



TIPPS UND TRICKS VOM EXPERTEN

Kompressionsverhältnis von Turbopumpen Definition, Berechnung und Datennutzung

Allgemein wird als Kompressionsverhältnis das Verhältnis von Ausstoßdruck zu Ansaugdruck einer Pumpe bezeichnet. Bei Turbopumpen im Speziellen ist es das Verhältnis des Drucks, der am Vorvakuumflansch gemessen wird, zu dem Druck, der am Hochvakuumflansch gemessen wird.

Ermittlung des Kompressionsverhältnisses

Ermittelt wird das Kompressionsverhältnis üblicherweise ohne jeglichen Gasdurchsatz durch die Pumpe. Dies ist der sogenannte Nulldurchsatz, kenntlich gemacht durch den Index „0“. In der Literatur und in den technischen Daten einer Turbopumpe findet man das Kompressionsverhältnis deshalb meist mit K_0 bezeichnet. Das Kompressionsverhältnis einer Turbomolekularpumpe wird praktisch gemessen, in dem man den Vorvakuumdruck durch Einlassen eines Gases in die Vor-

vakuumentleitung sukzessive erhöht und dabei den sich einstellenden Hochvakuumdruck misst.

$$K = \frac{p_{VV}}{p_{HV}}$$

p_{VV} = Druck am Vorvakuumflansch

p_{HV} = Druck am Hochvakuumflansch

Formel F1: Berechnung des Kompressionsverhältnisses

Das Kompressionsverhältnis ist von mehreren Faktoren abhängig. Die wichtigsten sind die Gasart sowie der Aufbau der Turbopumpe. Die Pumpwirkung einer Turbopumpe beruht auf der Tatsache, dass mehr Gasteilchen von der Hochvakuumseite zur Vorvakuumseite strömen als umgekehrt.

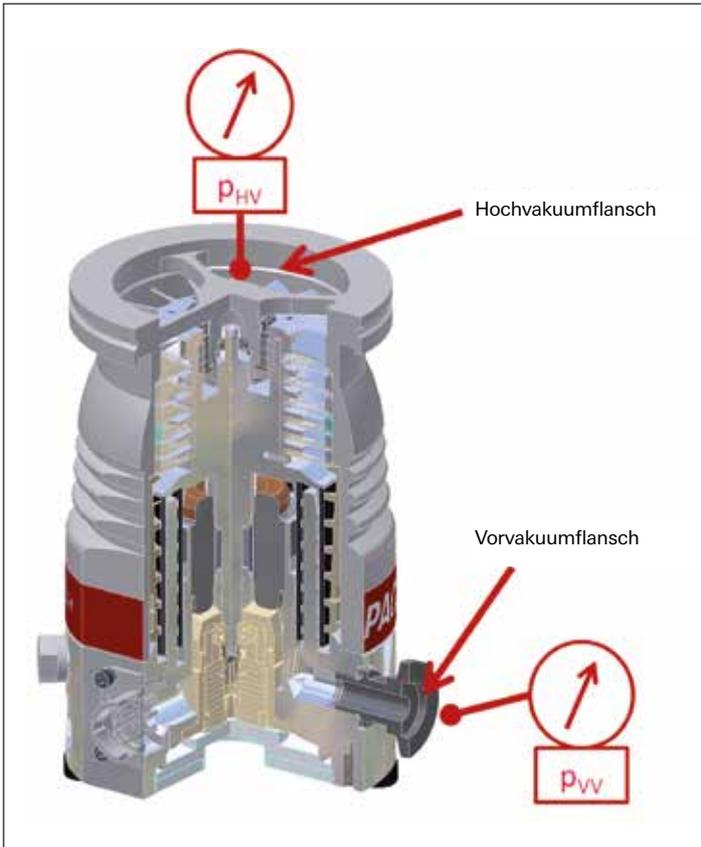


Abbildung 1: Querschnitt Turbopumpe

Dies wird durch das gerichtete Beschleunigen der Teilchen durch die schnell drehenden Rotorschaukeln erzielt. Je leichter ein Gas ist, desto schneller ist auch seine Molekülbewegung (Tabelle 1).

Bei leichten Gasmolekülen ist die Rückstromgeschwindigkeit in Richtung Hochvakuumseite damit höher als bei schwereren Molekülen. Da somit bei leichten Gasmolekülen hochvakuumseitig mehr Gasteilchen vorhanden sind, ist der Druck dort entsprechend höher und damit das Kompressionsverhältnis geringer (siehe Abbildung 2).

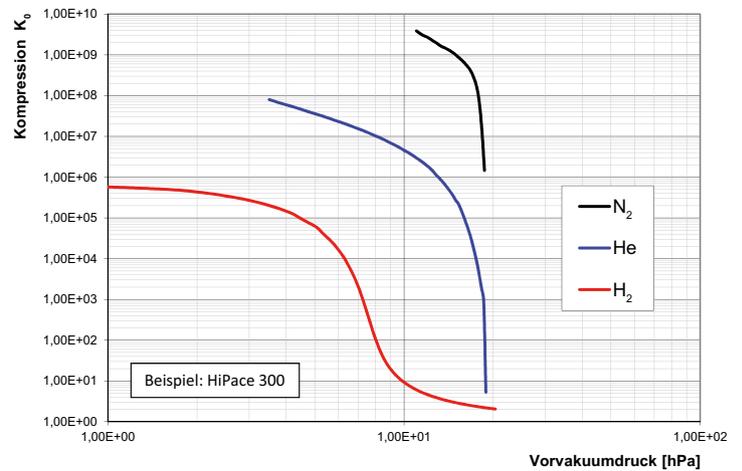


Abbildung 2: Gasartabhängigkeit des Kompressionsverhältnisses

In modernen Turbopumpen sind meist mehrere Pumpprinzipien vereint. Allen Turbopumpen gemeinsam sind die sogenannten Turbopumpstufen. Diese sind sichtbar, wenn man in den Hochvakuumflansch der Pumpe blickt. Aufgrund der Ähnlichkeit stand hier die Turbine bei der Namensgebung Pate. Zur Erhöhung des Kompressionsverhältnisses sind den Turbostufen oft weitere Pumpstufen nachgeschaltet. Hier unterscheiden sich dann herstellerabhängig die Pumpprinzipien. Man findet sogenannte Holweckstufen, Gaedestufen oder Siegbahnstufen, in seltenen Fällen auch Seitenkanalstufen. Sie alle pumpen insbesondere leichte Gase in höheren Druckbereichen effektiver als reine Turbostufen, wie in Abbildung 4 am Beispiel des Gases Helium zu sehen ist. Herausragend ist hier das Kompressionsverhältnis von Holweckstufen, wie sie beispielsweise in HiPace Turbopumpen von Pfeiffer Vacuum zu finden sind.

Gas	Molare Masse [g/mol]	Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	Machzahl
H ₂	2	1.762	5,3
He	4	1.246	3,7
H ₂ O	18	587	1,8
N ₂	28	471	1,4
Luft	29	463	1,4
Ar	40	394	1,2
CO ₂	44	376	1,1

Tabelle 1: Molekulare Massen und mittlere Geschwindigkeiten verschiedener Gase

Interpretation und Nutzung der Daten

Das Kompressionsverhältnis K_0 für die wichtigsten Gasarten (meist Stickstoff, Argon, Helium und Wasserstoff) ist Bestandteil der Katalogdaten einer Pumpe und findet sich auch in den technischen Daten. Je höher das Kompressionsverhältnis ist, desto niedriger ist der hochvakuumseitig zu erwartende Enddruck. Dies lässt sich am einfachsten an einem Beispiel erklären:

Eine Turbopumpe vom Typ HiPace 300 hat ein Kompressionsverhältnis K_0 für Helium von mehr als $1 \cdot 10^8$. Setzt man eine Vorpumpe mit einem Enddruck von 0,1 hPa ein, wie ihn beispielsweise eine Drehschieberpumpe zu liefern vermag, so ergibt sich durch Umstellen von Formel F1 ein theoretischer Enddruck von kleiner $1 \cdot 10^{-9}$ hPa:

$$p_{HV} = \frac{p_{VV}}{K_0} = \frac{1 \cdot 10^{-1}}{1 \cdot 10^8} [hPa] = 1 \cdot 10^{-9} [hPa]$$

In der Praxis können diese Drücke jedoch kaum erreicht werden, da durch Permeation von Gasmolekülen durch Dichtungen und Desorption von Kammerwänden immer ein Gasstrom durch die Pumpe vorhanden ist. Trotzdem kann eine Turbopumpe mit einem hohen Kompressionsverhältnis noch einen deutlich niedrigeren Enddruck erreichen als eine Turbopumpe mit einem niedrigeren Kompressionsverhältnis.

Gerne unterstützen wir Sie bei der anwendungsspezifischen Optimierung Ihrer Vakuumlösung – fragen Sie uns!

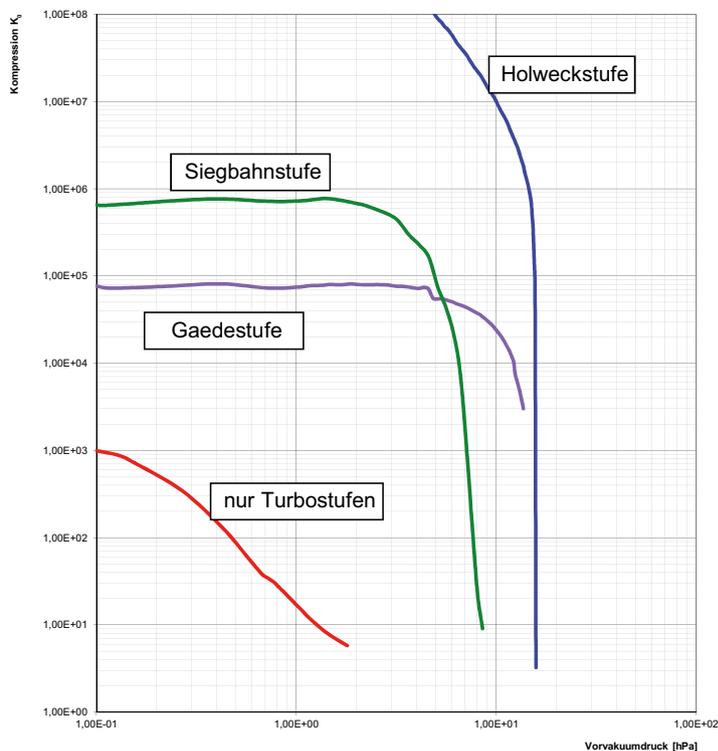


Abbildung 4: Vergleich der Heliumkompression bei verschiedenen Pumpprinzipien

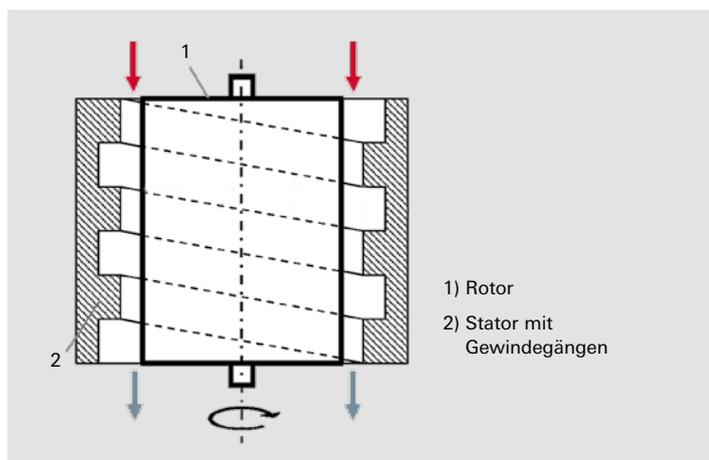


Abbildung 3: Funktionsprinzip der Holweckstufe, die für herausragendes Kompressionsverhältnis sorgt.

VAKUÜMLÖSUNGEN AUS EINER HAND

Pfeiffer Vacuum steht weltweit für innovative und individuelle Vakuümlösungen, für technologische Perfektion, kompetente Beratung und zuverlässigen Service.

KOMPLETTES PRODUKTSORTIMENT

Vom einzelnen Bauteil bis hin zum komplexen System:

Wir verfügen als einziger Anbieter von Vakuumtechnik über ein komplettes Produktsortiment.

KOMPETENZ IN THEORIE UND PRAXIS

Nutzen Sie unser Know-how und unsere Schulungsangebote!

Wir unterstützen Sie bei der Anlagenplanung und bieten erstklassigen Vor-Ort-Service weltweit.

Sie suchen eine perfekte
Vakuümlösung?
Sprechen Sie uns an:

Pfeiffer Vacuum GmbH
Headquarters · Germany
T +49 6441 802-0
info@pfeiffer-vacuum.de

www.pfeiffer-vacuum.com