

Abnahmeregeln für Turbomolekularpumpen

DIN
28 428

Vacuum technology; acceptance specifications for turbomolecular pumps

Technique du vide; conditions de réception pour des pompes turbo-moléculaires

Diese Norm soll sicherstellen, daß die charakteristischen Daten von Turbomolekularpumpen soweit wie möglich nach einheitlichen Verfahren und unter einheitlichen Bedingungen gemessen werden. Hierdurch soll erreicht werden, daß die Messungen, die von verschiedenen Herstellern oder von verschiedenen Laboratorien durchgeführt werden und die Informationen, die in den Katalogen der Hersteller angegeben werden, grundsätzlich vergleichbar sind.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Geltungsbereich	1	5.1 Begriff	4
2 Mitgeltende Normen	1	5.2 Meßmethode	4
3 Bestimmung des Saugvermögens	1	5.3 Durchführung	5
3.1 Begriffe	1	5.4 Darstellung des Ergebnisses	5
3.2 Meßmethode	2	6 Bestimmung des maximalen Betriebsdruckes	5
3.3 Meßgeräte und Bedingungen für deren Anwendung	2	6.1 Begriffe	5
3.4 Durchführung	3	6.2 Meßmethode	5
3.5 Auswertung	4	6.3 Durchführung	5
4 Bestimmung des Enddruckes	4	7 Bestimmung der Hochlaufzeit	5
4.1 Theoretischer Enddruck	4	7.1 Begriff	5
4.2 Enddruck	4	7.2 Durchführung	5
4.3 Meßbedingungen	4	8 Vibrationen	5
4.4 Durchführung	4	9 Anschlußmaße	6
5 Bestimmung des Kompressionsverhältnisses	4	10 Gewicht	6
		11 Versuchsprotokoll	6

1 Geltungsbereich

Diese Abnahmeregeln gelten für Turbomolekularpumpen 1) (im folgenden kurz Pumpen genannt), die für ihren Betrieb Vorvakuumpumpen benötigen. Das Saugvermögen der Turbomolekularpumpen kann nicht vollständig definiert werden, ohne daß zu der Kurve des Saugvermögens als Funktion des Ansaugdruckes Kurven für das Druckverhältnis und Kurven für die Änderungen des Ansaugdruckes als Funktion des Vorvakuumdruckes über den gesamten Arbeitsbereich und für verschiedene Gase angegeben werden.

Das Saugvermögen der benutzten Vorvakuumpumpenkombination soll zwischen 0,02 und 0,1 mal dem Nennsaugvermögen der Turbomolekularpumpe für das entsprechende Gas liegen.

Da die Anwendung von Turbomolekularpumpen sich über einen weiten Druckbereich erstreckt, werden verschiedene Meßverfahren getrennt nach den Vakuumbereichen $> 10^{-6}$ mbar und $< 10^{-6}$ mbar angegeben. Es ist zu vereinbaren, welche der folgenden Prüfungen bei einer Abnahme von Turbomolekularpumpen durchzuführen sind.

2 Mitgeltende Normen

DIN 28 400 Teil 1 Vakuumtechnik; Benennungen und Definitionen; Grundbegriffe, Einheiten, Vakuumbereiche, Vakuumkenngrößen, Grundlagen

DIN 28 400 Teil 2 Vakuumtechnik; Benennungen und Definitionen; Vakuumpumpen, Vakuum-pumpenzubehör, Vakuumpumpenanordnungen und -betrieb

DIN 28 401 Vakuumtechnik; Bildzeichen, Übersicht

DIN 28 402 Vakuumtechnik; Größen, Formelzeichen, Einheiten, Übersicht

3 Bestimmung des Saugvermögens**3.1 Begriff**

Das Saugvermögen S ist ideell der mittlere Volumendurchfluß des Gases aus einem gegebenen Meßdom durch den Querschnitt der Ansaugöffnung der Pumpe. Für praktische Zwecke wird das Saugvermögen für ein gegebenes Gas als der pV-Durchfluß dieses Gases geteilt durch den

1) Begriffe nach DIN 28 400 Teil 2

Fortsetzung Seite 2 bis 10
Erläuterungen Seite 10

Normenausschuß Vakuumtechnik (NAV) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

Gleichgewichtsdruck gemessen an einer spezifizierten Stelle angenommen. Es wird angegeben in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ oder in $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$.

3.2 Meßmethode

3.2.1 Meßmethode für Ansaugdrücke $> 10^{-6}$ mbar

Die Messung des Saugvermögens S erfolgt nach der Methode des konstanten Druckes, wobei der Gasstrom außerhalb des Meßdomes gemessen wird. Wenn q_{pV} der Gasstrom ist, der bei Atmosphärendruck ermittelt wird, und wenn p_a der konstant gehaltene Druck ist, welcher mit dem Vakuummeter an einer bestimmten Stelle im Meßdom gemessen wird und p_{end} der Enddruck ist, erhält man das Saugvermögen durch die Relation

$$S = \frac{q_{pV}}{p_a - p_{\text{end}}}$$

3.2.2 Meßmethode für Ansaugdrücke $< 10^{-6}$ mbar

Die Methode für die Messung des Saugvermögens ist die Leitwertmethode bei konstantem Druck, bei welcher eine dünne, mit einer kleinen Öffnung versehene Querwand (Blende) den Meßdom in zwei Volumina teilt. Wenn Vakuummeter gleicher Empfindlichkeit den Druck in jedem Volumen messen, ist das Saugvermögen gegeben durch

$$S = C \left(\frac{p_1}{p_2} - 1 \right)$$

wobei C der aus den Abmessungen der Blende des Meßdomes und der Gasart berechnete Leitwert ist.

Der Leitwert C der Blende im Gebiete der Molekularströmung ist nach folgender Formel zu berechnen:

$$C = \sqrt{\frac{R \cdot T \cdot \pi}{32 \cdot M}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{e}{d}} \cdot d^2$$

Hierin ist:

R Allgemeine Gas-konstante	$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ $\left(= 8,314 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{mol} \cdot \text{K}} \right)$
T Thermodynamische Temperatur	$T = 293 \text{ K } (= 20^\circ \text{C})$
M Molare Masse	$M_{\text{Luft}} = 28,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$
e Dicke der Blendenöffnung	in m
d Durchmesser der Blendenöffnung	in m
C Strömungsleitwert	in $\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \left(= 10^3 \frac{\text{l}}{\text{s}} \right)$

Damit ergibt sich für Luft von 20°C :

$$C_{\text{Luft}} = 91 \frac{d^2}{1 + \frac{e}{d}} \text{ in } \text{m}^3/\text{s}$$

$$C_{\text{Luft}} = 91\,000 \frac{d^2}{1 + \frac{e}{d}} \text{ in l/s}$$

3.3 Meßgeräte und Bedingungen für deren Anwendung

3.3.1 Meßdom

3.3.1.1 Meßdom für Ansaugdrücke $> 10^{-6}$ mbar

Bei der Messung ist ein Meßdom nach Bild 1 zu verwenden, dessen Durchmesser D gleich dem Innendurchmesser der Ansaugöffnung der Pumpe ist. Die obere Partie kann entweder abgerundet, konisch oder geneigt sein. Der mittlere Abstand zum Flansch entspricht dem der ebenen Fläche. Der Meßdom ist mit einer Heizeinrichtung für eine gleichmäßige Temperatur von 120°C versehen.

Für Pumpen, deren Durchmesser der Ansaugöffnung kleiner ist als Nennweite 100, entspricht der Durchmesser des Meßdomes Nennweite 100. Der Übergang zum Saugstutzen der Pumpe geschieht durch ein mit 45° konisches Verbindungsstück nach Bild 2.

3.3.1.2 Meßdom für Ansaugdrücke $< 10^{-6}$ mbar

3.3.1.2.1 Meßdom für die Saugvermögensmessung

Der Meßdom ist zylindrisch und hat die Form wie in Bild 3 angegeben. Der Meßdom wird mit einer Ausheiz-einrichtung für eine gleichmäßige Erwärmung auf 300°C versehen.

Der Durchmesser d der Öffnung in der dünnen Wand wird in Abhängigkeit vom erwarteten Saugvermögen gewählt. Er muß so groß sein, daß das Verhältnis der bei p_1 und p_2 gemessenen Drücke zwischen 10 und 100 liegt.

Für Pumpen, deren Durchmesser der Ansaugöffnung kleiner ist als Nennweite 100, entspricht der Durchmesser des Meßdomes Nennweite 100. Der Übergang zum Saugstutzen der Pumpe geschieht durch ein mit 45° konisches Verbindungsstück nach Bild 2.

Für Pumpen, bei denen der Durchmesser der Ansaugöffnung größer ist als Nennweite 100, entspricht der innere Durchmesser D des Meßdomes dem inneren Durchmesser der Ansaugöffnung.

3.3.1.2.2 Meßdom für die Enddruckmessung $< 10^{-6}$ mbar

Für die Enddruckmessung ist ein Meßdom zu verwenden, der in den Abmessungen dem oberen Teil des Meßdomes II oberhalb der Blende in Bild 3 entspricht.

3.3.2 Vakuummeßgeräte

3.3.2.1 Vakuummeßgeräte für den Vorvakuum-druck

Für die Messung des Vorvakuumdruckes kann man ein Vakuummeter vom Typ McLeod oder ein Hochdruckionisationsvakuummeter mit heißer Kathode mit vorgeschalteter Kühlfalle oder ein Membranvakuummeter verwenden. Im Falle der Verwendung des Vakuummeters vom Typ McLeod müssen Vorkehrungen getroffen werden, um den Pumpeffekt, der durch die Diffusion des Quecksilberdampfes entsteht, zu verhindern. Im Falle eines Glühkathodenionisationsvakuummeters muß dieses vorher für das benutzte Gas geeicht werden. Die mit flüssigem Stickstoff gekühlte Kühlfalle zwischen dem Vakuummeter und dem Vorvakuumstutzen besteht aus einem U-Rohr. Der Leitwert der Kühlfalle und der Verbindung-leitung muß mindestens $3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ betragen.

3.3.2.1.1 Vakuummeßgeräte für Ansaugdrücke $> 10^{-6}$ mbar

Die Druckmessungen werden mit Geräten durchgeführt, die eine Genauigkeit von $\pm 5\%$ der Drücke oberhalb von 10^{-6} mbar und von $\pm 10\%$ unterhalb dieses Wertes haben.

Zur Druckmessung sind mindestens 2 Vakuummeter mit vorgeschalteter Kühlfalle (-180°C) zu verwenden.

3.3.2.1.2 Vakuummeßgeräte für Ansaugdrücke $< 10^{-6}$ mbar

Die Messung der Drücke erfolgt mit Geräten, die mit einer Genauigkeit von $\pm 5\%$ für Drücke oberhalb von 10^{-6} mbar und von $\pm 10\%$ unterhalb dieses Wertes geeicht sind. Die verwendeten Geräte müssen auch innerhalb dieser Grenzen in ihrer Anzeige linear sein. Die Übereinstimmung der Meßgeräte ist sicherzustellen, indem man bei B über das im unteren Teil des Meßdomes (siehe Bild 3) gegen den Saugstutzen der Pumpe gerichtete Rohr mit Hilfe eines Dosierventiles Luft einläßt, bis sich etwa der gewünschte Druck einstellt. Nach Stabilisierung des Druckes müssen die Meßgeräte an den Stellen p_1 und p_2 die gleichen Werte anzeigen. Wenn das nicht der Fall ist, ist eine entsprechende Korrektur durchzuführen.

3.3.2.2 Meßgeräte für die Messung der Partialdrücke

Die Messung des Partialdruckes im Vorvakuum kann mit einem Vakuummeter mit vorgeschalteter Kühlfalle nach Abschnitt 3.3.2.1 durchgeführt werden, die Messung des Ansaugdruckes mit einem Partialdruck-Vakuummeter, ergänzt durch ein Totaldruckmeßgerät.

Die Partialdruck-Vakuummeter, die auf der Ansaugseite der Pumpe verwendet werden, müssen ein ausreichendes Auflösungsvermögen im Bereich der Massen von 1 bis 100 haben.

3.3.2.3 Meßgeräte für den pV-Durchfluß (Gasstrom)

Die Messung des in den Meßdom einströmenden Gasvolumens erfolgt bei Atmosphärendruck. Die Meßmethode ist von der Größe des Gasvolumens abhängig (siehe Tabelle 1). Während der Messung muß dafür gesorgt werden, daß die Temperaturänderungen auf ein Minimum reduziert werden. Man muß z. B. längere Berührung mit den Händen oder Erwärmung durch Atem vermeiden. Derartige Einflüsse und solche von Sonneneinstrahlung oder Zugluft sollten durch entsprechende Abschirmung verhindert werden.

Für pV-Durchflüsse größer als $1 \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ können Schwebekörpermeßgeräte, Geräte mit Blende oder thermoelektrische Gasdurchflußmeßgeräte verwendet werden. Die Genauigkeit des thermoelektrischen Gasdurchflußmeßgerätes muß mindestens $\pm 10\%$ betragen.

Wenn mit Blende gemessen wird, ist nach DIN 1952 ²⁾ zu verfahren; die dabei erzielte Meßunsicherheit ist anzugeben.

Für pV-Durchflüsse zwischen $10 \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ und $10^{-3} \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ kann die Messung mit einem thermoelektrischen Gasdurchflußmeßgerät oder mit einer Bürette durchgeführt werden. Als Bürette kann ein mit zwei Meßpunkten versehenes Rohr verwendet werden (siehe Bild 4). Man mißt die Zeit, in welcher das Flüssigkeitsniveau die Strecke zwischen Punkt 1 und Punkt 2 passiert. Das Volumen des Meßrohres zwischen den Meßpunkten muß mit einer Genauigkeit von $\pm 1\%$ bekannt sein. Die Meßflüssigkeit darf keine höhere Dichte als 1,5 haben und ihr Dampfdruck bei Umgebungstemperatur (20°C) darf nicht höher sein als 10^{-4} mbar ³⁾.

Der innere Durchmesser der Bürette bzw. Kapillare ist so zu wählen, daß bei einer Meßzeit von 10 s bis 300 s zwischen den beiden Meßmarken ein Mindestweg von 100 mm durchlaufen wird. Der hydrostatische Druck muß kompensiert werden, indem das Flüssigkeitsniveau außerhalb der Bürette während des Versuchs dem Niveau innerhalb der Bürette angeglichen wird.

Das Totvolumen soll klein gehalten werden, um die Fehler aus dem hydrostatischen Druck, dem barometrischen Druck und der Umgebungstemperatur zu minimieren.

Für pV-Durchflüsse zwischen 2 und $0,66 \cdot 10^{-3} \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ kann auch ein Durchflußmeßgerät mit geeichten Kapillaren verwendet werden. Es besteht aus einer Anzahl von austauschbaren geeichten Kapillaren C oder anderen dafür geeigneten Strömungswiderständen, an deren Enden jeweils ein Anschluß für ein Differenzdruckmeßgerät vorgesehen ist (siehe Bild 5). Dieses Gerät kann aus einem U-Rohr bestehen, welches mit einer leichten Flüssigkeit mit niedrigem Dampfdruck gefüllt ist. Eine Skale ermöglicht die Messung des Niveauunterschiedes in den beiden Schenkeln des U-Rohres. An den oberen Enden bringt man zweckmäßigerweise kleine Behälter an, die die Flüssigkeit aufnehmen können, falls der maximale Differenzdruck überschritten wird.

Das Eichen der Kapillaren ist im Anhang A angegeben.

3.4 Durchführung

3.4.1 Messung bei Ansaugdrücken $> 10^{-6}$ mbar

Der allgemeine Aufbau der Meßeinrichtung ist in Bild 6 angegeben. Wenn nichts anderes angegeben wird, dient getrocknete Luft als Testgas.

Bei geschlossenem Ventil 5 wartet man ab, bis man im Meßdom den Enddruck erreicht hat (siehe Abschnitt 5). Danach wird in den Meßdom Gas eingelassen (siehe Bild 6). Die Messungen werden bei steigendem Druck durchgeführt, von einem Ausgangspunkt ab, der die exakte Benutzung der Meßgeräte für den pV-Durchfluß erlaubt.

Wenn der gewünschte Druck erreicht ist und sich innerhalb von 10 min. um nicht mehr als 5 % ändert, wird der Meßpunkt als gut bezeichnet.

Wenn eine Unstabilität auf eine vorübergehende Ursache zurückzuführen ist, wartet man die notwendige Zeit ab, bis die Stabilität wieder eingetreten ist. Man notiert den Enddruck, den Druck (siehe Abschnitt 4.1), die Temperatur, den Atmosphärendruck und im Falle der Verwendung eines Gasdurchflußmeßgerätes die zugeführte Gasmenge, oder im Falle der Messung mit der Bürette das Volumen des eingelassenen Gases und die Zeit. Man kann dann zu dem folgenden Punkt übergehen, der sich bei einem höheren Druck befindet und der nach der gleichen Methode aufgenommen wird.

Man mißt drei Punkte je Dekade. Die Messung wird beendet, wenn das Saugvermögen der Turbomolekularpumpe gleich dem zweifachen des Saugvermögens der Vorvakuumpumpe ist. Dieses ist durch das Verhältnis des bei Atmosphärendruck gemessenen Gasstromes zu dem Druck auf der Vorvakuumseite, welcher durch das Meßgerät 7 in Bild 6 angezeigt wird, angegeben:

Saugvermögen auf der Vorvakuumseite

$$S = \frac{q_{pV}}{p_V}$$

p_V ist der Druck auf der Vorvakuumseite.

3.4.2 Messung bei Ansaugdrücken $< 10^{-6}$ mbar

Der allgemeine Aufbau der Meßeinrichtung ist in Bild 7 angegeben. Wenn nichts anderes angegeben ist, wird als Prüfgas getrocknete Luft verwendet. Man wartet ab, bis

2) Siehe auch ISO/R 541.

3) Das Dibutylphthalat entspricht diesen Bedingungen. Seine niedrigere Viskosität erlaubt es, Messungen innerhalb von kurzen Intervallen zu wiederholen.