

Vakuumtechnik

Abnahmeregeln für Rotationsverdrängervakuumpumpen

Sperr- und Drehschieber- sowie Kreiskolbenvakuumpumpen

im Grob- und Feinvakuumbereich

DIN
28 426
Teil 1

Vacuum technology; acceptance specifications for rotary plunger vacuum pumps, sliding vane rotary vacuum pumps and rotary piston vacuum pumps for the ranges of rough and medium vacuum

Ersatz für Ausgabe 03.76

Technique du vide; conditions de réception pour pompes à vide à piston oscillant, pompes à vide à palettes et pompes à vide à piston tournant pour les domaines de vide grossier et moyen

Zusammenhang mit Arbeiten der International Organization for Standardization (ISO) und des Europäischen Komitees der Hersteller von Verdichtern, Vakuumpumpen und Druckluftwerkzeugen (PNEUROP), siehe Erläuterungen.

Maße in mm

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	2	4.3.4 Auswertung der Messung	5
2 Bestimmung des Saugvermögens	2	5 Bestimmung der niedrigsten Anlauf-temperatur	6
2.1 Begriffe	2	5.1 Begriff	6
2.2 Grundlagen	2	5.2 Durchführung	6
2.3 Meßbedingungen	2	6 Bestimmung der größten Antriebsleistung	6
2.4 Meßgeräte	2	6.1 Begriff	6
2.5 Durchführung	3	6.2 Meßbedingung	6
2.6 Auswertung	3	6.3 Durchführung	6
3 Bestimmung des Enddruckes	4	7 Anschlußmaße	6
3.1 Begriff	4	8 Gewicht	6
3.2 Meßbedingungen	4	9 Versuchsprotokoll	6
3.3 Meßgeräte	4	Bilder	6
3.4 Durchführung	4	Anhang A	10
4 Bestimmung von Wasserdampfverträglichkeit und Wasserdampfkapazität	4	Anhang B	10
4.1 Begriffe	4	Anhang C	11
4.2 Berechnungsverfahren	4	Zitierte Normen	12
4.2.1 Wasserdampfverträglichkeit p_{wo}	4	Weitere Normen und andere Unterlagen	12
4.2.2 Wasserdampfkapazität C_{wo}	5	Änderungen	12
4.3 Messung der Wasserdampfverträglichkeit p_{wo}	5	Erläuterungen	12
4.3.1 Prinzip	5		
4.3.2 Meßgeräte	5		
4.3.3 Durchführung der Messung	5		

Fortsetzung Seite 2 bis 12

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.

1 Anwendungsbereich

Diese Abnahmeregeln gelten für die Sperr- und Drehschiebervakuumpumpen sowie Kreiskolbenvakuumumpen ¹⁾ im Grob- und Feinvakuumbereich, die das geförderte Gas gegen Atmosphärendruck ausstoßen und einen Ansaugdruck von weniger als 1 mbar ²⁾ erreichen können, im folgenden kurz Vakuumumpen genannt.

2 Bestimmung des Saugvermögens

2.1 Begriffe

2.1.1 Saugvermögen S

Das Saugvermögen S ist das zeitbezogene Gasvolumen, welches aus einem vorgeschriebenen Meßdom durch den Ansaug-Querschnitt der Vakuumpumpe strömt. S wird in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ angegeben (siehe DIN 28 400 Teil 1).

2.1.2 Nennsaugvermögen S_N

Das Nennsaugvermögen S_N einer Vakuumpumpe ist das Produkt aus dem theoretischen Hubvolumen je Umdrehung und der angegebenen Drehzahl.

Bei direkt gekuppelten Motoren ist dies die Synchron-Drehzahl, bei indirektem Antrieb ist das Übersetzungsverhältnis zu berücksichtigen. S_N wird in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ angegeben. Bei der Berechnung von S_N ist die Drehzahl auf die Zeiteinheit Stunde zu beziehen.

2.1.3 Kammervolumen

Das Kammervolumen ist das Nennsaugvermögen je Stunde, dividiert durch die Anzahl der Umdrehungen je Stunde und durch die Anzahl der Ansaugtakt je Umdrehung.

2.2 Grundlagen

Die Bestimmung des Saugvermögens wird nach dem Prinzip des konstanten Druckes durchgeführt, d. h., daß der jeweilige Ansaugdruck im Saugstutzen der Vakuumpumpe während der Messung konstant gehalten wird. Diese Bedingung gilt als erfüllt, wenn der Druck an der Meßstelle des mit dem Saugstutzen der Vakuumpumpe verbundenen Meßdomes konstant gehalten wird.

2.3 Meßbedingungen

Die Ist-Drehzahl der Vakuumpumpe darf während der Messung nicht mehr als $\pm 3\%$ von der angegebenen Drehzahl abweichen.

Wird eine Vakuumpumpe mit angeflanschem oder direkt gekuppeltem Motor geliefert, so gilt die auf dem Typschild des Motors angegebene Drehzahl. Bei indirekt angetriebenen Vakuumpumpen ist das Übersetzungsverhältnis zu berücksichtigen.

Bei der Messung ist darauf zu achten, daß die Vakuumpumpe mit der vom Hersteller vorgeschriebenen Ölmenge und Ölqualität betrieben wird. Die Umgebungstemperatur soll zwischen 15 und 25 °C konstant gehalten werden.

2.4 Meßgeräte

2.4.1 Meßdom

Bei der Messung ist ein Meßdom nach Bild 1 zu verwenden, dessen Volumen mindestens dem 5fachen des Kammervolumens der zu messenden Vakuumpumpe entspricht. Der Übergang zum Ansaugflansch der Vakuumpumpe ist mit einem Übergangsstück, siehe Bild 2, vorzunehmen, dessen Länge das Maß $0,6 \cdot D$ nicht überschreitet. Der Meßdom kann in waagerechter oder lotrechter Lage verwendet werden.

2.4.2 Vakuummeßgeräte

Die Messung von Drücken über 20 mbar ist mit einem U-Rohr-Vakuummeter oder mit einem kalibrierten Membranvakuummeter durchzuführen, deren Fehlergrenzen höchstens $\pm 5\%$ betragen dürfen.

Die Messung von Drücken von 20 bis $1 \cdot 10^{-3}$ mbar ist mit einem Kompressionsvakuummeter (McLeod-Vakuummeter), Membranvakuummeter oder Feinvakuumionisationsvakuummeter mit vorgeschalteter Kühlfalle durchzuführen. Die Fehlergrenzen der Meßgeräte müssen im Bereich von 20 bis $1 \cdot 10^{-2}$ mbar unter $\pm 5\%$, im Bereich von $1 \cdot 10^{-2}$ bis $1 \cdot 10^{-3}$ mbar unter $\pm 10\%$ liegen.

Die in Form eines U-Rohres ausgebildete Kühlfalle muß gleichen inneren Durchmesser über ihre Gesamtlänge aufweisen und ist während der gesamten Meßdauer auf der Temperatur des flüssigen Stickstoffes zu halten.

Für das Kompressionsvakuummeter soll der Innendurchmesser der Verbindungsleitung zwischen Meßgerät und Meßdom 6 mm bei Umgebungstemperaturen von 20 bis 25 °C und 8 mm bei Umgebungstemperaturen unter 20 °C nicht überschreiten.

Das Verhältnis von Länge zum Durchmesser der Verbindungsleitung von McLeod-Vakuummeter zur Kühlfalle soll nicht kleiner als 50, die Länge aber möglichst kurz sein.

Die Temperatur des Quecksilbers in dem Kompressionsvakuummeter darf 25 °C nicht überschreiten.

Für das Membranvakuummeter und das Feinvakuumionisationsvakuummeter muß der Leitwert der Verbindungsleitung im molekularen Strömungsgebiet zwischen Meßdom und Meßgerät mindestens $0,7 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ betragen.

Für die Messung von Drücken unter $1 \cdot 10^{-3}$ mbar ist ein Glühkathodenionisationsvakuummeter zu verwenden, dem eine Kühlfalle, die mindestens $3/4$ gefüllt ist, vorzuschalten ist. Die Kühlfalle ist während der ganzen Dauer der Messung auf der Temperatur des flüssigen Stickstoffes zu halten. Die Verbindung vom Meßdom zum Meßgerät muß einen Leitwert von mindestens $0,7 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ besitzen. Für den Anschluß der Meßeinrichtung an den Meßdom nach Bild 1 ist ein Meßstutzen von mindestens Nennweite 25 angebracht.

2.4.3 Meßgeräte für den pV-Durchfluß (Gasstrom)

Die Messung des in den Meßdom einströmenden Gasvolumens erfolgt bei Atmosphärendruck. Das Verfahren für die Messung des pV-Durchflusses (q_{pV}) ist von dem Wert desselben abhängig.

- Für pV-Durchflüsse größer als $10 \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ muß die Fehlergrenze der Meßgeräte innerhalb von $\pm 3\%$ liegen.
- Für pV-Durchflüsse von 10 bis $1 \cdot 10^{-3} \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ muß sie innerhalb von $\pm 5\%$ und für geringere pV-Durchflüsse innerhalb von $\pm 10\%$ liegen.
- Für pV-Durchflüsse größer als $1 \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ werden handelsübliche Meßgeräte mit Blende oder Schwebekörper verwendet. Wenn mit Blende gemessen wird, ist nach DIN 1952 ³⁾ zu verfahren; die dabei erzielte Meßunsicherheit ist anzugeben.
- Für pV-Durchflüsse unter $10 \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ aber über $1 \cdot 10^{-3} \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ist für die Messung des pV-Durchflusses ein Verdrängungsverfahren zu verwenden. Das hierbei verwendete Gerät kann die Form eines lotrechten oder schrägen Meßrohres haben (siehe Bild 3 und Bild 4).

¹⁾ Begriffe siehe DIN 28 400 Teil 1 bis Teil 3.

²⁾ 1 mbar = 100 Pa = 0,75 Torr.

³⁾ Siehe auch ISO/R 541.

Dabei ist die Zeit zu messen, in der der Flüssigkeitsspiegel die Strecke zwischen den Markierungen 1 und 2 auf dem Meßrohr durchläuft. Die Meßunsicherheit der Messung des pV-Durchflusses darf $\pm 3\%$ nicht überschreiten. Wenn Meßverfahren angewendet werden, bei denen Druckänderungen nicht automatisch kompensiert werden, so müssen entsprechende Korrekturen vorgenommen werden. Meßzeiten unter 25 Sekunden und über 300 Sekunden sind zu vermeiden. Das Volumen des Meßrohres zwischen den Markierungen muß mit einer Meßunsicherheit von $\pm 1\%$ bekannt sein. Bei Messungen nach Bild 3 und Bild 4 darf das Volumen, das zwischen dem Flüssigkeitsspiegel und dem Drosselorgan eingeschlossen ist, nicht größer als 5mal dem Meßvolumen sein. Die Meßflüssigkeit darf keine höhere Dichte als $1,5 \text{ kg} \cdot \text{l}^{-1}$ haben. Das Volumen zwischen dem Flüssigkeitsspiegel und dem Drosselorgan entspricht n mal dem Gasvolumen. Die zul. Meßunsicherheit auf Grund von Temperatur und Druckänderung ist m in %. Damit ist die zulässige Temperaturänderung gegeben durch

$$\Delta T < 3 \frac{m}{n} \text{ in K} \quad (1)$$

und die dementsprechende zulässige Druckänderung ist gegeben durch

$$\Delta p < 9,33 \frac{m}{n} \text{ in mbar} \quad (2)$$

Für pV-Durchflüsse zwischen $3 \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ und $7 \cdot 10^{-3} \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ kann auch ein Durchflußmeßgerät mit definierten Kapillaren verwendet werden (siehe Bild 5). Er besteht aus einer Anzahl von austauschbaren definierten Kapillaren C oder anderen dafür geeigneten Strömungswiderständen, an deren Enden jeweils ein Anschluß für ein Differenzdruckmeßgerät vorgesehen ist. Dieses Gerät kann aus einem U-Rohr bestehen, welches mit einer leichten Flüssigkeit mit niedrigem Dampfdruck gefüllt ist. Eine Skala 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.

Die Bestimmung des Volumenstromes für eine jede Kapillare geschieht vorher mit Hilfe eines geschlossenen Wasserbehälters von einigen Litern Volumen, der mit einem vertikalen Rohr von 3 bis 5 m Länge verbunden ist. Am unteren Ende dieses Rohres befindet sich ein Ventil. Man öffnet dieses soweit, daß eine bestimmte Menge Wasser gleichmäßig ausfließt. Es entsteht ein bestimmter Volumenstrom durch die Kapillare und damit ein Niveauunterschied im U-Rohr, welcher diesem jeweiligen Volumenstrom entspricht. Für verschiedene Niveauunterschiede mißt man die zeitbezogene ausgeströmte Wassermenge und erhält eine Kurve für die Kapillare, die die Abhängigkeit des Differenzdruckes vom Volumenstrom aufzeigt.

Der pV-Durchfluß durch die Vakuumpumpe ist durch das Produkt des Volumenstromes und des mittleren Druckes in der Kapillare gegeben. Unterschiede des barometrischen Druckes können vernachlässigt werden. Dagegen muß eine Temperaturkorrektur durchgeführt werden, wenn die Temperatur T in K, bei welcher die Messung durchgeführt wird, von derjenigen T_0 in K, bei welcher die Bestimmung des Volumenstromes durchgeführt wurde, abweicht. Der Volumenstrom ist umgekehrt proportional dem Viskositätskoeffizienten des Gases. Um die Korrektur mit ausreichender Genauigkeit durchzuführen, ist der Wert für den Gasstrom, der auf der

Kurve abgelesen wird, mit $\left(\frac{T_0}{T}\right)^{1/2}$ zu multiplizieren.

Der Fehler infolge einer Änderung des Atmosphärendruckes während der Messung des Gasstromes kann vernachlässigt werden, da man voraussetzen kann, daß die Zeit, die die Messung in Anspruch nimmt, ausreichend kurz ist.

2.5 Durchführung

Bei der Durchführung sind der Meßdom, das Vakuummeter und ein Volumendurchflußmeßgerät nach der Darstellung in Bild 6 an der zu messenden Vakuumpumpe anzubringen. Zwischen dem Volumendurchflußmeßgerät und dem Meßdom ist ein Dosierventil mit entsprechendem Einstellbereich vorzusehen.

Vor Beginn der Messung ist die Meßanordnung auf ausreichende Dichtheit zu prüfen (Leckrate $\leq 1 \cdot 10^{-4} \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$).

Nach dem Einschalten der Vakuumpumpe ist der Meßdom bei geschlossenem Dosierventil zunächst solange zu evakuieren, bis ein Druckabfall nicht mehr festgestellt werden kann (siehe Abschnitt 3.4) und die Vakuumpumpe ihre Betriebstemperatur erreicht hat. Dann wird das Dosierventil geöffnet und ein Gas (normalerweise Raumluft) in den Meßdom eingelassen, damit sich der für die jeweilige Messung gewünschte Druck im Meßdom einstellt.

Die Messung des Saugvermögens ist punktweise bei verschiedenen Ansaugdrücken (mindestens 3 je Zehnerpotenz, in etwa bei 2,5; 5 und 10) vorzunehmen, wobei der Druck von Meßpunkt zu Meßpunkt steigen soll.

Für jeden Meßpunkt sind folgende Werte zu ermitteln:

p_1	Atmosphärendruck	in mbar
p	Ansaugdruck	in mbar
V	das beim Druck p_1 in der Zeit t angesaugte Volumen	in l
t	Meßzeit	in s

Die Messung des Ansaugdruckes ist gleichzeitig mit der Volumenmessung vorzunehmen. Dauert die Volumenmessung länger als 60 Sekunden, dann ist während der Meßzeit alle 60 Sekunden eine Druckmessung durchzuführen, von der der Mittelwert in die Auswertung einzusetzen ist. Weichen der größte und kleinste gemessene Druck um mehr als 10 % des Mittelwertes voneinander ab, so ist die Messung zu wiederholen. Ist die Vakuumpumpe mit einem Gasballastventil ausgerüstet, dann werden die Messungen im ersten Durchgang mit geschlossenem, im zweiten Durchgang mit voll geöffnetem Gasballastventil vorgenommen.

2.6 Auswertung

Aus den nach Abschnitt 2.5 ermittelten Meßwerten ist das Saugvermögen S nach der Gleichung

$$S = \frac{V \cdot p_1}{t \cdot p} \text{ in l} \cdot \text{s}^{-1} = 3,6 \frac{V \cdot p_1}{t \cdot p} \text{ in m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (3)$$

zu errechnen. Die so ermittelten Werte für das Saugvermögen S sind in Abhängigkeit vom Ansaugdruck p entsprechend Bild 7 aufzutragen.

Die einzelnen Meßpunkte können durch einen gemittelten Kurvenzug verbunden werden, wenn sie nicht um mehr als 10 % des jeweiligen Saugvermögens von dieser Kurve abweichen. Die wegen offensichtlicher Meßfehler herausfallenden Punkte können durch Wiederholung korrigiert werden. Der gemittelte Kurvenzug ist die Saugvermögenskurve der Vakuumpumpe.

Wird das Saugvermögen oder das Nennsaugvermögen als Zahlenwert oder in einer Typenbezeichnung als Kennzeichnung der Größe oder Leistung der Pumpe angegeben, so darf dieser Wert in keinem Falle um mehr als 10 % von dem mittleren Wert des zwischen 133 und 1000 mbar gemessenen Saugvermögens abweichen.

3 Bestimmung des Enddruckes

3.1 Begriff

Der Enddruck einer Vakuumpumpe ist der niedrigste asymptotisch erreichte Druck, den sie ohne Gaseinlaß in einem Meßdom erzeugt. Dabei ist zu unterscheiden zwischen dem Endpartialdruck (Enddruck der Permanentgase) und dem Endtotaldruck. Der Enddruck bezieht sich auf eine Temperatur des Meßdomes von 20 bis 25 °C. Beide Enddrücke werden in mbar angegeben.

3.2 Meßbedingungen

Die Ist-Drehzahl der Vakuumpumpe darf während der Messung nicht mehr als $\pm 3\%$ von der angegebenen Drehzahl abweichen.

Wird eine Vakuumpumpe mit angeflanschem oder direkt gekoppeltem Motor geliefert, so gilt die auf dem Typenschild des Motors angegebene Drehzahl. Bei indirekt angetriebenen Vakuumpumpen ist das Übersetzungsverhältnis zu berücksichtigen.

Beim Messen muß die Vakuumpumpe mit der vom Hersteller vorgeschriebenen Ölmenge und Ölqualität betrieben werden. Die Umgebungstemperatur soll unter 25 °C liegen.

3.3 Meßgeräte

3.3.1 Meßdom

Bei der Messung des Enddruckes ist ein Meßdom nach Abschnitt 2.4.1 zu verwenden. Seine Temperatur muß zwischen 20 und 25 °C liegen.

3.3.2 Vakuummeßgeräte für den Partialdruck

Hierfür sind die in Abschnitt 2.4.2 beschriebenen Vakuummeßgeräte zu verwenden.

3.3.3 Vakuummeßgerät für den Endtotaldruck

Die Messung des Endtotaldruckes ist mit einem Membranvakuummeter durchzuführen, das eine Fehlergrenze von $\pm 10\%$ bei dem zu messenden Druck nicht überschreitet. In der Verbindungsleitung vom Meßdom zum Membranvakuummeter darf keine Dampfsperre angebracht sein.

3.4 Durchführung

Für die Durchführung der Messung des Enddruckes ist auf dem Ansaugstutzen der zu messenden Vakuumpumpe ein Meßdom nach Bild 1 anzubringen. Die Innenoberfläche des Meßdomes muß sauber und trocken sein; er darf nicht während der Messung ausgeheizt werden. Wird der Meßdom vor der Messung ausgeheizt, so ist er nach dem Abkühlen auf 25 °C für kurze Zeit durch Einlassen von getrockneter Raumluft auf einen Druck von mindestens 1 mbar zu bringen. Der Gaseinlaßstutzen ist dann vollständig zu verschließen, so daß kein Gas in den Meßdom eintreten kann.

Nach dem Einschalten soll die Vakuumpumpe mindestens 1 Stunde mit Gasballast und anschließend 1 Stunde ohne Gasballast betrieben werden. Diese Maßnahme ist nicht nötig, wenn die Messung des Enddruckes unmittelbar nach der Messung des Saugvermögens erfolgt (siehe Abschnitt 2.5).

Anschließend wird mit den Druckmessungen begonnen, die in Abständen von 30 Minuten erfolgen sollen. Der Enddruck ist erreicht, wenn bei drei aufeinander folgenden Messungen keine Druckänderungen mehr festgestellt werden.

Bei der Messung des Enddruckes mit Gasballast ist das Gasballastventil voll zu öffnen und die Messung entsprechend dem Obengesagten durchzuführen, nachdem die Vakuumpumpe ihre Gleichgewichtstemperatur hat.

4 Bestimmung von Wasserdampfverträglichkeit und Wasserdampfkapazität

4.1 Begriffe

Wasserdampfverträglichkeit:

Die Wasserdampfverträglichkeit ist der höchste Druck, mit dem eine Vakuumpumpe unter den Umgebungsbedingungen von 20 °C und 1013 mbar reinen Wasserdampf dauernd ansaugen und fördern kann. Sie wird in mbar angegeben.

Wasserdampfkapazität:

Die Wasserdampfkapazität ist das höchste Wassergewicht je Zeiteinheit, das eine Vakuumpumpe unter den Umgebungsbedingungen von 20 °C und 1013 mbar in Form von Wasserdampf dauernd ansaugen und fördern kann. Sie wird in $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ angegeben.

Die Wasserdampfkapazität kann aus der Wasserdampfverträglichkeit nach Abschnitt 4.2.2 errechnet werden.

4.2 Berechnungsverfahren

4.2.1 Wasserdampfverträglichkeit p_{wo}

Die Wasserdampfverträglichkeit p_{wo} kann für eine ölgedichtete Rotationsverdrängervakuumpumpe mit Gasballasteinrichtung mit Hilfe der allgemeinen Gleichung für das Pumpen reiner Dämpfe gefunden werden.

$$p_{wo} = \frac{B}{S} \cdot \frac{1333 (p_s - p_a)}{1333 - p_s} \quad \text{in mbar} \quad (4)$$

Diese Gleichung bezieht sich auf den Fall, daß das ölüberdeckte Auspuffventil der Pumpe bei einem Auspuffdruck von 1333 mbar ⁴⁾ öffnet. Dieses ist etwas höher als der normale atmosphärische Umgebungsdruck $p_n = 1013$ mbar, weil das Gewicht der Ventilplatte und das des Öles über derselben berücksichtigt worden ist.

p_s ist der Sättigungsdruck des gepumpten Wasserdampfes bei der Betriebstemperatur ϑ der Pumpe. Die Temperatur ϑ der Pumpe ist in diesem Zusammenhang die Temperatur des Bereiches des Auspuffs, wenn sich die laufende Pumpe im Gleichgewichtszustand befindet. p_s ist in mbar einzusetzen. Für den Fall des Pumpens von Wasserdampf ist die Funktion p_s in Anhang C angegeben.

p_a ist der Wasserdampfpartialdruck der atmosphärischen Luft, die als Gasballast in die Pumpe eingelassen wird. In der Praxis wird $p_a = 13$ mbar verwendet. Dies entspricht 58 % Feuchtigkeit in Luft von 20 °C. Es muß angemerkt werden, daß die Gleichung (4) für den Fall des Pumpens von reinem Dampf (Wasserdampf) gültig ist. Die allgemeinere Formel, die sich auf den Fall des Pumpens von Dampf plus Luft bezieht, und zeigt, daß in diesem Falle für die Wasserdampfverträglichkeit höhere Werte errechnet werden. In der Verwendung von Gleichung (4) für die Ermittlung der (wirklichen) Wasserdampfverträglichkeit p_{wo} hat man also den ungünstigsten Fall, wie es in dem Schema Bild 10 dargestellt ist. Die Relation von p_s und ϑ wurde aus dem Anhang C entnommen.

B ist der Betrag des Gasballastes in m^3/h , bezogen auf 1013 mbar, S ist das Saugvermögen der Pumpe bei dem Ansaugdruck p_a . Da praktisch alle bei diesen Messungen vorkommenden Drücke über 10 mbar liegen, kann für S in hinreichender Näherung der Zahlenwert für das Nennsaugvermögen S_n (in m^3/h) Verwendung finden (dies folgt aus der Saugvermögenskurve der Pumpe, siehe Bild 7).

⁴⁾ Diese Zahl ist ein Mittelwert. Abweichungen hiervon können vernachlässigt werden.