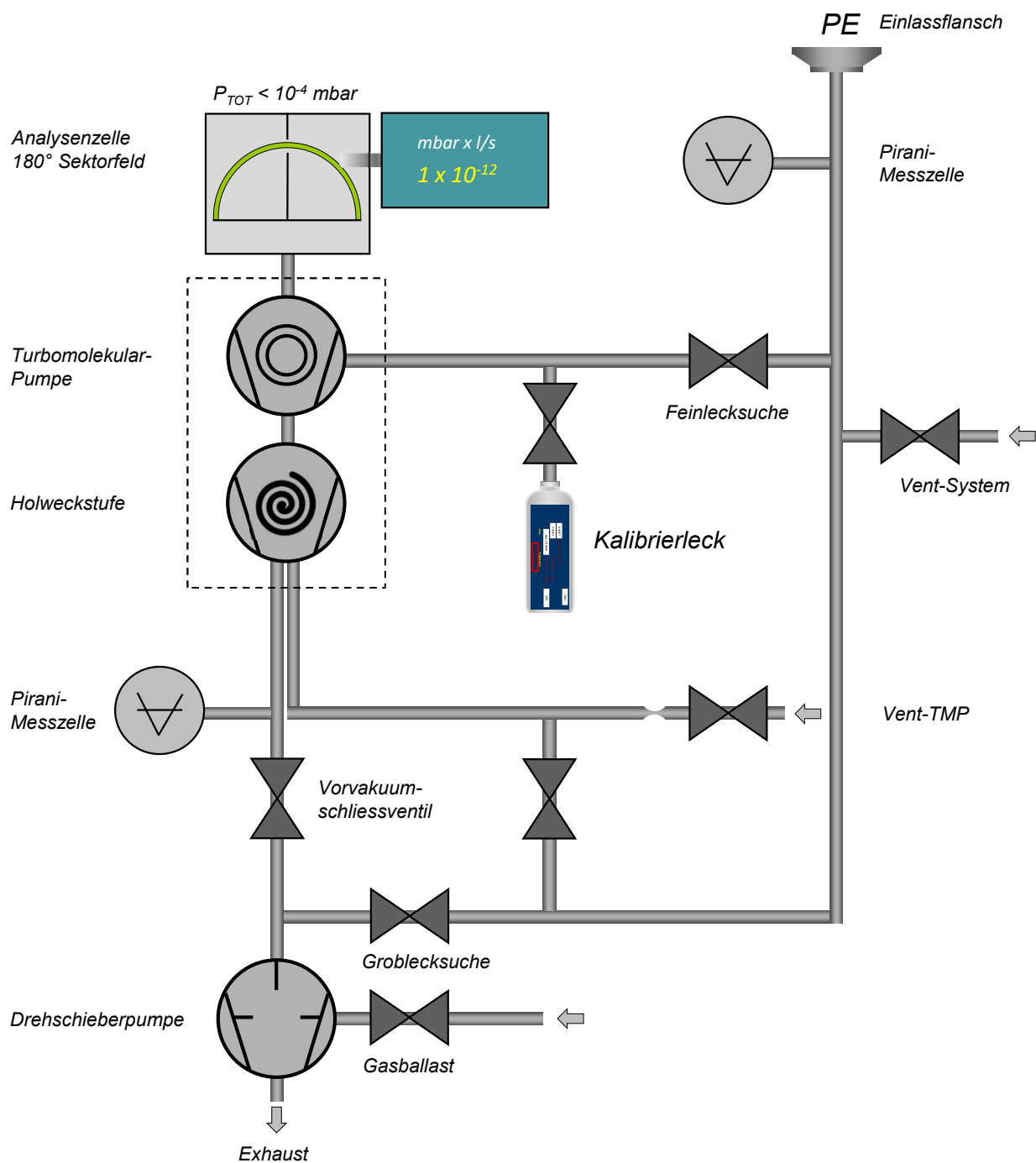
Bezeichnung	Bemerkung	$Q_L$ mbar.l/s	Teilchengröße
<b>WASSERDICHT</b>	Tropfen	$<10^{-2}$	
Bakteriendicht (Kokken) (Stäbchen)		$<10^{-4}$	$\varnothing \sim 1,0 \mu\text{m}$ $\varnothing \sim 0,5 - 1,0 \mu\text{m}$ $2 - 10 \mu\text{m}$ lang
<b>ÖLDICHT</b>		$<10^{-5}$	
Virendicht (Vaccine, z.B. Pocken) (kleinste Viren)		$<10^{-6}$	$\varnothing \sim 3 \text{ mbar.l/s } 10^{-7} \text{ m}$
Bakteriophagen		$<10^{-8}$	$\varnothing \sim 3 \text{ mbar.l/s } 10^{-8} \text{ m}$
(Viroide, RNA) (Fäden)		$<10^{-10}$	$\varnothing \sim 3 \text{ mbar.l/s } 10^{-9} \text{ m}$
<b>GASDICHT</b>		$<10^{-7}$	
<b>ABSOLUT DICHT</b>	technisch	$<10^{-10}$	

# DICHTHEITSPRÜFMETHODEN

	$10^{-12}$	$10^{-11}$	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^0$	$10^1$	$10^2$	$10^3$	mbar x l / s
<b>Schaumbildende Flüssigkeiten</b>																	VAKUUM
Luft und andere Gase																	ÜBERDRUCK
<b>Ultraschall-Mikrofon</b>																	VAKUUM
Luft und andere Gase																	ÜBERDRUCK
<b>Wärmeleitfähigkeits-Leckdetektor</b>																	VAKUUM
Andere Gase außer Luft																	ÜBERDRUCK
<b>Halogen-Lecksuche</b>																	VAKUUM
Halogenhaltige Substanzen																	ÜBERDRUCK
<b>Universal Schnüffellecksuche</b>																	VAKUUM
Kältemittel, Helium u. andere Gase																	ÜBERDRUCK
<b>Helium-Lecksuche</b>																	VAKUUM
Helium																	ÜBERDRUCK
<b>Blasenprüfung (Bubble-Test)</b>																	VAKUUM
Luft und andere Gase																	ÜBERDRUCK
<b>Wasserdruckprüfung</b>																	VAKUUM
Wasser																	ÜBERDRUCK
<b>Druckabfallprüfung</b>																	VAKUUM
Luft und andere Gase																	ÜBERDRUCK
<b>Druckanstiegsprüfung</b>																	VAKUUM
Luft																	ÜBERDRUCK
<b>Lecksuche mit Radioaktivität</b>																	VAKUUM
																	ÜBERDRUCK
<b>Chemische Testpapiere</b>																	VAKUUM
																	ÜBERDRUCK

# GEGENSTROM - LECKDETEKTOR

## Aufbau



# TRAGBARES HELIUM – SPRÜHGASSYSTEM

Die tragbare Helium-Sprühgaseinheit, zeichnet sich in der Anwendung durch ihre Flexibilität aus. Die Dichtheitsprüfung kann an unzugänglichen Behältern problemlos durchgeführt werden. Der Flascheninhalt von 0,8 Liter und 200 bar Fülldruck reicht für zahlreiche Anwendungen. Durch einen stabilen und ergonomischen Tragegurt ist die Sprühgaseinheit sicher und bequem zu tragen. Ein speziell modifizierter Druckminderer der auf 1,5 bar Ausgangsdruck fest eingestellt ist, minimiert Druckschwankungen. Der Durchfluss wird mit einem Nadelventil, sowie einem Drosselventil an der Sprühpistole eingestellt.



Diese Anordnung hält die Helium-Durchflussrate für lange Zeit sehr stabil. Der Spiralschlauch (3 m) mit geringem Volumen verhindert eine zu große Gas-Entladung beim Auslösen der Sprühpistole. Das Kapillar-Rohr (Innendurchmesser 0,2 mm) ermöglicht die genaue Lokalisierung von Leckagen. Das Nachfüllen einer leeren Gasflasche ist mit dem Nachfüll-Adapter in wenigen Minuten möglich. Um Adapter und Druckminderer zu montieren ist ein entsprechender Gabelschlüssel beigelegt.



Druckminderer auf 1,5 bar  
fest eingestellt



Flaschendruck - Anzeige



Sprühpistole mit 3m Spiralschlauch,  
geregeltes Drosselventil und Düse



Nachfüll-Adapter

Gabelschlüssel zum Flaschenwechsel

# LOKALE LECKSUCHE

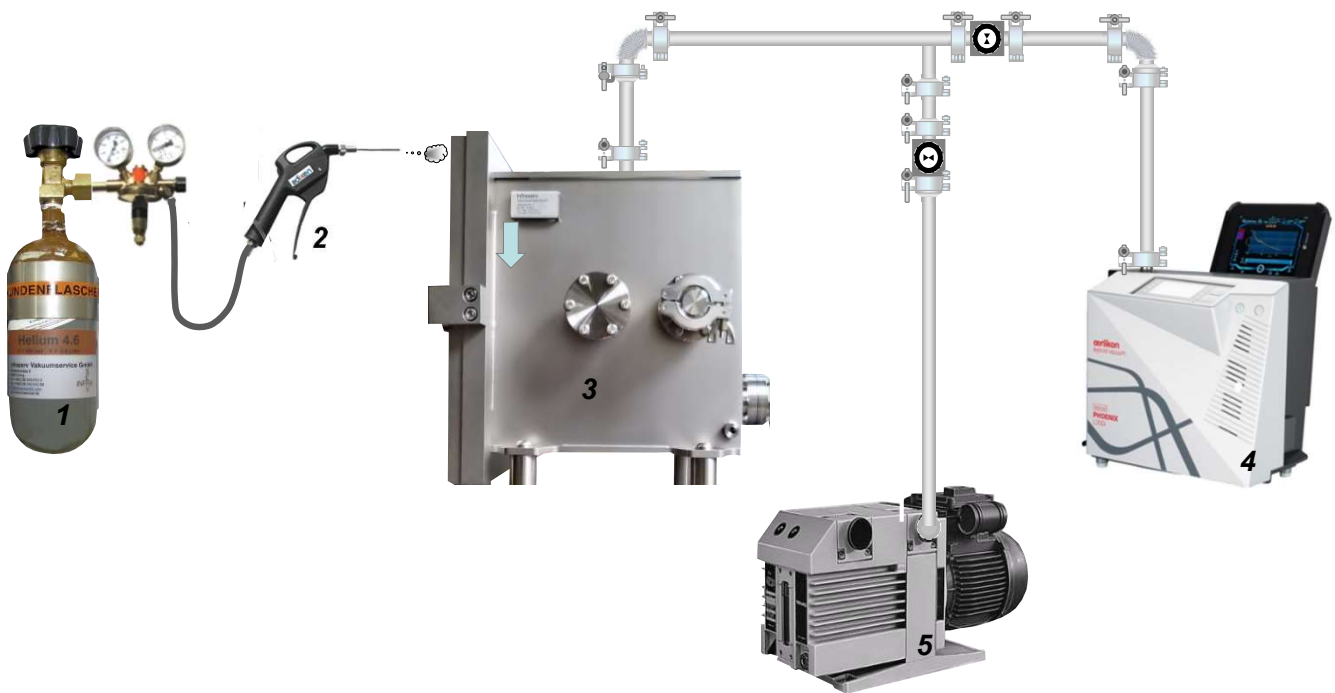
## Sprühgasverfahren

Mit einer Vakuumpumpe (Hilfspumpe) wird der Prüfling so weit evakuiert, bis der für den Leckdetektor notwendige Prüfdruck erreicht ist.

Bei den gängigen Helium-Leckdetektoren übernimmt die integrierte Vakuumpumpe die weitere Evakuierung. Leckverdächtige Stellen werden anschließend mit Helium besprüht. Testgas das durch ein Leck eindringt wird von der Vakuumpumpe abgepumpt, vom Leckdetektor erfasst und angezeigt. Das Erkennen kleinster Lecks ist somit in kürzester Zeit möglich.

$$\text{Reaktionszeit: } T_{(63\%)} = V / S_{(\text{Prüfgas})}$$

### Sprühgasmethode

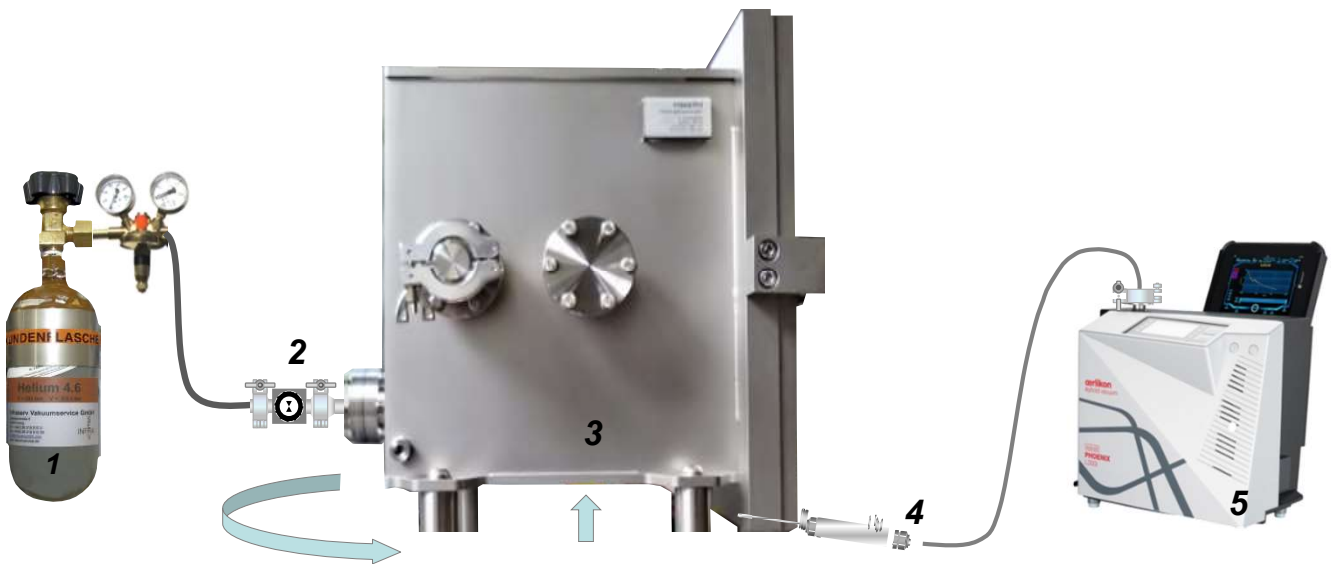


- 1 Testgasbehälter m. Druckminderer
- 2 Sprühpistole
- 3 Prüfling

- 4 He - Leckdetektor
- 5 Vakuumpumpe (Systemeigene Pumpe)

# SCHNÜFFELPRÜFUNG

Prüfverfahren zur Lokalisierung einer Leckage unter Verwendung einer Schnüffelsonde. Der Prüfling steht bei dieser Methode unter Überdruck (Helium). Tritt nun Testgas aus, wird es mit der Schnüffelsonde in den Leckdetektor eingesaugt und die Leckrate gemessen. Da in der Umgebungsluft bereits ein natürlicher Anteil von Helium (0,00524 mbar) vorhanden ist, begrenzt sich der Messbereich auf diesen Wert. Die Prüfung wird bei diesem Verfahren unten am Prüfling begonnen.



- 1 Testgasbehälter m. Druckminderer
- 2 Ventil
- 3 Prüfling

- 4 He - Schnüffelsonde
- 5 Helium Leckdetektor

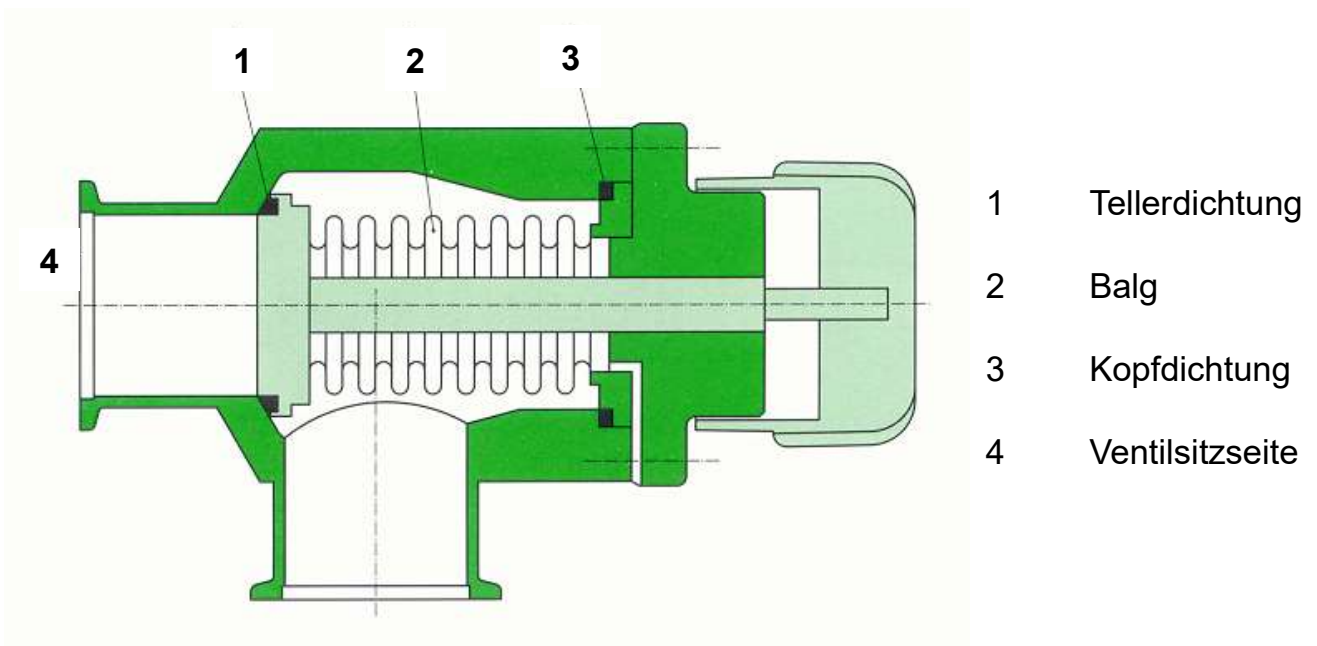


# VAKUUM - VENTILE

## HV - Eckventil



Dichtheit Gehäuse:		$< 1 \times 10^{-9}$ mbar.l/s
Druckbereich (DN 16 – 63 / 100 – 160)		$1 \times 10^{-8}$ mbar bis 5/4 bar (abs)
Differenzdruck beim Öffnen:		$< 1$ bar in beide Richtungen
Temperatur:	Ventilgehäuse, Antrieb	$< 150^{\circ} \text{C}$
	Lagemelder, Steuerventil	$< 80^{\circ} \text{C}$
Dichtung:	Kopf, Teller	Viton
Einbaulage:		beliebig



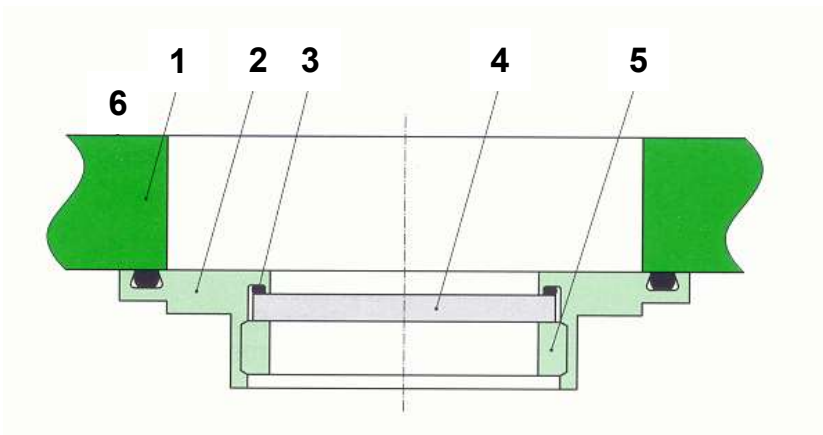
# VAKUUM - VENTILE

## UHV - Schieber



Fenster mit Elastomerdichtung

Fensterwechsel durch Anwender



1. Ventilgehäuse
2. Ventilteller
3. Elastomerdichtung für Fenster
4. Fenster
5. Einschraubbare Fensterbefestigung
6. Ventilsitzseite

Dichtheit Gehäuse:

Druckbereich:

Schließzeit:

Temperatur:

Dichtung:

Einbaulage:

DN 63 / 100 / 160

Beam-Stopper-Gehäuse

Pneumatikantrieb

Kopf

$< 5 \times 10^{-10}$  mbar x l/s

UHV bis 1 bar (abs)

1,0 / 2,0 / 3,0 s

$< 250^\circ \text{C}$

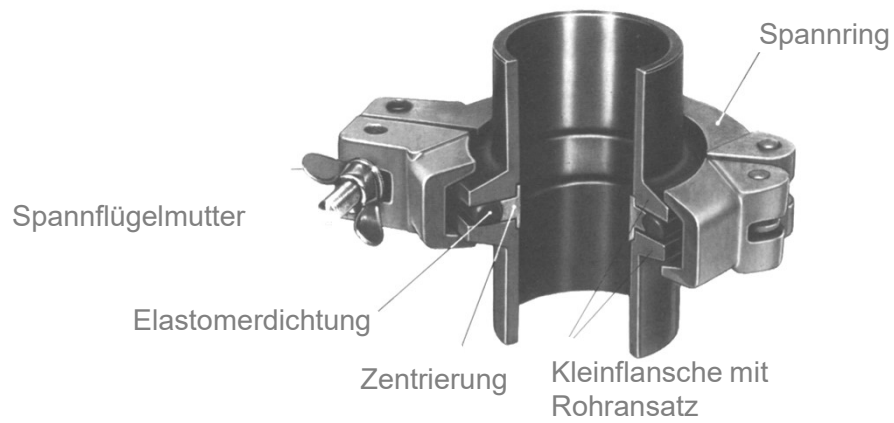
$< 80^\circ \text{C}$  (Option:  $200^\circ \text{C}$ )

Metall

beliebig

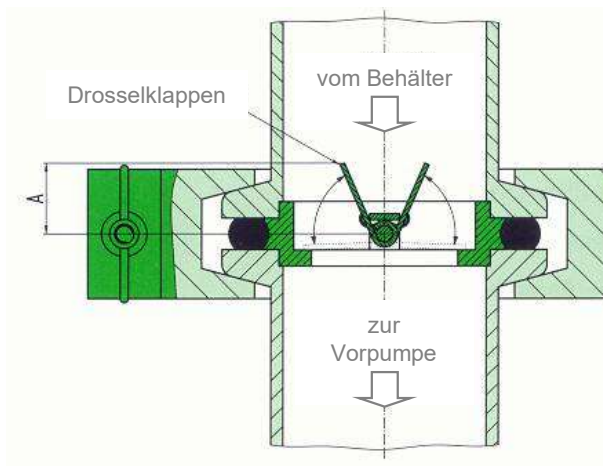
# VAKUUM – VERBINDUNGEN

## Klammerflanschverbindungen



# VAKUUM – VERBINDUNGEN

mit Softstartventil



Soft-Start-Ventile bestehen aus zwei Hälften einer Drosselklappe, die sich auf einer gemeinsamen Achse befinden. Die Klappen werden von einer Feder in der offenen Stellung gehalten. Die Achse ist in einem speziellen ISO-KF-Zentrierungsbefestigt, welcher als Gehäuse mit Ventilsitz ausgebildet ist. Soft-Start Ventile werden anstelle eines Zentrierungs zwischen zwei ISO-KF-Flansche montiert. Die offenen Klappen müssen in der Vakuumleitung gegen den Gasfluss gerichtet sein. Sobald die Pumpe eingeschaltet wird, entsteht in der Vorvakuumleitung ein starker Gasfluss, welcher die Klappen sofort schließt und den Leitungsquerschnitt um ca. 99% reduziert. Bei Erreichen eines Differenzdruckes von ca. 30 mbar öffnen sich die Klappen sofort und gewähren einen nahezu unbehinderten Querschnitt für den weiteren Pumpvorgang.

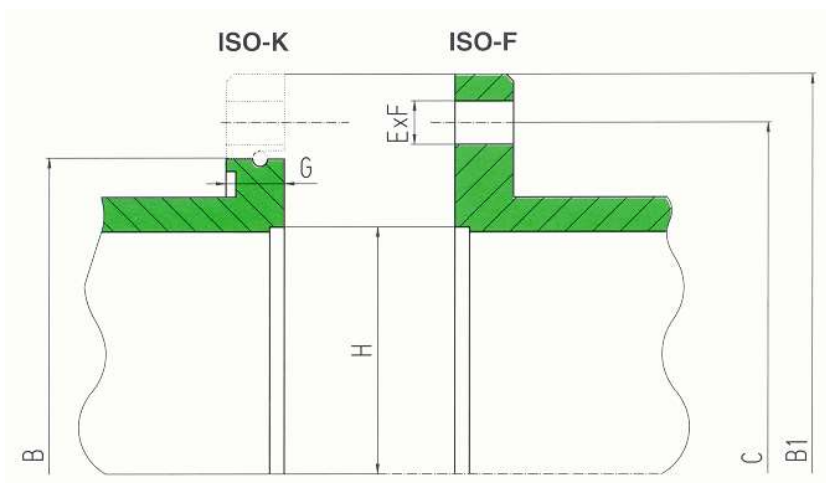


# VAKUUM – VERBINDUNGEN

## ISO-K, ISO-F



Klammer  
Pratze  
Schraube  
Zentrierring  
Überwurfflansch  
Blindflansch  
Klammerflansch-Stutzen



Dichtung:

z.B. VITON

Geeignetes Flanschmaterial:

A, E

Temperatur:

~ 200° C

Dichtheit für Helium:

< 1x10<sup>-9</sup> (mbar x l/s<sup>-1</sup>)

Dichtkraft:

10 – 50 (N pro cm Dichtlinie)

Wiederverwendung:

ja

A: Aluminium

E: nichtrostender Stahl

# VAKUUM – VERBINDUNGEN

## CF



Schraube

Stiftschraube

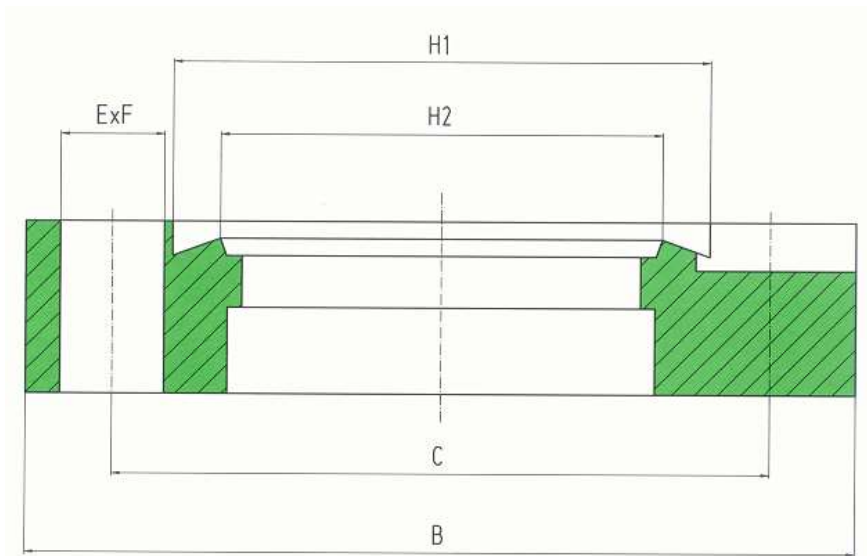
Kupferdichtung

Blindflansch

Schweißflansch

Festflansch-Stutzen

Drehflansch-Stutzen



Dichtung:

Geeignetes Flanschmaterial:

Temperatur:

Dichtheit für Helium:

Dichtkraft:

Wiederverwendung:

Cu (Kupfer)

Nichtrostender Stahl

~ 400° C

$< 1 \times 10^{-10}$  (mbar x l/s<sup>-1</sup>)

3000 – 5000 (N pro cm Dichtlinie)

Nein

# BESONDERE ERSCHEINUNGEN IM VAKUUM

---

## 1. Die Luft als Träger der Schallwellen:

Eine Klingel kann man in einem evakuierten Raum nicht hören. Selbst einen Schuss kann man bei ca. 1 mbar nicht mehr wahrnehmen.

## 2. Elektrische Entladung im Vakuum:

Beweis, die Leuchtstoffröhre. In verdünnten Gasen wird der Strom fortgeleitet. Dabei leuchtet das Gas. Die Leuchterscheinungen sind sehr unterschiedlich. Die Leuchtfarben werden durch verschiedene Gas wie z.B. Neon, Argon, Stickstoff bestimmt.

## 3. Ausdehnung im Vakuum:

Ein mit Luft gefüllter Ballon wird im Vakuum größer, der Druck von außen fehlt. Vakuumverpackte Lebensmittel, Kaffee, Erdnusspackung, verdichten sich. Der Luftdruck von außen presst die Folie zusammen.

## 4. Glühdraht im Vakuum:

Ein Widerstandsdraht wird von elektrischem Strom durchflossen. Wenn er bei normalem Luftdruck dunkelrot leuchtet, wird er im Vakuum immer heller. Abkühlung durch die Luft fehlt, er verbrennt auch nicht, da der Sauerstoff fehlt. (Glühbirne Th. A. EDISON 1897)

## 5. Wasser wird im Vakuum zu Eis:

Die Wärmeleitung der Luft fehlt, bei ca. 5-10 mbar wird Wasser zu Eis

## 6. Die Wirkung des Luftdrucks:

Die Magdeburger Halbkugeln ( Buch Otto von Guericke 1672 ) der Luftdruck presst die Halbkugeln fest zusammen. Würde eine normale Haustür von innen unter Vakuum von nur 500 mbar stehen, könnte man sie nie öffnen. Kraft = Kreisfläche x Luftdruck

## 7. Metalle lassen sich im Vakuum verdampfen:

Aufdampftechnik in der Optik. Vergütung von Brillengläsern, Herstellung von Spiegeln, Dekorationsteile u.s.w.



# GLÜHDRAHT IM VAKUUM

## EXPERIMENT

Benötigte Bauteile:	Versuchsbehälter (Rezipient) Niedervolt Netzteil Widerstandsdraht (Konstantandraht) Stromdurchführung Kabel u. Klemmen
Durchführung:	Der Glühdraht wird gewendelt und an Klemmen im Rezipienten befestigt. Bei Atmosphärendruck wird nun der Draht so angesteuert, dass nur ein leichtes Glimmen sichtbar ist. Der Rezipient wird jetzt mit einer Drehschieberpumpe $P < 10^{-2}$ mbar evakuiert.
Ergebnis:	<ul style="list-style-type: none"><li>- Der Draht wird jetzt, abhängig vom Vakuum heller.</li><li>- Der Widerstand des Drahtes erhöht sich.</li><li>- Der Strom sinkt.</li></ul>
Ursache:	Durch das Evakuieren des Rezipienten, verringert sich der Gasdruck. Ebenso verringert sich die Wärmeleitfähigkeit des Gases. Die am Glühdraht erzeugte Wärme kann nicht mehr abgeführt werden. Der Draht wird heißer und heller.
Anwendung:	Glühbirne Wärmeleitungsvakuummesszelle



Glühfaden bei ca. 1000 mbar

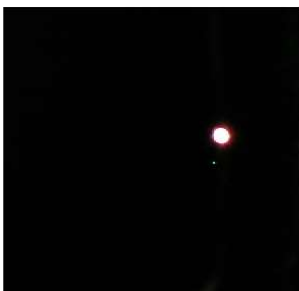


Glühfaden bei ca.  $<10^{-2}$  mbar

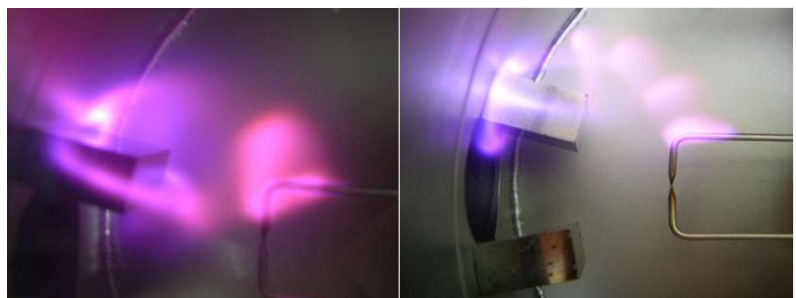
# ENTLADUNGEN IM VAKUUM

## EXPERIMENT

Benötigte Bauteile:	Versuchsbehälter (Rezipient) Hochspannungsnetzteil 2 Elektroden Stromdurchführung Kabel u. Klemmen
Durchführung:	An die beiden Elektroden wird eine Hochspannung von ca. 2600 V angelegt
Ergebnis:	<ul style="list-style-type: none"><li>- Bei Atmosphärendruck wird zwischen den Elektroden ein Lichtbogen sichtbar.</li><li>- Im Vakuum wird anstatt des Lichtbogens ein Glimmen an der Elektrode sichtbar (Plasma), abhängig vom Vakuum</li><li>- Bei verschiedenen Gasarten zeigt sich die entsprechende Farbe des Lichtes.</li><li>- Rückschlüsse auf bestimmte Gase sind möglich.</li></ul>
Ursache:	Das Restgas im Rezipienten wird ionisiert, innerhalb der Moleküle werden Elektronen aus den Elektronenbahnen gestoßen. Aus einer energetisch hochwertigeren Bahn rücken Elektronen nach und geben ihre überschüssige Energie in Form von Lichtteilchen ab (Photonen).
Anwendung:	Leuchtstoffröhre Plasmaätzprozesse



Lichtbogen bei ca. 1000 mbar



Plasma bei ca.  $<10^{-2}$  mbar

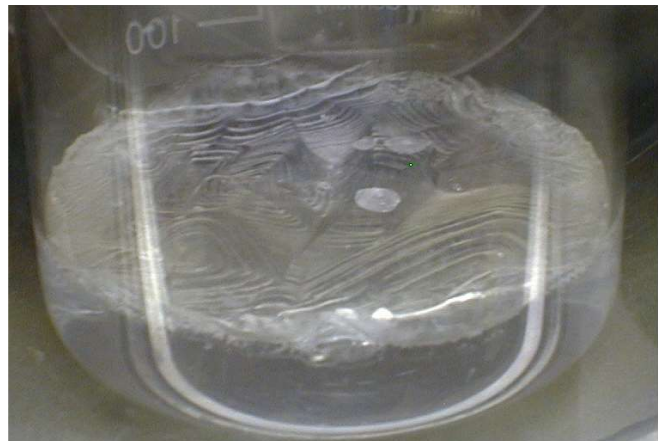
# WASSER IM VAKUUM

## EXPERIMENT

Benötigte Bauteile:	Versuchsbehälter (Rezipient) Glas Wasser
Durchführung:	Ein Glas mit Wasser wird in den Rezipienten gestellt Die Vakuumpumpe wird eingeschaltet.
Ergebnis:	<ul style="list-style-type: none"><li>- Wasser siedet (Druckabhängig).</li><li>- Wasser friert ein (Druckabhängig).</li></ul>
Ursache:	Der Siedepunkt von flüssigen Stoffen und gasförmigen Stoffen sinkt im Vakuum. Bei festen Körpern sinkt der Schmelzpunkt
Anwendung:	Entgasen von Flüssigkeiten



Wasser siedet



Wasser gefriert

# EVAKUIERUNG EINES BEHÄLTERS

## EXPERIMENT

Benötigte Bauteile:	Versuchsbehälter (Rezipient) Leeres Ölfass, 200 Liter
Durchführung:	Das Ölfass wird an eine Vakuumpumpe angeschlossen und evakuiert
Ergebnis:	<ul style="list-style-type: none"><li>- Das Volumen des Ölfasses wird evakuiert</li><li>- Der Luftdruck belastet die Oberfläche des Ölfasses mit ca. 21,7 t Gewicht.</li></ul> Das Fass wird zusammengedrückt.
Ursache:	Durch die starke Abnahme des Innendrucks bricht die Statik des Behälters schlagartig mit lautem Knall zusammen.
Anwendung:	Physikalisches Experiment zur Darstellung der Wirkung von atmosphärischer Luft auf einen Behälter.















vorher,  $\Delta p = 0$







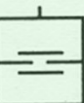

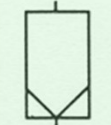

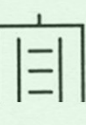

nachher,  $\Delta p = \text{ca. } 1 \text{ Atm}$

# VAKUUM - SYMBOLE



## Vakuumpumpen

	Vakuumpumpe, allgemein		Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe		Diffusionspumpe
	Hubkolben-Vakuumpumpe		Wälzkolben-Vakuumpumpe		Adsorptionspumpe
	Membran-Vakuumpumpe		Turbovakuumpumpe-allgemein		Getterpumpe
	Verdrängervakuum-Pumpe, rotierend		Radial-Vakuumpumpe		Ionenzerstäuberpumpe
	Sperrschieber-Vakuumpumpe		Axial-Vakuumpumpe		Kryopumpe
	Drehschieber-Vakuumpumpe		Turbo-Molekularpumpe		Scrollpumpe
	Kreiskolben-Vakuumpumpe		Treibmittel-Vakuumpumpe		Verdampferpumpe

## Vakuuzubehör

	Abscheider, allgemein		Filter, Filterapparat, allgemein		Kühlfalle, allgemein
	Abscheider, mit Wärmeaustausch, (z.B. gekühlt)		Dampfsperre, allgemein		Kühlfalle, mit vorratsgefäß
	Gasfilter, allgemein		Dampfsperre, gekühlt		Sorptionsfalle
					Drosselstelle

## Behälter

	Behälter m. gewölbten Boden, Vakuumbehälter allgemein		Vakuumglocke
---	---	---	--------------




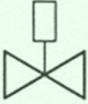




# VAKUUM - SYMBOLE


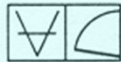
## Absperrorgane

	Absperrorgan, allgemein		Absperrventil, Durchgangs- ventil		Eckventil
	Durchgangshahn		Dreiwegehahn		Eckhahn
	Absperrschieber		Absperrklappe		Rückschlagklappe
	Absperrorgan mit Sicherheitsfunktion				

## Antriebe für Absperrorgane

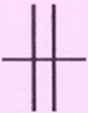








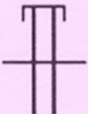








	Antrieb von Hand		Dosierventil		Antrieb durch Elektromagnet
	Fluidantrieb (hydraulisch oder Pneumatisch)		Antrieb durch Elektromotor		gewichtsbetätigt

## Messung und Messgeräte

	Vakuum (zur Kennzeich- nung von Vakuum)		Vakuummessgerät, registrierend (Schreibend)		Vakuummessgerät m. Analog – Messwertan- zeiger.
	Vakuummessung, Vakuum-Messzelle		Vakuummessgerät, Betriebs- u. Anzeige- gerät f. Messzelle		Vakuummessgerät mit Digital – Messwertan- zeiger
	Durchflussmessung				

# VAKUUM - SYMBOLE

## Verbindungen und Leitungen

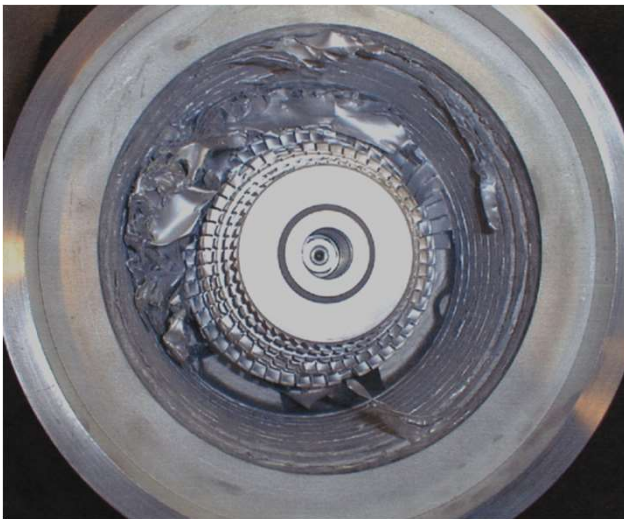
	Flanschverbindung, allgemein		Kugelschliff- verbindung		Schiebedurchführung ohne Flansch
	Flanschverbindung, geschraubt		Muffenverbindung		Schiebedurchführung mit Flansch
	Kleinflansch- verbindung		Kegelschliff- verbindung		Drehschiebe- durchführung
	Klammerflansch- verbindung		Kreuzung zweier Leitungen mit Verbindungsstelle		Drehdurchführung
	Rohrschraub- verbindung		Kreuzung zweier Leitungen ohne Verbindungsstelle		Elektrische Leitungsdurchführung
	Bewegliche Leitung (z.B. Kompensator, Verbindungsschlauch)		Zusammenfassung von Leitungen		Abzweigstelle



# FEHLERERSCHEINUNGEN AN VAKUUMPUMPEN



Diese Drehschieberpumpe wurde zur Evakuierung einer großen Kammer eingesetzt, die stark mit Wasser belastet war. Die Pumpe förderte sehr viel Wasserdampf, welcher sich nach Kondensation in der Vakuumpumpe mit dem Pumpenöl vermischte (Emulsion). Dies hatte zur Folge, dass die Viskosität und somit auch die Dichtwirkung des Öles verschlechtert wurde. Zusätzlich bildete sich im Pumpengehäuse Rost, der mechanische Teile, wie Dichtflächen, Lager u.s.w. beschädigte. Der Arbeitsdruck der Vakuumpumpe konnte hier sicher nicht mehr erreicht werden.



Komplett zerstörte Turbomolekularpumpe.

Die Ursachen hierfür können z. B.:

- nicht eingehaltene Wartungszyklen (vorgeschriebener Lagerwechsel)
- Materialermüdung durch mechanische- oder Prozessgas – Belastung
- Splitter oder Teilchen gelangten in die TMP mit fataler Auswirkung (Abhilfe: Splitterschutzgitter)

Da der komplette Rotor, sowie das Pumpengehäuse beschädigten war, wurde die Reparatur unwirtschaftlich.



Dieses Bild zeigt die Innenseite einer Turbomolekularpumpe ohne Rotor, die zur Reparatur eingesandt wurde. Die Ursache für die starken Verschmutzungen sind auf ein Leck im Kühlkreislauf zurückzuführen. Deutlich erkennbar sind Kalkablagerungen in Pumpe und Vorvakuum-Anschluss. Hier musste lange Zeit Wasser über die Leckage in die Pumpe gelangt sein. Die TMP war in einem nicht besonders kritischen Prozess eingesetzt, es mussten auch keine besonders niedrigen Drücke erreicht werden, dadurch wurde dieser Fehler lange Zeit nicht entdeckt. Die Reparatur wäre nicht rentabel.

# KONTAMINATIONSERKLÄRUNG

Die Instandhaltung, die Instandsetzung und/oder die Entsorgung von Vakuumgeräten und – Komponenten wird nur durchgeführt, wenn eine korrekt und vollständig ausgefüllte Kontaminationserklärung vorliegt. Sonst kommt es zu Verzögerungen der Arbeiten. Diese Erklärung darf nur von autorisiertem Fachpersonal ausgefüllt (in Druckbuchstaben) und unterschrieben werden.



## CONTAMINATION DECLARATION

Type of product	<b>TMP</b>
Type designation	<b>Alcatel TMP 5150</b>
Article number	
Serial number	<b>80312</b>
Reason for the delivery	<b>just balancing, the pump already has new bearings</b>

Operating Resource		Discharged ?
<b>no</b>		Yes <input type="checkbox"/>
		No <input type="checkbox"/>

### Operational contamination of the product

Toxic	No <input checked="" type="checkbox"/>	Yes <input type="checkbox"/>
Corrosive	No <input checked="" type="checkbox"/>	Yes <input type="checkbox"/>
Microbiological	No <input checked="" type="checkbox"/>	Yes <input type="checkbox"/> <sup>2)</sup>
Explosive	No <input checked="" type="checkbox"/>	Yes <input type="checkbox"/> <sup>2)</sup>

### Was this device exposed to copper?

No <input checked="" type="checkbox"/>	Yes <input type="checkbox"/>
Inlet and outlet flanges are closed with blind flanges.	
No <input type="checkbox"/>	Yes <input checked="" type="checkbox"/>

☐ **There are no hazardous substances in this product.**

<sup>2)</sup> Products with such contamination are only accepted by submission with a approved contamination declaration.

Other harmful substances ? No ☒ Yes ☐

### Harmful substances and/or reaction products

Harmful substances or process-related, hazardous reaction products with which the product came into contact:

Trade-/Productname, Manufacturer	Chemical name (also formula)	Precautions when handle with harmful substances	Measures in the case of contact

### Legally binding declaration

**The reported contaminants are 100% the same as those listed in the original contamination declaration.**

Company / Institute	<b>Infraserv Vakuumservice GmbH</b>		
Street / no.	<b>Gleiwitzerstrasse 8</b>	Zip / locality	<b>85386 Eching</b>
Phone	<b>D - 0049 (0)89 319010 3</b>	Fax	<b>D - 0049 (0)89 319010 50</b>
E-Mail	<b>test@infraservgmbh.com</b>		
Name	<b>Josef Mayer</b>		

Date and legally binding signature	Company stamp
------------------------------------	---------------



*Infraserv GmbH  
Gleiwitzerstrasse 8  
85386 Eching  
Germany*

*Phone: +49 (0)89 31 90 1043  
[piller@infraservgmbh.com](mailto:piller@infraservgmbh.com)  
[www.infraservgmbh.com](http://www.infraservgmbh.com)*

