

Verdrängerkompressoren

Thermodynamische Abnahme- und Leistungsversuche

DIN
1945
 Teil 1

Displacement compressor; thermodynamic acceptance and performance test

Ersatz für DIN 1945

Compresseur volumétrique; essais de réception thermodynamique et détermination des caractéristiques

Zusammenhang mit der von der International Organization for Standardization (ISO) herausgegebenen Internationalen Norm ISO 1217 siehe Erläuterungen.

Vorbemerkung

Zweck dieser Norm ist es, einheitliche Regeln für Abnahmeversuche an Verdrängerkompressoren festzulegen, so daß die Ergebnisse der Messungen der technischen Eigenschaften von verschiedenen Maschinen reproduzierbar und vergleichbar sind. Die Norm bietet die Möglichkeit, entsprechend den Vereinbarungen zwischen Lieferer und Käufer aus verschiedenen Arten von Abnahmeversuchen auszuwählen.

Die in diesen Regeln verwendeten Begriffe „Garantie“ und „Abnahme“ sind in technischem und nicht in rechtlichem Sinn zu verstehen. Die Garantie bezeichnet demnach die Zusage von technischen Eigenschaften der Lieferung. Der Abnahmeversuch hat die Aufgabe, die gemessenen technischen Eigenschaften mit den zugesicherten technischen Eigenschaften (Garantiewerte) zu vergleichen und mögliche Abweichungen festzustellen. Aussagen über den Vergleich der gemessenen und der zugesicherten technischen Eigenschaften im Bericht über den Abnahmeversuch werden lediglich im technischen Sinn festgestellt. Die juristischen Folgerungen einer Erfüllung oder Nichterfüllung der zugesicherten Eigenschaften sind nicht Gegenstand des Abnahmeversuchs. Er bedeutet also nicht die Abnahme im juristischen Sinn, die außer von der Erreichung der zugesicherten technischen Eigenschaften (Garantiewerte) noch von vielen anderen Kriterien abhängen kann und häufig in einem Liefervertrag geregelt wird.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Geltungsbereich und Zweck	2	9.3 Umgerechneter nutzbarer Ansaugvolumenstrom	12
2 Mitgeltende Normen	2	9.4 Umrechnung des Leistungsbedarfs	12
3 Begriffe	2	9.5 Umgerechneter Leistungsbedarf	13
4 Formelzeichen und Einheiten	5	9.6 Umgerechneter spezifischer Leistungsbedarf	13
5 Meßeinrichtungen und -verfahren	6	10 Meßgenauigkeit	13
5.1 Messung der Temperatur	6	10.1 Allgemeines	13
5.2 Messung des Drucks	7	10.2 Meßspiel für den nutzbaren Ansaugvolumenstrom	14
5.3 Ermittlung des nutzbaren Volumenstroms aus dem gelieferten Volumenstrom	8	10.3 Meßspiel für den spezifischen Leistungsbedarf	14
5.4 Ermittlung des nutzbaren Volumenstroms aus dem angesaugten Volumenstrom	8	10.4 Fehler aus dem Wirkungsgrad der Antriebsmaschine	14
5.5 Messung der Leistung	8	10.5 Toleranzen, bedingt durch Umrechnungsverfahren	15
5.6 Messung der Drehzahl	8	11 Versuchsbericht und Vergleich mit den Garantiewerten	15
5.7 Andere Messungen	9	Weitere Normen und Unterlagen	16
6 Vorbereitung der Maschine und der Versuchseinrichtung	9	Anhang:	
6.1 Allgemeines	9	A Weitere Verfahren für die Bestimmung des Volumenstroms	17
6.2 Aufbau der Versuchseinrichtung	9	B Weitere Messungen	21
6.3 Kalibrierung der Meßgeräte	9	C Verschiedene Arten von Versuchen an Kompressoren	22
7 Der Versuch	9	D Beispiele für Versuchsberichte	23
7.1 Allgemeine Regeln zur Durchführung des Versuchs	9	E Ableitung der in Abschnitt 9 verwendeten Formeln	57
7.2 Auswertung der Meßwerte	10	F Leistungsangaben bei Kompaktanlagen mit Verdrängerkompressoren für Luft	60
8 Berechnung der Versuchsergebnisse	10	G Umrechnungsfaktoren	61
9 Umrechnung der Versuchsergebnisse	10		
9.1 Allgemeines	10		
9.2 Umrechnung des nutzbaren Ansaugvolumenstroms	11		

 Fortsetzung Seite 2 bis 62
 Erläuterungen Seite 62

Normenausschuß Maschinenbau (NAM) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Änderung November 1980:
 Gegenüber der im Jahre 1969 zurückgezogenen Norm DIN 1945, Ausgabe Mai 1934, vollständig überarbeitet; ISO 1217 angepaßt (siehe Erläuterungen).

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

1 Geltungsbereich und Zweck

In dieser Norm werden Verfahren für Abnahmeversuche und technische Bedingungen für die Lieferung von Verdrängerkompressoren festgelegt.

Als **Verdrängerkompressor** wird eine Maschine bezeichnet, bei der eine Erhöhung des statischen Drucks dadurch erzielt wird, daß aufeinanderfolgend Gas in einen geschlossenen Raum angesaugt und aus diesem durch ein sich bewegendes Bauteil verdrängt wird. Komponenten und Zubehör unterschiedlichen Umfangs bis hin zur Kompaktanlage (siehe Anhang F) können eingeschlossen sein.

Der absolute Ansaugdruck sollte mehr als 1 mbar betragen.

Die Norm enthält ausführliche Angaben für die Messung des Volumenstroms und des Leistungsbedarfs sowie Wege zur Umrechnung der Meßwerte auf Garantiebedingungen.

Anmerkung:

a) Der Hauptteil dieser Norm enthält ausführliche Regeln für die Abnahmeversuche von Verdrängerkompressoren. In der Praxis benötigt man jedoch auch Regeln für einfachere Versuche. Neben dem Abnahmeversuch gibt es auch:

- den Typversuch,
- den vereinfachten Versuch,
- den Dauerversuch.

Regeln für die Durchführung von Versuchen der genannten Art finden sich in Anhang C.

b) In dieser Norm kommt das Internationale Einheitensystem (SI) zur Anwendung. Die Grundeinheiten Meter, Kilogramm, Sekunde, Ampere, Kelvin (früher Grad Kelvin) und Candela sind im Anhang zur ISO 1000 festgelegt.

Umrechnungsfaktoren für andere Einheitensysteme sind dieser Norm beigegeben, um den Gebrauch des Internationalen Einheitensystems zu erleichtern (siehe Anhang F).

2 Mitgeltende Normen

DIN 1952 Durchflußmessung mit genormten Düsen, Blenden und Venturidüsen (VDI-Durchflußmeßregeln)

3 Begriffe

In dieser Norm werden Benennungen mit folgender Bedeutung verwendet:

Nr	Benennung	Definition
3.1	Gesamtdruck	Der am Staupunkt gemessene Druck eines zum Stillstand gekommenen Gasstromes, dessen kinetische Energie durch isentropische Verdichtung aus den Strömungs- in den Ruhezustand umgewandelt wird. Dieser Druck wird gewöhnlich mit einem Pitot-Rohr gemessen. In einer ruhenden Gasmasse haben der statische und der Gesamtdruck gleiche Zahlenwerte.
3.2	Statischer Druck	In einem Gas gemessener Druck, ohne Einwirkung der Gasgeschwindigkeit auf die Messung
3.3	Dynamischer Druck	Gesamtdruck minus statischer Druck
3.4	Atmosphärischer Druck	Am Versuchsort gemessener absoluter Druck der Atmosphäre
3.5	Überdruck (effektiver Druck)	Über dem atmosphärischen Druck gemessener Druck
3.6	Absoluter Druck	Vom absoluten Vakuum aus gemessener Druck. Er ist gleich der algebraischen Summe von atmosphärischem Druck und Überdruck.
3.7	Negativer Überdruck (Unterdruck)	Differenz zwischen atmosphärischem Druck und absolutem Druck des Gases, wenn letzterer der niedrigere ist.
3.8	Eintrittspunkt	Der für den jeweiligen Kompressor zu definierende Eintrittspunkt. Die Lage des Punktes ist je nach Bauart und Anordnung des Kompressors verschieden. <i>Anmerkung: Der Eintrittspunkt eines stationären Kompressors ist im allgemeinen am Eintrittsflansch.</i>
3.9	Austrittspunkt	Der für den jeweiligen Kompressor zu definierende Austrittspunkt. Dieser Punkt ist je nach Bauart und Anordnung des Kompressors verschieden. <i>Anmerkung: Der Austrittspunkt eines stationären Kompressors ist im allgemeinen am Austrittsflansch.</i>

Nr	Benennung	Definition
3.10	Eintrittsdruck ¹⁾	Mittlerer absoluter Gesamtdruck am Eintrittspunkt <i>Anmerkung: Der absolute Gesamtdruck kann dem absoluten statischen Druck gleichgesetzt werden, vorausgesetzt, daß der Einfluß von Geschwindigkeit und Dichte des Gases auf den Gesamtdruck als vernachlässigbar angesehen werden kann.</i>
3.11	Austrittsdruck ¹⁾	Mittlerer absoluter Gesamtdruck am Austrittspunkt <i>Anmerkung: Der absolute Gesamtdruck kann dem absoluten statischen Druck gleichgesetzt werden, vorausgesetzt, daß der Einfluß von Geschwindigkeit und Dichte des Gases auf den Gesamtdruck als vernachlässigbar angesehen werden kann.</i>
3.12	Druckverhältnis	Verhältnis des Austrittsdruckes zum Eintrittsdruck <i>Anmerkung:</i> a) Das Stufendruckverhältnis ist das Druckverhältnis für jede einzelne Stufe eines mehrstufigen Kompressors wobei der Austrittsdruck jeweils vor dem Zwischenkühler angenommen wird. b) Das gesamte Stufendruckverhältnis ist das Druckverhältnis für jede einzelne Stufe eines mehrstufigen Kompressors, wobei der Austrittsdruck jeweils nach dem Zwischenkühler (einschließlich Abscheider) angenommen wird.
3.13	Gesamttemperatur	Temperatur, die man am Staupunkt messen würde, wenn der Gasstrom zum Stillstand gebracht und seine kinetische Energie durch eine isentropische Verdichtung aus dem Strömungs- in den Ruhestand gebracht würde.
3.14	Eintrittstemperatur	Gesamttemperatur am Eintrittspunkt des Kompressors
3.15	Austrittstemperatur	Gesamttemperatur am Austrittspunkt des Kompressors
3.16	Zwischenkühlung	Abführung von Wärme aus einem Gas zwischen den Stufen <i>Anmerkung: Ideale Zwischenkühlung liegt vor, wenn die Temperatur des aus dem Zwischenkühler austretenden Gases gleich der Temperatur des Gases am Eintritt der ersten Stufe ist.</i>
3.17	Nachkühlung	Abführung von Wärme aus dem Gas nach Beendigung der Verdichtung
3.18	Theoretisch verdrängter Volumenstrom	Vom Kompressor in der ersten Stufe in der Zeiteinheit theoretisch verdrängtes Volumen
3.19	Schadraum	Volumen innerhalb des Verdichtungsraumes, welcher das am Ende des Verdichtungs Vorganges eingeschlossene Gas enthält.
3.20	Relativer Schadraum	Verhältnis des Schadraums zu dem von dem Verdichtungselement verdrängten Volumen
3.21	Nutzbarer Ansaugvolumenstrom des Verdichters	Nutzbarer Volumenstrom des verdichteten und am Austrittspunkt geförderten Gases, bezogen auf die am Eintrittspunkt herrschenden Bedingungen für die Gesamttemperatur, den Gesamtdruck und die Gaszusammensetzung (z. B. Feuchtigkeit)
3.22	Nutzbarer Ansaugvolumenstrom einer Vakuumpumpe	Nutzbarer Volumenstrom des von der ersten Stufe der Vakuumpumpe angesaugten und verdichteten Gases, bezogen auf die am Eintrittspunkt herrschenden Bedingungen für die Gesamttemperatur, den Gesamtdruck und die Gaszusammensetzung (z. B. Feuchtigkeit) <i>Anmerkung: Es wird normalerweise angenommen, daß die letzte Stufe der Vakuumpumpe gegen einen absoluten Druck von 1 bar fördert.</i>
3.23	Freie Luft	Luft bei atmosphärischen Bedingungen am Aufstellungsort, unbeeinflußt vom Kompressor
3.24	Volumetrischer Wirkungsgrad	Verhältnis des nutzbaren Ansaugvolumenstroms zum theoretisch verdrängten Volumenstrom des Kompressors oder der Vakuumpumpe

¹⁾ Für Vakuumpumpen gilt DIN 28 400 Teil 1

Nr	Benennung	Definition
3.25	Polytroper Prozeß	Verdichtungs- oder Expansionsprozeß eines idealen Gases, bei welchem zwischen Druck und Volumen folgende Beziehung gilt: $p v^n = \text{const.}$ Der Exponent n kann verschiedene Werte annehmen. Als Beispiel beschreibt die Beziehung $p v = \text{const.}$ einen isothermen Prozeß, bei dem die Gastemperatur konstant bleibt. $p v^k = \text{const.}$ beschreibt einen isentropen Prozeß, bei dem die Gasentropie konstant bleibt. <i>Anmerkung: In einigen Ländern wird dieser Prozeß adiabatisch genannt; um aber eine Verwechslung zwischen adiabatischem (kein Wärmeaustausch mit der Umgebung) und umkehrbarem adiabatischem (isentropem) Prozeß zu vermeiden, wird dieser hier isentrop genannt.</i>
3.26	Realgasfaktor (Kompressibilitätsfaktor)	Faktor, der die Abweichung des realen Gases von einem idealen Gas kennzeichnet: $Z = \frac{p \cdot v}{R \cdot T}$
3.27	Wellendrehzahl	Zeitbezogene Anzahl der Umdrehungen der Kompressorantriebswelle
3.28	Ungleichförmigkeit der Wellendrehzahl	Differenz der maximalen und minimalen Momentan-Drehzahlen während einer Zeitspanne dividiert durch das arithmetische Mittel dieser beiden Werte. $\text{Ungleichförmigkeit der Wellendrehzahl} = 2 \frac{N_{\max} - N_{\min}}{N_{\max} + N_{\min}}$
3.29	Ideale mehrstufige Verdichtung	Sie ist gegeben, wenn ein ideales Gas isentrop verdichtet wird und wenn die Gaseintrittstemperatur und die aufgewendete Verdichtungsarbeit für jede Stufe gleich sind.
3.30	Isothermer Leistungsbedarf	Theoretisch aufzuwendende Leistung, um ein Gas bei konstanter Temperatur in einem Kompressor verlustfrei von einem gegebenen Eintrittsdruck auf einen gegebenen Austrittsdruck zu verdichten.
3.31	Isentroper Leistungsbedarf	Theoretisch aufzuwendende Leistung, um ein Gas bei konstanter Entropie von einem gegebenen Eintrittsdruck auf einen gegebenen Austrittsdruck zu verdichten. Bei mehrstufiger Verdichtung wird der theoretisch aufzuwendende isentrope Leistungsbedarf unter Annahme idealer Bedingungen errechnet.
3.32	Leistungsbedarf (Kupplungsleistung)	An der Antriebswelle des Kompressors aufzuwendende Leistung. Verluste in Übertragungselementen außerhalb des Kompressors, wie Zahnradgetrieben und Riementrieben, sind nicht eingeschlossen sofern diese nicht laut Liefervertrag zum Lieferumfang gehören.
3.33	Indizierte Leistung	Aus Indikatordiagrammen errechnete Leistung
3.34	Mechanischer Wirkungsgrad	Verhältnis der indizierten Leistung zum Leistungsbedarf
3.35	Spezifischer Leistungsbedarf	Leistungsbedarf je Einheit des nutzbaren Ansaugvolumenstroms des Kompressors
3.36	Isothermer Wirkungsgrad	Verhältnis des isothermischen Leistungsbedarf für ein Gas zum Leistungsbedarf
3.37	Isentroper Wirkungsgrad	Verhältnis des isentropischen Leistungsbedarfs für ein Gas zum Leistungsbedarf
3.38	Treibstoff- (oder Dampf-)Bedarf	Massenstrom des von der Antriebsmaschine verbrauchten Treibstoffs (oder Dampfes)
3.39	Spezifischer Treibstoff- (oder Dampf-)Bedarf	Verhältnis des Treibstoff- (oder Dampf-)Bedarfs zum nutzbaren Ansaugvolumenstrom des Kompressors
3.40	Verhältnis der Temperaturerhöhung	Verhältnis der isentropen Temperaturerhöhung zu der während der Verdichtung gemessenen Gesamterhöhung der Temperatur

4 Formelzeichen und Einheiten

Das Verzeichnis ist nach folgenden sieben Grundsätzen aufgestellt:

- Für die gleichen Größen sind unabhängig vom Einheitensystem die gleichen Zeichen zu verwenden.
- Für jede Größe ist nur ein Zeichen zu verwenden, gegebenenfalls mit Indizes zur Kennzeichnung weiterer Meßwerte neben dem ersten.
- Zur Kennzeichnung eines gegebenen Begriffs sind unabhängig von der Anzahl der vorkommenden Einzelwerte die gleichen Zeichen zu verwenden.
- Zur Kennzeichnung von Werten für besondere Bedingungen sind Buchstabenindizes zu verwenden.
- Zur Kennzeichnung von Werten für verschiedene Punkte eines Kreislaufs sind Zahlenindizes zu verwenden.
- Die Verwendung von Zeichen ist so weit wie möglich auf lateinische Buchstaben zu beschränken.
- Für absolute Größen sind so weit wie möglich große Buchstaben zu verwenden.

Es werden folgende Formelzeichen zur Benutzung empfohlen:

4.1 Lateinische Formelzeichen

Formelzeichen	Benennung	Einheit	Formelzeichen	Benennung	Einheit
A	Fläche	m^2	p	Druck	bar, mbar
c	Geschwindigkeit	m/s	R	Gaskonstante	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
c_p, c_v	Spezifische Wärmekapazität	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	Re	Reynolds-Zahl	—
c	Relativer Schadraum	—	s	Spezifische Entropie	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
d	Öffnungsdurchmesser des Drosselgeräts bei Betriebsbedingungen	mm	t	Temperatur	$^{\circ}\text{C}$
D	Innendurchmesser der Meßrohrleitung bei Betriebsbedingungen	mm	t	Zeit	s, min, h
f	Frequenz	Hz	T	Thermodynamische Temperatur	K
F	Spezifischer Treibmittelverbrauch	g/m^3	U	Ablesewert	fallweise
g	Örtliche Fallbeschleunigung	m/s^2	v	Spezifisches Volumen	m^3/kg
H	Heizwert	kJ/kg	V	Volumen, z. B. des Leitungssystems zwischen Kompressor und Durchflußmeßeinrichtung	m^3
h	Spezifische Enthalpie	J/kg	$\dot{V}$	Volumenstrom	m^3/s , m^3/min , m^3/h
Ho	Hodgson-Zahl	—	w	Spezifischer Leistungsbedarf	$\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$, J/l
j	Unterbrechungsgrad	—	W	Arbeit/Energie	$\text{kW} \cdot \text{h}$
k	Absolute Rauheit	mm	x	Absolute Feuchte (bezogen auf trockenes Gas)	kg/kg
K	Korrekturfaktor	—	Y	Spezifische Verdichtungsarbeit	J/kg
m	Öffnungsverhältnis $m = A_d/A_D = d^2/D^2$	—	Z	Realgasfaktor	—
m	Masse	kg	z	Anzahl der durch Zwischenkühler getrennten Stufen- gruppen	—
$\dot{m}$	Massenstrom	kg/s , kg/h			
M	Molare Masse	kg/mol			
N	Drehzahl	s^{-1} oder min^{-1}			
n	Polytrophenexponent	—			
P	Leistung	W , kW			

4.2 Griechische Formelzeichen

Formelzeichen	Benennung	Einheit
α	Durchflußzahl	—
β	Durchmesserverhältnis $\beta = d/D$	—
δ	Relative Dichte	—
ε	Expansionszahl	—
φ	Relative Feuchte	—
η	Wirkungsgrad	—
η	Dynamische Viskosität	N · s/m ²
φ	Phasenwinkel	Grad
κ	Isentropenexponent ²⁾ (nach DIN 1304)	—
π	Druckverhältnis	—
ρ	Dichte	kg/m ³
τ	Toleranz/relatives Meßspiel	—
ν	Kinematische Viskosität	m ² /s

²⁾ Bei idealen Gasen haben das Verhältnis der spezifischen Wärmekapazitäten und der Isentropenexponent den gleichen Wert.

4.3 Indizes

Zeichen	Bedeutung
0	Umgebungsbedingungen
1	Bedingung am Eintrittspunkt
2	Bedingung am Austrittspunkt
3	Bedingung vor der Durchflußmeßeinrichtung
4	Bedingung hinter der Durchflußmeßeinrichtung
I, II, III ... z	Stufen in Strömungsrichtung
B	Barometrisch
D	Dampf
D	Durchmesser
f	feucht
G	Gas
g	Garantie
I	Stromstärke
j	Nummer der Stufe (j = I, II, III ... z)
m	Mittelwert
max	Maximalwert
min	Minimalwert
p	Druck
r	Ablesewert

4.3 Indizes (Fortsetzung)

Zeichen	Bedeutung
Re	Reynolds-Zahl
s	isentrop
T	isotherm
Tr	Treibstoff
U	Spannung
um	umgerechnet
ang	angenähert
V	Volumen
v	Versuch
W	Wasser

Die Indizes 1, 2, 3, I, II, III usw. sowie a, b, c usw. werden zusätzlich zur Unterscheidung zwischen verschiedenen Größen gleicher Art benutzt, wie aus den folgenden Abschnitten hervorgeht.

5 Meßeinrichtung und -verfahren

Die Einrichtungen und Verfahren, die in diesem Abschnitt aufgeführt sind, sind nicht allumfassend und sollen die Anwendung anderer Einrichtungen mit gleicher oder größerer Genauigkeit nicht einschränken.

5.1 Messung der Temperatur

5.1.1 Die Temperatur ist mit kalibrierten Geräten zu messen, wie z. B. mit Thermometern, thermoelektrischen Meßgeräten, Widerstandsthermometern oder Thermistoren, die in das Rohr direkt oder in Thermometertaschen eingesetzt werden.

5.1.2 Quecksilber-Glas-Thermometer sollen eine geätzte Skale haben.

5.1.3 Die Eintrittstemperaturen des Gases und des Kühlmittels müssen mit einer Fehlergrenze von ± 1 K ermittelt werden.

Handelsübliche oder industrielle Thermometer in Metallhüllen sind nicht für Temperaturmessungen zu verwenden, die einen Einfluß auf die Garantieverfüllung haben können.

5.1.4 Die Gaseintrittstemperatur ist in der Nähe des Eintrittsflansches oder -stutzens zu messen, jedoch in ausreichender Entfernung, so daß Strahlungs- und Leitungsfehler vermieden werden.

5.1.5 Thermometertaschen sollen so dünn und ihr Durchmesser so klein wie praktisch möglich sein; die Außenfläche soll im wesentlichen frei sein von Korrosions- oder Oxidationserscheinungen.

5.1.6 Die Thermometer oder deren Taschen sollen 100 mm oder wenigstens ein Drittel des Rohrdurchmessers in das Rohr hineinragen, je nachdem, welcher Wert der kleinere ist.

5.1.7 Zum Ablesen darf das Thermometer nicht aus dem zu messenden Gas oder bei Verwendung einer Tasche aus dieser gezogen werden.

5.1.8 Der Temperaturmeßwert ist unter Berücksichtigung der herausragenden Fadenlänge nach folgender Formel zu berichtigen:

$$t_w = t_a + n \gamma (t_a - t_f) \quad (1)$$

Hierin bedeuten:

- t_w die wahre Temperatur
- t_a die abgelesene Temperatur
- t_f die mittlere Temperatur der herausragenden Flüssigkeitssäule
- n die Länge der herausragenden Flüssigkeitssäule in Kelvin
- γ der scheinbare Ausdehnungskoeffizient der Thermometerflüssigkeit
($\gamma = 1/6300$ für Quecksilber-Glas-Thermometer)

5.1.9 Es sind Vorkehrungen zu treffen, die sicherstellen:

- a) daß die unmittelbare Umgebung der Einbaustelle und die herausragenden Teile des Anschlusses gut gedämmt sind, so daß die Tasche genau die gleiche Temperatur aufweist wie das zu messende Gas,
- b) daß der Fühler jeder Temperaturmeßvorrichtung oder Thermometertasche vom Gas gut umspült wird (der Temperaturfühler soll hierbei gegen den Gasstrom gerichtet sein; in Ausnahmefällen kann er senkrecht zum Gasstrom angeordnet werden),
- c) daß die Thermometertasche die Gasströmung nicht behindert.

5.1.10 Thermoelemente sollen möglichst ein geschweißte Verbindungsstelle haben und sind zusammen mit ihren Ausgleichleitungen innerhalb des zu erwartenden Arbeitsbereichs zu kalibrieren. Sie sollen aus Werkstoffen bestehen, die für die zu messenden Temperaturen und das Gas geeignet sind.

Bei Einsatz von Thermoelementen in Thermometertaschen ist die Heißblötstelle des Thermoelements wenn möglich an den Boden der Tasche anzuschweißen.

5.2 Messung des Drucks

5.2.1 Allgemeines

- a) Die Druckmeßstellen am Rohr oder Behälter sind senkrecht zur und mit der inneren Wandung bündig abschließend anzuordnen.

A n m e r k u n g : Bei niedrigen Drücken oder hohen Strömungsgeschwindigkeiten ist zu beachten, daß geringe Unebenheiten wie z. B. Grate zu schwerwiegenden Meßfehlern führen können.

- b) Die Anschlußleitungen zu den Druckmeßgeräten sind so kurz wie möglich zu halten. Die Dichtheit ist (z. B. mit Seifenlösung) zu prüfen und alle Leckstellen sind zu beseitigen.
- c) Um die Kapillarwirkung in den Rohrleitungen auf ein Mindestmaß zu beschränken, sollen für Anschlußleitungen die lichten Weiten mit 6 mm für Druckmeßgeräte und 10 mm für Vakuummeter nicht unterschritten werden.
Die Anschlußrohrleitungen sind so zu verlegen, daß Schleifen, in denen Dampf kondensieren kann, vermieden werden.
- d) Die Meßgeräte sind frei von nachteiligen Erschütterungen anzubringen.
- e) Der Skalendurchmesser und die Skaleneinteilung sollen genaue Ablesungen innerhalb 0,5 % des Druckmeßwertes gestatten. Kolbendruckmeßgeräte sollen eichfähige Gewichtstücke haben, die eine Meßunsicherheit von 0,2 % des Skalenendwertes des Druckmeßgerätes haben.
- f) Der Gesamtdruck ist die Summe aus dem statischen und dynamischen Druck. Er ist mit einem parallel zu seiner Achse angeströmten Staurohr zu messen.

Dynamische Drücke von weniger als 5 % des Gesamtdrucks sind auf der Grundlage einer errechneten mittleren Geschwindigkeit zu ermitteln.

- g) Übersteigen die in der Ansaug- oder Druckleitung gemessenen Amplituden der Druckwellen den herrschenden mittleren absoluten Druck um 10 %, so ist die Rohrleitungsführung zu verbessern, bevor der Versuch fortgesetzt wird.
Übersteigen die Amplituden der Druckwellen 10 % des vertraglich festgelegten mittleren Ansaug- oder Enddrucks, so darf ein Versuch nach den Regeln dieser Norm nicht durchgeführt werden, es sei denn, daß die Vertragspartner diesem Versuch schriftlich zugestimmt haben.
- h) Röhrenfederdruckmeßgeräte sind unter Verwendung von Kolbendruckmeßgeräten vor und nach dem Versuch unter den gleichen Druck- und Temperaturbedingungen, wie sie während des Versuchs vorliegen, zu kalibrieren.
- i) Kolbendruckmeßgeräte sind auf Leichtgängigkeit des Kolbens zu prüfen. Der Durchmesser des Kolbens ist zu messen, und die Gewichtstücke sind mit geeichten Normalgewichten zu vergleichen.
- j) Die Meßwerte von Flüssigkeitssäulen und Kolbendruckmeßgeräte sind unter Berücksichtigung der Fallbeschleunigung am Aufstellungsort des Meßgerätes umzurechnen.
- k) Die Meßwerte von Flüssigkeitssäulen sind unter Berücksichtigung der Umgebungstemperatur umzurechnen.
- l) Bei pulsierender Strömung ist ein Ausgleichsbehälter mit Eintrittsdrosselung zwischen Druckmeßstelle und Druckmeßgerät anzuordnen.
- m) Schwingungen der Druckmeßgeräteeinblendung dürfen nicht durch Drosselung mit einem Ventil herabgesetzt werden.

5.2.2 Niedrige Drücke (bis 2 bar)

- a) Der atmosphärische Druck ist mit einem auf 0,5 mm genau abzulesenden Quecksilberbarometer zu messen. Die Temperatur zur Umrechnung der Barometermeßwerte ist auf 1 K genau abzulesen.
Siedebarenometer oder Präzisionsfederbarometer können ebenfalls benutzt werden; ihre Meßunsicherheit ist jedoch zu prüfen.
Ist ein zuverlässiges Barometer nicht verfügbar, so sind als Annäherung Aufzeichnungen der nächstliegenden Wetterwarte zu verwenden und unter Berücksichtigung des Höhenunterschieds zwischen der Wetterwarte und dem Kompressorstandort umzurechnen.
- b) Bei Schrägrohrmanometern und anderen, die Ablesegenauigkeit erhöhenden Meßgeräten ist vor ihrem Einsatz das Verhältnis zwischen Skalenmeßwert und wahrer Wassersäulenhöhe durch kalibrieren mit einem unmittelbar anzeigenden Manometer angemessener Empfindlichkeit zu bestimmen.
Die Neigung gegen die Waagerechte und die Dichte der Manometerflüssigkeit müssen die gleichen Werte wie bei der Kalibrierung haben.
- c) Für alle Drücke von 2 bar absolut und kleiner sind Manometer, Flüssigkeitssäulen oder Vakuummeter zu verwenden.

Manometer oder Flüssigkeitssäulen für die Messung niedriger Drücke sollen Glasrohre von ausreichender lichter Weite sowie eine gut erkennbare Skaleneinteilung besitzen, die ein Ablesen der Flüssigkeitssäule auf 1 mm erlaubt.

Die Manometer sind mit einer beständigen Flüssigkeit von bekannter Dichte zu füllen.

5.2.3 Normale und hohe Drücke (über 2 bar)

Für Drücke über 2 bar absolut sind kalibrierte Röhrenfeder- oder Kolbenmanometer, Quecksilbermanometer oder gleichwertige Meßgeräte zu verwenden.

5.2.4 Eintrittsdruck

Der Eintrittsdruck von Luftkompressoren ohne Ansaugrohr ist mit einem Barometer zu messen.

Ist ein Ansaugrohr vorhanden, so ist der Druck mit einem geeigneten Meßgerät zu bestimmen. Das für den Versuch verwendete Ansaugrohr muß die gleichen Abmessungen haben wie die für die Aufstellung des Kompressors vorgesehene Leitung.

Bei pulsierender Strömung ist ein Ausgleichbehälter mit Eintrittsdrosselung zwischen Manometer und Ansaugrohr vorzusehen (siehe auch Abschnitt 5.2.1 Aufzählung l und m).

Der Eintrittsdruck von Vakuumpumpen kann mittels Flüssigkeitssäulen oder Manometern in einem geraden Rohrabschnitt möglichst nahe am Eintrittsflansch des Kompressors bestimmt werden.

5.2.5 Druck am Zwischenkühler

Der Druck am Zwischenkühler ist mindestens am Kühleraustritt zu messen. Eine Meßunsicherheit von $\pm 1\%$ ist zulässig.

5.2.6 Austrittsdruck

Die Druckmeßstelle ist nahe am Austrittspunkt des Kompressors anzuordnen, gegebenenfalls an einem Pulsationsdämpfer mit einer dem Manometer vorgeschalteten Drosselvorrichtung.

5.2.7 Differenzdruck

Die Messung des Differenzdruckes an der Durchflußmeßeinrichtung erfolgt nach DIN 1952.

5.3 Ermittlung des nutzbaren Volumenstroms aus dem gelieferten Volumenstrom

Wenn möglich, ist der nutzbare Volumenstrom eines Kompressors aus der Messung des gelieferten Volumenstroms zu berechnen.

Die Messung ist wie in DIN 1952 angegeben durchzuführen. Es ist erforderlich, sicherzustellen, daß während der Dauer der Messung die in DIN 1952 festgelegten Bedingungen eingehalten werden. (Für Messungen bei pulsierender Strömung siehe Anhang A, Abschnitt A.1.)

5.4 Ermittlung des nutzbaren Volumenstroms aus dem angesaugten Volumenstrom

Die Bestimmung des angesaugten Volumenstroms ist Gegenstand der Prüfung einer Vakuumpumpe. Wenn möglich, ist der nutzbare Volumenstrom aus einer direkten Messung zu berechnen.

Zur Messung des nutzbaren Volumenstroms eines Kompressors ist die Messung des angesaugten Volumenstroms anzuwenden, wenn die Messung des gelieferten Volumenstroms nicht möglich ist und wenn die Leckverluste gesondert gemessen werden können.

Die Messung des angesaugten Volumenstroms ist wie in DIN 1952 angegeben durchzuführen. Es ist erforderlich, sicherzustellen, daß während der Dauer der Messung die in DIN 1952 festgelegten Bedingungen eingehalten werden. (Für Messungen bei pulsierender Strömung siehe Anhang A, Abschnitt A.5.)

5.5 Messung der Leistung

5.5.1 Die Messung der Leistung oder des Energiebedarfs der Antriebsmaschine ist nach den entsprechenden Regeln durchzuführen.

5.5.2 Die Leistungsaufnahme ist möglichst mit Pendelmotoren zu messen.

5.5.3 Pendelmotoren dürfen im Bereich von weniger als einem Zehntel ihres Nenndrehmoments nicht verwendet werden.

5.5.4 Torsionsdynamometer sind nach dem Versuch zu kalibrieren, wobei das Torsionselement die gleiche Temperatur wie während des Versuchs haben soll. Die Kalibrierung ist so durchzuführen, daß sich die Anzeigevorrichtungen an ihrer richtigen Stelle befinden. Es ist eine Meßreihe mit steigendem Drehmoment aufzunehmen, wobei Vorkehrungen zu treffen sind, daß während dieser Meßreihe das Drehmoment auf keinen Fall abnimmt. In gleicher Weise darf bei Meßreihen mit abnehmender Belastung die Belastung nicht zunehmen.

Für die Berechnung der Leistung ist der durch die Kalibrierung bestimmte Mittelwert von zunehmenden und abnehmenden Belastungen zugrunde zu legen. Beträgt die Differenz des Drehmoments zwischen zunehmenden und abnehmenden Belastungen mehr als 1% , so ist das Dynamometer ungeeignet.

5.5.5 Bei Kompressoren mit elektrischem Antrieb ist die Leistungsaufnahme an der Welle durch Messung der Klemmenleistung und Multiplizieren mit dem Motorwirkungsgrad zu bestimmen. Hierzu sind ausschließlich Präzisionsmeßgeräte zu benutzen. Neben der Leistung sind Spannung und Strom zu messen. Die Spannungsspulen der Meßgeräte sind, wenn möglich, unmittelbar an den Anschlußklemmen des Motors anzuschließen, damit die Messung nicht durch Spannungsverluste im Kabel beeinträchtigt wird. Bei Verwendung von Meßinstrumenten mit Fernanzeige sind die Spannungsverluste gesondert zu bestimmen und zu berücksichtigen (siehe VDE 0410).

5.5.6 Bei Drehstrommotoren ist die Zwei-Wattmeter-Methode oder ein anderes Verfahren gleicher Genauigkeit anzuwenden.

5.5.7 Strom- und Spannungswandler sind so auszuwählen, daß sie so nahe wie möglich in ihrer Nennbelastung arbeiten, so daß ihr relativer Fehler auf ein Mindestmaß beschränkt wird. Für Kontrollzwecke kann sich der Anschluß eines kalibrierten kWh-Zählers an den Stromkreis während des Versuchs als zweckmäßig erweisen.

5.5.8 Wenn nicht andere zuverlässige Angaben vorliegen, sind als Grundlage für den Wirkungsgrad von Übersetzungsgetrieben folgende Angaben zu verwenden:

- für einwandfrei geschmierte Präzisionszahnradgetriebe 98 % je Stufe bei Nennlast
- für Flachriementriebe 97 % je Stufe bei Nennlast
- für Keilriementriebe 95 % je Stufe bei Nennlast

5.6 Messung der Drehzahl

Wenn möglich, ist die Drehzahl mit elektronischen Frequenzählern zu messen. Die Gesamtanzahl der Kompressorumdrehungen kann während des Versuchs mit einem schlupffrei arbeitenden Umdrehungszähler angezeigt und gleichzeitig die Zeit genau gemessen werden.

Bei Synchronmotorantrieb kann der Umdrehungszähler durch eine Synchronuhr ersetzt werden.

Bei Asynchronmotorantrieb können die Netzfrequenz und der Schlupf gemessen werden.

5.7 Andere Messungen

5.7.1 Gaszusammensetzung

Werden Versuche mit anderen Gasen als Luft durchgeführt, so sind die chemische Zusammensetzung und die physikalischen Eigenschaften des im Verlauf des Versuchs vom Kompressor angesaugten Gases zu bestimmen und erforderlichenfalls in regelmäßigen Zeitabständen zu kontrollieren.

5.7.2 Feuchte

Enthält das verdichtete Gas Feuchtigkeit, so ist die relative Feuchte während des Versuchs zu kontrollieren.

Bei Versuchen mit offenem Leitungsnetz sind die Temperaturen am trockenen und feuchten Thermometer mit einem Assmann-Psychrometer oder einem anderen Meßgerät gleicher Meßunsicherheit zu messen. Der Feuchtegehalt wird dann einer Psychrometertabelle oder einem Enthalpie-Feuchte-Diagramm entnommen.

Bei Versuchen mit einem geschlossenen Leitungsnetz ist die Feuchte mit einem Taupunkthygrometer oder einem Assmann-Psychrometer oder einem anderen Meßgerät gleicher Meßunsicherheit zu messen.

Die Feuchte ist möglichst am Eintrittspunkt zu messen. Ist dies nicht möglich, so ist die Feuchte zu schätzen.

5.7.3 Kühlmittelstrom

Der Kühlmittelstrom wird am besten mit Hilfe eines Behälters bekannten Volumens und einer Stoppuhr oder einem kalibrierten Durchflußmesser bestimmt. Die Messung kann auch mit einer Blende oder Düse nach DIN 1952 erfolgen.

5.7.4 Kondensat

Vor und nach jedem Versuch ist das Kondensat aus den Zwischenkühlern und deren Wasserabscheidern abzulassen. Das abgeschiedene Kondensat ist für jeden einzelnen Kühler durch Wägen zu ermitteln und durch die Zeit zwischen den Entnahmen zu teilen. Diese Messung muß vorsichtig ausgeführt werden, so daß der Beharrungszustand des Kompressors in keiner Weise gestört wird.

Anmerkung: Vor der Messung ist mitgerissenes Öl vom Kondensat zu trennen.

Bei Verwendung von Wasserabscheidern ist deren Abscheidungsgrad zu bestimmen.

Das in Nachkühlern, Behältern und an anderen Stellen hinter dem Austrittsflansch angesammelte Kondensat ist zu messen.

6 Vorbereitung der Maschine und der Versuchseinrichtung

6.1 Allgemeines

6.1.1 Vor Beginn der Abnahmeversuche ist der Kompressor zu untersuchen, ob er sich in einem für die Durchführung eines Abnahmeversuchs geeigneten Zustand befindet. Alle äußeren Undichtigkeiten sind zu beseitigen; besonders das Rohrleitungsnetz ist auf Undichtigkeiten zu untersuchen.

6.1.2 Alle unbenutzten Leitungsanschlüsse sind mit Blindflanschen zu verschließen. Wenn dies nicht möglich ist, sind die Anschlüsse an geeigneten Stellen zu unterbrechen, um eine ständige Kontrolle der Auslässe zu ermöglichen. Um einwandfreie Versuchsergebnisse sicherzustellen, darf eine Ansaugleitung jeweils nur für einen Kompressor benutzt werden.

6.1.3 Alle Teile, in denen sich Ablagerungen festsetzen können, insbesondere die Kühler, müssen auf der Gas- und auf der Kühlmittelseite sauber sein.

6.2 Aufbau der Versuchseinrichtung

Der Aufbau der Meßvorrichtungen ist in den entsprechenden Unterabschnitten von Abschnitt 5 beschrieben. Genauere Angaben finden sich in

Abschnitt 5.1 für die Temperatur und in Abschnitt 5.2 für den Druck.

6.3 Kalibrierung der Meßgeräte

Protokolle über die Kalibrierung der Meßgeräte müssen vor dem Versuch vorliegen.

Eine Kalibrierung im Anschluß an den Versuch ist bei den wichtigsten Meßgeräten vorzunehmen, bei denen während des Versuchs eine Veränderung der Kalibrierung infolge der Anwendung zu erwarten ist.

Jede Veränderung der Meßgerätekalibrierung, welche über die Genauigkeitsklasse des Meßgeräts hinausgehende Abweichungen zur Folge hat, kann Anlaß zur Beanstandung des Versuchs geben.

7 Der Versuch

7.1 Allgemeine Regeln zur Durchführung des Versuchs

Vorversuche sind zu folgenden Zwecken vorzunehmen:

- a) Nachweis des für die Durchführung eines Abnahmeversuchs geeigneten Zustands des Kompressors und der zugehörigen Anlageteile.
- b) Kontrolle der Meßgeräte
- c) Einarbeitung des Versuchspersonals

Ein Vorversuch kann nach Vereinbarung dann als Abnahmeversuch angenommen werden, wenn alle Voraussetzungen für einen Abnahmeversuch erfüllt wurden.

7.1.1 Im Verlauf des Versuchs sind alle Messungen durchzuführen, die irgendwelche Bedeutung für die Leistung des Kompressors haben. In den folgenden Unterabschnitten wird die Bestimmung des nutzbaren Volumensstroms und des Leistungsbedarfs des Kompressors ausführlich behandelt.

7.1.2 Die Messungen sind von fachkundigen Personen mit der in Abschnitt 5 beschriebenen Meßeinrichtung durchzuführen.

7.1.3 Die Versuchsbedingungen sollen so nahe wie überhaupt möglich bei den Garantiebedingungen liegen; Abweichungen hiervon dürfen die in Abschnitt 9.1.6 festgelegten Grenzen nicht überschreiten.

Ist ein Versuch an einem Kompressor mit dem vom Käufer geforderten Gas oder innerhalb der in Abschnitt 9.1.6 festgelegten Grenzen nicht durchführbar, so sind zwischen Käufer und Hersteller besondere Versuchsbedingungen oder besondere Umrechnungen zu vereinbaren.

7.1.4 Die Regelvorrichtung ist während des Versuchs in der für den jeweiligen Garantiepunkt erforderlichen Stellung zu belassen.

7.1.5 Das Schmiermittel, die Einstellung der Schmiermittelpumpe oder andere zur Schmierung dienende Einrichtungen müssen während des Versuchs den Betriebsanweisungen entsprechen. Das gleiche gilt für Sperrmittel.

7.1.6 Während des Versuchs dürfen keine Einstellungen vorgenommen werden außer solchen, die für die Einhaltung der Versuchsbedingungen und für den normalen Betrieb laut Betriebsanweisung erforderlich sind.

7.1.7 Vor Beginn der Ablesungen der Meßwerte soll der Kompressor lange genug laufen, um sicherzustellen, daß der Beharrungszustand erreicht ist, so daß während des

Versuchs keine systematischen Veränderungen beim Ablesen der Meßgeräte auftreten.

Sollten sich jedoch systematische Veränderungen auf Grund der Versuchsbedingungen nicht vermeiden lassen oder falls Einzelablesungen großen Schwankungen unterworfen sein sollten, so ist die Anzahl der Ablesungen zu erhöhen und dies bei der Berechnung der Meßspiele entsprechend zu berücksichtigen.

7.1.8 Für jeden Garantiepunkt sind zwei Versuche durchzuführen. Jeder Versuch muß eine ausreichende Anzahl von Ablesungen umfassen, um nachzuweisen, daß der Beharrungszustand erreicht wurde. Anzahl und zeitlicher Abstand der Ablesungen sind so zu wählen, daß eine ausreichende Genauigkeit erzielt wird.

7.1.9 Nach dem Versuch sind die Kompressoranlage und die Meßeinrichtung zu überprüfen. Sollten irgendwelche Fehler festgestellt werden, die möglicherweise die Versuchsergebnisse beeinflusst haben könnten, so ist nach Behebung der Fehler ein weiterer Versuch durchzuführen.

7.2 Auswertung der Meßwerte

Vor der Auswertung sind die aufgezeichneten Meßwerte daraufhin zu untersuchen, ob die Schwankungen der Meßwerte während eines Versuchs die in Abschnitt 9.1.6 festgelegten Grenzen nicht überschreiten.

7.2.1 Alle gültigen Meßwerte eines Versuchs sollen aufeinanderfolgend sein.

7.2.2 Ablesereihen mit übermäßigen Schwankungen können verworfen werden, jedoch nur am Anfang und Ende eines Versuchslaufes. Alle Meßwerte einer Reihe sind möglichst gleichzeitig aufzunehmen.

7.2.3 Die Feuchte ist nach Abschnitt 5.7.2 am Eintrittspunkt zu bestimmen.

Die Feuchte für die einzelnen Kompressorstufen und am Durchflußmeßgerät ist dann aus Kondensatmessungen zu bestimmen.

7.2.4 Zur Bestimmung des nutzbaren Volumenstroms, d. h. der Strömung durch die Meßanordnung, kann die Feuchte hier gesondert gemessen werden. Diese Messung dient auch zur Kontrolle der Feuchtemeßwerte nach Abschnitt 7.2.3.

8 Berechnung der Versuchsergebnisse

8.1 Die Versuchsergebnisse sind mit Ausnahme der Strömungsmessungen aus den arithmetischen Mittelwerten der gültigen Meßwerte zu berechnen (siehe Abschnitt 7.2).

8.2 Die Bestimmung des Volumenstroms erfolgt nach Abschnitt 5.3 oder 5.4.

8.3 Wenn das zu messende Gas warm oder kalt ist, tritt je nach dem verwendeten Werkstoff und der Temperaturdifferenz eine Ausdehnung oder Zusammenziehung der Meßvorrichtung auf. Der Durchflußquerschnitt der Meßvorrichtung ist daher umzurechnen.

8.4 Ist das verdichtete Gas nicht trocken, so ist bei der Umrechnung des spezifischen Leistungsbedarfs der Einfluß der Feuchte zu berücksichtigen.

8.5 Den effektiven Ansaugvolumenstrom erhält man durch Umrechnung des gemessenen Gasstroms beim Durchgang durch die Meßvorrichtung auf die Bedingungen am Eintrittspunkt unter Berücksichtigung etwaiger Feuchteabscheidung.

8.6 Zwischen dem Eintrittspunkt und der Meßvorrichtung kondensierter Dampf ist dem gemessenen Massenstrom zuzurechnen, um den Massenstrom am Eintrittspunkt zu erhalten.

Anschließend wird der Volumenstrom am Eintrittspunkt aus dem Massenstrom an diesem Punkt berechnet. Das ist der effektive Ansaugvolumenstrom.

8.7 Bei einigen druckentlastenden Systemen wird bei Teillast warmes Gas von der entlasteten Kolbenseite zum Eintritt abgeblasen. Dadurch wird die Eintrittstemperatur bei Teillast höher als bei Vollast, wodurch der nutzbare Ansaugvolumenstrom scheinbar einen größeren Wert erreicht. In derartigen Fällen ist daher der Teillastvolumenstrom mit der für Vollast gültigen Eintrittstemperatur zu berechnen.

9 Umrechnung der Versuchsergebnisse

9.1 Allgemeines

9.1.1 Die Versuchsbedingungen stimmen nie genau mit den Bedingungen für den Volumenstrom und den spezifischen Leistungsbedarf überein, die für die vertraglichen Bedingungen auf Grund des Angebots oder der Bestellung angenommen wurden. Daher sind vor dem Vergleich der Versuchsergebnisse mit den Werten des Liefervertrags Umrechnungen vorzunehmen.

9.1.2 Der Versuchsleiter soll sich immer bemühen, die Abweichungen der Versuchsbedingungen von den vertraglich festgelegten Bedingungen so gering wie möglich zu halten, da jede Umrechnung die Unzuverlässigkeit des Endergebnisses erhöht. Wie in Abschnitt 9.1.1 bereits erwähnt, können Umrechnungen notwendig sein, um einen genauen Vergleich zwischen Versuchsergebnissen und den Werten des Liefervertrags zu ermöglichen.

9.1.3 Können die vertraglich festgelegten Betriebsbedingungen nicht eingehalten werden, so ist der Einfluß der Betriebsbedingungen auf die Leistung des untersuchten Kompressors durch eine Variation der Versuchsbedingungen zu bestimmen, so daß das Ergebnis jeder Umrechnung auf die vertraglich festgelegten Betriebsbedingungen durch Interpolation oder in extremen Fällen durch Extrapolation bestimmt werden kann.

Wenn dies Schwierigkeiten bereitet, so sind die in diesem Abschnitt aufgeführten Umrechnungsverfahren anzuwenden.

9.1.4 Für den Fall, daß die Versuchsbedingungen von den Garantiebedingungen abweichen, sieht die vorliegende Norm eine Berichtigung des nutzbaren Volumenstroms und des spezifischen Leistungsbedarfs innerhalb der in Abschnitt 9.1.6 festgelegten Grenzen vor. Der nutzbare Volumenstrom ist auf Abweichungen der Wellendrehzahl, des Druckverhältnisses, des Isentropenexponenten, der Feuchte und der Kühlmitteltemperatur umzurechnen. Der spezifische Leistungsbedarf ist auf Abweichungen des Eintrittsdrucks, des Isentropenexponenten, des Druckverhältnisses, der Kühlmitteltemperatur, der Feuchte und der Wellendrehzahl umzurechnen.

Anmerkung: Weitere Umrechnungen, wie für den Realgasfaktor, können gegebenenfalls vorgenommen werden.

9.1.5 Bei Prozeßgaskompressoren, bei denen bestimmte Mengen eines verdichteten Gases zwischen den Stufen zu- oder abgeführt werden, ist der spezifische Leistungsbedarf ohne Sinn und ist durch den Leistungsbedarf an der Kompressorwelle zu ersetzen.

9.1.6 Die maximal zulässigen Abweichungen zwischen den Versuchswerten und den vertraglich festgelegten Werten sowie die maximal zulässigen Schwankungen um den Mittelwert jeder Meßreihe sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1. Während des Abnahmeversuchs zulässige Abweichungen der Betriebsbedingungen von den Garantiebedingungen und zulässige Schwankungen um den Mittelwert jeder Meßreihe

Veränderlicher Meßwert		max. zul. Abw.	max. zul. Schwankung um den Mittelwert jeder Meßreihe
Ansaugdruck	p_1	$\pm 8 \%$	$\pm 0,5 \%$
Druckverhältnis	π	$\pm 5 \%$	$\pm 0,5 \%$
Ansaugtemperatur	t_1	3)	$\pm 2 \text{ K}$
Absolute Feuchte	x	3)	$\pm 5 \%$
Isentropenexponent	κ	$\pm 3 \%$	3)
Gaskonstante	R	$\pm 2 \%$	3)
Wellendrehzahl	N	$\pm 4 \%$	$\pm 1 \%$
Differenz zwischen Kühlmittel- und Gastemperatur		$\pm 10 \text{ K}$	$\pm 2 \text{ K}$
Kühlmittelmassenstrom		$\pm 10 \%$	$\pm 10 \%$
Temperatur an der Düse oder Blende		3)	$\pm 2 \text{ K}$
Druckdifferenz an der Düse oder Blende		3)	$\pm 3 \%$
Netzspannung		$\pm 5 \%$	$\pm 2 \%$
Netzfrequenz		$\pm 1 \%$	$\pm 0,5 \%$
3) Nicht festgelegt			

Anmerkung:

- Der Versuch ist als gültig anzuerkennen, wenn die Abweichung von einer vertraglich festgelegten Bedingung beim Versuch gleich oder kleiner ist als die Summe von maximal zulässiger Abweichung und dem Meßspiel.
- Wenn die Abweichungen aus den Versuchsbedingungen eine Abweichung von mehr als 8 % für den spezifischen Leistungsbedarf ergeben, so liegt der Versuch nicht mehr innerhalb der zulässigen Grenzen.
- Siehe auch Abschnitt 5.2.1 Aufzählung g
- Der Versuch bei Wellendrehzahlen, die von den vertraglich festgelegten Werten abweichen, wird nicht anerkannt, wenn unzulässige Druckpulsationen im Resonanzbereich auftreten.

9.1.7 Wird der Versuch mit einem anderen als dem dem Vertrag zu Grunde gelegten Gas durchgeführt, so ist eine Umrechnung vorzunehmen. Eine Änderung der Gaskonstante beeinflusst den Leckverlust und damit den nutzbaren Volumenstrom. Umrechnungen dieser Art sind zwischen den Vertragspartnern zu vereinbaren.

9.1.8 Wenn die Abweichung oder Schwankung die in Abschnitt 9.1.6 aufgeführten Werten überschreitet, sind die in Abschnitt 9.1.3 beschriebenen Verfahren nach Vereinbarungen zwischen den Vertragspartnern anzuwenden.

9.2 Umrechnung des nutzbaren Ansaugvolumenstroms

9.2.1 Drehzahl

Der Umrechnungsfaktor ist:

$$K_1 = \frac{N_g}{N_v} \quad (2)$$

Hierin ist:

N_g die vertraglich festgelegte Wellendrehzahl

N_v die bei dem Versuch gemessene Wellendrehzahl

9.2.2 Polytropenexponent und Druckverhältnis

Diese Umrechnung ist nur bei einstufigen Kompressoren anzuwenden (sie ist bei zwei- und mehrstufigen Kompressoren unbedeutend).

Eine Änderung des Verhältnisses der spezifischen Wärmekapazitäten und des Druckverhältnisses beeinflusst den Volumenstrom, da die Entspannung des im Schadraum eingeschlossenen Gases beeinflusst wird. Weil das Ausmaß dieses Einflusses nicht genau bekannt ist, sollte der Versuchsleiter bestrebt sein, das garantierte Druckverhältnis so genau wie möglich einzuhalten. Für Abweichungen innerhalb der in Abschnitt 9.1.6 festgelegten Grenzen ist die folgende Formel zu verwenden:

$$K_2 = \frac{1 - c(\pi_g^{1/n_g} - 1)}{1 - c(\pi_v^{1/n_v} - 1)} \quad (3)$$

Hierin ist:

π_v das gemessene Druckverhältnis

π_g das Druckverhältnis laut Garantie

c der relative Schadraum

n der Polytropenexponent (hier ist 0,9 κ anzunehmen)

Bei Druckverhältnissen unter 3 vereinfacht sich die Umrechnung wie folgt:

$$K_2 = 1 + c(\pi_v^{1/n_v} - \pi_g^{1/n_g}) \quad (4)$$

9.2.3 Kühlmitteltemperatur

Die Temperaturdifferenz zwischen Kühlmittel und angesaugtem Gas beeinflusst die Gastemperatur in den Kompressorzyklindern und Zwischenkühlern. Da dieser Einfluß K_3 von Bauart, Größe und Drehzahl des Kompressors abhängt, läßt sich keine allgemeingültige Umrechnungsformel angeben. Können die vertraglich festgelegten Bedingungen nicht eingehalten werden, so ist der Kompressor bei zwei verschiedenen Kühlmittel-eintrittstemperaturen und bei konstanter Gaseintrittstemperatur zu betreiben und dann der geforderte Wert durch Extrapolation mittels einer Geraden durch die beiden Meßpunkte auf die vertraglich festgelegten Bedingungen zu ermitteln.

Bei Kompressoren mit Flüssigkeitseinspritzung wird der Volumenstrom durch die Temperatur der eingespritzten Flüssigkeit beeinflusst. Dieser Einfluß resultiert aus dem Wärmeübergang zwischen Luft und Flüssigkeit in den Eintrittskanälen vor Beginn der Verdichtung. Das System wird ebenso durch die Wirkung eines thermostatischen Ventils beeinflusst, welches angeordnet sein kann, um einen by-pass der Flüssigkeit am Kühler zu ermöglichen, bis eine vorgegebene Temperatur erreicht ist. Für eine gegebene Lufteintrittstemperatur führt die Einspritzung von kälterer Flüssigkeit normalerweise zu einem größeren Volumenstrom, da die angesaugte Luft weniger vorgewärmt und während der Verdichtung wirksamer gekühlt wird. Die Größe dieses Einflusses hängt von der Kompressorbauart ab, d. h. von den Eintrittsöffnungen, inneren Dichtspalten, Lauferumfangsgeschwindigkeit sowie von dem Flüssigkeits-

strom, der Zähigkeit dieser Flüssigkeit usw. Der Korrekturfaktor sollte auf Versuchen mit der betreffenden Bauart basieren.

9.2.4 Gaskonstanten

Eine Änderung der Gaskonstanten beeinflusst die Leckverluste und somit den Volumenstrom. Ein allgemeingültiger Ausdruck für diesen Einfluß läßt sich nicht angeben. Diese Umrechnung kann entfallen, wenn die Abweichungen kleiner sind als in Abschnitt 9.1.6 angegeben.

9.3 Umgerechneter nutzbarer Ansaugvolumenstrom

Der umgerechnete Ansaugvolumenstrom beträgt:

$$\dot{V}_{um} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dot{V}_v \quad (5)$$

Hierin ist:

$\dot{V}_v$ der gemessene, aus den Versuchsergebnissen berechnete Ansaugvolumenstrom.

9.4 Umrechnung des Leistungsbedarfs

9.4.1 Eintrittsdruck, Isentropenexponent und Druckverhältnis

Falls Eintrittsdruck, Isentropenexponent und Druckverhältnis von den im Liefervertrag festgelegten Werten abweichen, sind die folgenden Umrechnungsverfahren anzuwenden:

a) Bei einstufigen Kompressoren mit und ohne Kühlung:

$$K_4 = \frac{[\kappa/(\kappa-1)]_g \cdot p_{1g} \cdot \pi_g^{[(\kappa-1)/\kappa]_g - 1}}{[\kappa/(\kappa-1)]_v \cdot p_{1v} \cdot \pi_v^{[(\kappa-1)/\kappa]_v - 1}} \quad (6)$$

b) Bei mehrstufigen Kompressoren mit Zwischenkühlung:

$$K_4 = \frac{p_{1g}}{p_{1v}} \cdot \frac{\log \pi_g}{\log \pi_v} \quad (7)$$

c) Wenn das Druckverhältnis während des Versuchs mit einer Abweichung von max. $\pm 0,2\%$ des vertraglich festgelegten Wertes eingehalten wird, läßt sich die Umrechnung des spezifischen Leistungsbedarfs für alle Kompressoren in Verdrängerbauart wie folgt vereinfachen:

$$K_4 = \frac{p_{1g}}{p_{1v}} \quad (8)$$

Bei Kompressoren mit Flüssigkeitseinspritzung muß ebenfalls die aufgenommene Leistung bezüglich Abweichungen im Eintrittsdruck und Druckverhältnis von den speziellen Bedingungen korrigiert werden. Die Korrektur bezüglich einer Abweichung des Eintrittsdrucks ist ziemlich einfach und mit großer Genauigkeit durch einen Versuch zu ermitteln.

Das spezifizierte Druckverhältnis kann normalerweise innerhalb einer Abweichung von $\pm 1\%$ durch Einstellung des Enddrucks erreicht werden. Wenn keine Korrekturkurven von früheren Versuchen mit dem betreffenden Kompressortyp vorliegen, soll die Korrektur auf einem Vergleich der Verdichtungsarbeit nach Formel 6 bzw. 7 basieren.

9.4.2 Kühlmittelintrittstemperatur

Die Beziehung zwischen Kühlmittelintrittstemperatur und Leistungsbedarf ist sehr verwickelt und setzt sich aus zahlreichen Größen zusammen. Es ist ratsam, einen Umrechnungsfaktor K_5 nach den Empfehlungen in Abschnitt 9.1.3 zu ermitteln.

Bei Kompressoren mit Flüssigkeitseinspritzung wird die aufgenommene Leistung durch die Lufteintrittstempe-

ratur, die Temperatur der eingespritzten Flüssigkeit sowie die Differenz zwischen diesen beiden Temperaturen beeinflusst, da die Erwärmung der angesaugten Luft und Änderungen der Zähigkeit der eingespritzten Flüssigkeit, die interne Leckage und die Strömungsverluste beeinflusst. Korrekturfaktoren sollten auf Versuche des Herstellers basieren.

9.4.3 Feuchte

Wenn bei mehrstufigen Kompressoren in den Zwischenkühlern Dampf kondensiert ist, werden in den verschiedenen Stufen geringere Dampfmengen verdichtet. Die Umrechnungsformel lautet:

$$K_6 = 1 + \frac{R_D}{R_G} \cdot \frac{z-1}{z} \cdot \left[\frac{T_{w1v}}{T_{1v}} \left(x_{11v} - \frac{1}{z-1} \sum_{j=II}^z x_{j1v} \right) - \frac{T_{w1g}}{T_{1g}} \left(x_{11g} - \frac{1}{z-1} \sum_{j=II}^z x_{j1g} \right) \right] \quad (9)$$

Hierin ist:

R_D die Gaskonstante des Dampfes

R_G die Gaskonstante des Gases

z Anzahl der Stufen

j Nummer der Stufe ($j = I, II, III \dots i$)

die absolute Feuchte des Gases am Eintritt jeder Kühlstufe (die absolute Feuchte läßt sich aus dem Partialdruck des Dampfes berechnen).

T_1 die Gaseintrittstemperatur

T_{w1} die Kühlmittelintrittstemperatur

Wenn das vertraglich festgelegte Gas trocken ist und die gleiche Temperatur wie das Kühlmittel hat, vereinfacht sich die Formel wie folgt:

$$K_6 = 1 + \left(\frac{R_D}{R_G} \cdot \frac{z-1}{z} \cdot \frac{T_{w1v}}{T_{1v}} \right) \left(x_{11v} - \frac{1}{z-1} \sum_{j=II}^z x_{j1v} \right) \quad (10)$$

9.4.4 Wellendrehzahl

Der Leistungsbedarf ändert sich mit der Wellendrehzahl. Diese Umrechnung ist jedoch bei allen Kompressorbauteilen verschieden groß. Wenn möglich, sollte vor der Durchführung des Abnahmeversuchs eine Umrechnungskurve auf Grund eines Versuchs an einem Kompressor der in Frage kommenden Bauart angefertigt werden, die den Einfluß der Wellendrehzahl auf den spezifischen Leistungsbedarf aufzeigt.

Solange mit konstantem Wirkungsgrad gerechnet werden darf, gilt:

$$K_7 = \frac{N_g}{N_v} \quad (11)$$

Anmerkung: Bei bestimmten Bauarten von Verdrängerkompressoren (z. B. Schraubenkompressoren), die nahe der optimalen Wellendrehzahl betrieben werden, heben sich die Änderungen der aerodynamischen Verluste und die inneren Leckverluste auf, wodurch für den Leistungsbedarf nur der Einfluß des mit der Drehzahl veränderlichen Volumenstroms berücksichtigt zu werden braucht. Wird der Kompressor jedoch bei einer anderen Wellendrehzahl betrieben, beeinflusst eine Änderung der Wellendrehzahl den Wirkungsgrad.

Bei herkömmlichen Kompressoren mit geringem inneren Leckverlust überwiegen die inneren Strömungsverluste.

Diese Verluste sind proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit und damit dem Quadrat der Wellendrehzahl.

Liegt keine Umrechnungskurve vor, läßt sich der Leistungsbedarf eines Kompressors mittels der folgenden empirischen Formel umrechnen:

$$K_7 = \left[1 + a \left(1 - \frac{N_v}{N_g} \right) \right] \cdot \frac{N_g}{N_v} \quad (12)$$

worin a eine von der Kompressorbauart abhängige Konstante ist.

Für zweistufige Kompressoren mit einem Druck von 6 bis 8 bar und einem spezifischen Leistungsbedarf von 80 bis 130 Wh/m³ = 300 bis 500 J/l wurde gefunden für

$$a = 35 w_v^2$$

worin $w_v = \frac{P_v}{\dot{V}_v}$ in $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$ ist.

Bei Kompressoren mit Flüssigkeitseinspritzung wird die aufgenommene Leistung ebenfalls durch die Wellendrehzahl beeinflusst. Für diese Kompressorenbauart kann angenommen werden, daß der Wirkungsgrad bei Abweichungen der Versuchsrehzahl von der spezifischen Drehzahl bis zu $\pm 4\%$ unverändert bleibt.

9.5 Umgerechneter Leistungsbedarf

Der umgerechnete Leistungsbedarf ist:

$$P_{um} = K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot P_v \quad (13)$$

Hierbei ist:

P_v der gemessene, aus den Versuchsergebnissen berechnete Leistungsbedarf

9.6 Umgerechneter spezifischer Leistungsbedarf

Der umgerechnete spezifische Leistungsbedarf ergibt sich aus dem nach Abschnitt 9.3 umgerechneten nutzbaren Volumenstrom und dem nach Abschnitt 9.5 umgerechneten Leistungsbedarf:

$$w_{um} = \frac{P_{um}}{\dot{V}_{um}} \quad (14)$$

10 Meßgenauigkeit

10.1 Allgemeines

10.1.1 Infolge der Eigenart physikalischer Messungen ist es nicht möglich, eine physikalische Größe fehlerlos zu messen oder den wahren Fehler einer physikalischen Messung zu bestimmen, d. h. die Differenz zwischen dem wahren und dem gemessenen Wert einer Größe.

10.1.2 Sind jedoch die Bedingungen hinreichend bekannt, unter denen eine physikalische Größe gemessen wurde, so kann man eine mögliche Abweichung des gemessenen Wertes von dem wahren Wert so bestimmen und berechnen, daß man behaupten kann, daß der absolute Wert des wahren Fehlers mit Wahrscheinlichkeit kleiner ist als die erwähnte Abweichung.

Die Berechnung einer solchen Abweichung ist deshalb nützlich, weil ihr Wert ein Kriterium für die Genauigkeit der Messung darstellt.

Anmerkung: Erfordert ein Abnahmeversuch eine besonders hohe Genauigkeit der Meßspielberechnung, z. B. für eine Bonus-Pönale-Berechnung bei Großkompressoren oder Kompressoren der Verfahrenstechnik, so kann ein Verfahren übernommen werden, das in der VDI-Richtlinie 2045 Blatt 1 „Abnahmeversuche an Verdichtern“ beschrieben und auch für die ISO-Vorlage

DP 5389 „Abnahmeversuche an Turboverdichtern“ und für den entsprechenden späteren Teil dieser Norm vorgesehen ist. Dabei wird die Korrelation der Einzelmeßspiele beim Ergebnismeißspiel berücksichtigt.

10.1.3 Das Meißpiel ist als ein Wert festgelegt, der zweimal so groß ist wie die Standardabweichung. Diese Abweichung ist unter dieser Bezeichnung zu berechnen und anzugeben. Siehe z. B. DIN 1952 und VDI 2048 Blatt 1.

10.1.4 Wenn die Teilabweichungen, deren Zusammenfassung die Standardabweichung ergibt, unabhängig voneinander sowie klein und zahlreich sind, nähert sich ihre Verteilung der normalen Verteilung nach Laplace-Gauss. Es besteht dann eine 95 %ige Wahrscheinlichkeit, daß der Absolutwert des wahren Fehlers die doppelte Standardabweichung nicht überschreitet.

10.1.5 Die Fehlerverteilung wird als mit der Laplace-Gauss-Normalverteilung übereinstimmend angenommen. Wenn es sich herausstellt, daß die Verteilung nicht zufällig ist, so ist der volle Wert des wirklichen Meißpiels algebraisch zu addieren.

10.1.6 Sind wiederholte Messungen einer Größe nicht möglich oder ist ihre Anzahl so gering, daß eine direkte Schätzung der Standardabweichung wahrscheinlich unzuverlässig ist, so ist anzunehmen, daß man zumindest den Maximalbereich der Meßwerte unter und über dem angenommenen Wert der Größe schätzen kann. Es ist dann zulässig, als Standardabweichung 25 % dieses geschätzten Gesamtbereichs einzusetzen (d. h. die Hälfte des mittleren Maximalbereichs unter oder über dem angenommenen Wert der Größe).

10.1.7 In den folgenden Abschnitten werden nur die Meßspiele für den nutzbaren Volumenstrom und den spezifischen Leistungsbedarf behandelt, und zwar auch nur für den Fall, daß der Volumenstrom nach DIN 1952 und der Leistungsbedarf mit der Zwei-Wattmeter-Methode gemessen werden. Andere Meßverfahren sind so verschieden, daß ihre Behandlung außerhalb des Rahmens dieser Norm liegt. Die nachstehenden Grundsätze und Verfahren zur Schätzung des Fehlers können jedoch auch in anderen Fällen Anwendung finden.

10.1.8 Die Meßwerte für den nutzbaren Volumenstrom und den spezifischen Leistungsbedarf sind mit Meßspielen behaftet. Diese umfassen das Meißpiel, welches die wahrscheinliche Abweichung der nicht umgerechneten Beobachtungswerte von dem wahren Wert angibt, und ein zweites Umrechnungsspiel, das den wahrscheinlichen Fehler des Verfahrens für die Umrechnung der Meßwerte auf den Wert berücksichtigt, den sie gehabt hätten, wenn die Versuchsbedingungen mit den vertraglich festgelegten Bedingungen übereingestimmt hätten.

Schwankt der Leistungsbedarf während des Versuchs, so ist ein zusätzliches Spiel für den spezifischen Leistungsbedarf vorgesehen.

10.1.9 Das Versuchsspiel ist auf verschiedene Ursachen zurückzuführen; die wichtigsten davon sind:

- a) die Unzulänglichkeit des Meßverfahrens,
- b) Meßgerätefehler, wie fehlerhafte Einstellung und innere Reibung,
- c) Ablesefehler,
- d) ungenaue Zahlenangaben über den Wirkungsgrad der verwendeten Einrichtungen

Die Gruppen b) und c) sind gleichartig und enthalten Ablesefehler — in Gruppe b) bei der Einstellung und in Gruppe c) bei der tatsächlichen Messung. Sie werden in den folgenden Abschnitten unter der Bezeichnung „Ablesefehler“ zusammengefaßt und gemeinsam behandelt.

10.1.10 Der Höchstwert der Ablesefehler ist in jedem Fall zu schätzen, wobei besonders zu beachten ist:

- die Skaleneinteilung der Meßgeräte und die Art der Ablesung;
- die Gleichmäßigkeit der Meßwerte (eine schnell schwankende Flüssigkeitssäule oder ein sich schnell bewegendes Zeiger ist schwerer abzulesen als eine angemessen gedämpfte Anzeige)
- die Erfahrung des Personals im Ablesen von Geräten und die Anzahl der Geräte je Ablesenden.

10.1.11 Nach Schätzung der maximalen Ablesefehler werden die Ablesespiele nach der Formel

$$\tau = \pm 100 \frac{\Delta U}{U} \text{ in \%} \quad (15)$$

berechnet.

Hierin ist:

U der mittlere Ablesewert, gemessen vom Bezugspunkt, der in den entsprechenden Gleichungen gebraucht wird,

ΔU der wahrscheinlich höchste geschätzte Ablesefehler (ausgedrückt in den gleichen Einheiten wie U).

10.2 Meßspiel für den nutzbaren Ansaugvolumenstrom

Dieses Meßspiel ist eine Zusammenfassung der Meßspiele für Wellendrehzahl und Durchflußmessung.

Das Meßspiel für die Durchflußmessung wird nach dem in DIN 1952 beschriebenen Verfahren bestimmt.

10.3 Meßspiel für den spezifischen Leistungsbedarf

10.3.1 Das Meßspiel für den spezifischen Leistungsbedarf erhält man als Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate der Meßspiele für die Durchfluß- und Leistungsbedarfsmessungen.

10.3.2 Das Meßspiel für die Messung mit der Zwei-Wattmeter-Methode setzt sich zusammen aus dem Meßspiel für die Meßgeräteablesungen τ_{Ir} , das in der üblichen Weise berechnet wird, und dem Meßspiel für die Meßgeräte τ_{Iv} , das nach den folgenden Unterabschnitten berechnet wird.

10.3.3 Bei der Zwei-Wattmeter-Messung vereinigen sich die Fehler der sechs Einzelteile (zwei Spannungswandler, zwei Stromwandler und zwei Wattmeter) unter der Quadratwurzel.

$$\tau_{Iv} = \left[f_U^2 + f_I^2 + \left(\frac{2f}{\alpha_1 + \alpha_2} \right)^2 + 100^2 (|\partial_U| + |\partial_I|)^2 \tan^2 \varphi \right]^{1/2} \quad (16)$$

Hierin ist:

f_U der relative maximale Fehler des Spannungsvektors, ermittelt aus der Güteklasse des Spannungswandlers und ausgedrückt in Prozent,

f_I der relative maximale Fehler des Stromvektors, ermittelt aus der Güteklasse des Stromwandlers und ausgedrückt in Prozent

f der relative maximale Fehler der Wattmeter, ermittelt aus der Güteklasse der Wattmeter und ausgedrückt in Prozent

α_1 und α_2 die relativen Anzeigen der Wattmeter
 $(\alpha_1 + \alpha_2)_{\max} = 2$

φ der Phasenwinkel,

∂_U und ∂_I die Winkelfehler der Spannungs- und Stromwandler, ausgedrückt in Radiant.

10.3.4 Wenn die einzelnen Geräte erst kurze Zeit vorher geeicht wurden, so daß alle Fehler mit Sicherheit innerhalb der für die Güteklasse gültigen Werte liegen, so

folgt die Zusammenfassung von Meß- und Gerätefehlern der Quadratwurzelformel

$$\tau_I = (\tau_{Ir}^2 + \tau_{Iv}^2)^{1/2} \text{ in \%} \quad (17)$$

10.3.5 Werden die Bedingungen von Abschnitt 10.3.4 nicht erfüllt, so sind die Fehler arithmetisch zu addieren:

$$\tau_I = \tau_{Ir} + \tau_{Iv} \text{ in \%} \quad (18)$$

10.3.6 Bei Gleichstrom kann im großen und ganzen das gleiche Verfahren angewendet werden, wenn Volt- und Ampère-Meter benutzt und die Ablesewerte multipliziert werden; der Meßfehler ist dann auf zwei Werte τ_{Ig1} und τ_{Ig2} aufzuteilen, d. h. in einen Fehler für jedes Meßgerät, wobei sich diese Fehler zu τ_{Ig} vereinigen, der möglicherweise geringer ist.

$$\tau_{Ig} = (\tau_{Ig1}^2 + \tau_{Ig2}^2)^{1/2} \text{ in \%} \quad (19)$$

Bei Verwendung einer doppelten Meßeinrichtung und völliger Übereinstimmung der Ergebnisse kann τ_{Ig} verringert werden.

10.3.7 Die gemessene Leistungsaufnahme wird durch während jeder Messung auftretende Lastschwankungen beeinflusst. Um diesen Einfluß zu berücksichtigen, ist eine zusätzliche Toleranz erforderlich. Diese zusätzliche Toleranz wird durch die tatsächliche absolute Lastschwankung über und unter ihren Mittelwert bestimmt.

Tabelle 2. Toleranz für Lastschwankung

Mittlere Schwankung der Leistungsaufnahme %	Zusätzliche Toleranz %
± 2	± 0
± 3	$\pm 0,5$
± 4	$\pm 1,0$
± 5	$\pm 1,5$

Diese Toleranz ist dem aus Abschnitt 10.3.6 ermittelten Meßspiel algebraisch zuzuschlagen.

10.4 Fehler aus dem Wirkungsgrad der Antriebsmaschine

10.4.1 Bei der Berechnung des Leistungsbedarfs des Kompressors aus der bei dem Versuch gemessenen Klemmenleistung des Motors kann es sich als notwendig erweisen, zwei Wirkungsgradkurven verwenden zu müssen, die beide mit Fehlern behaftet sein können, und zwar

a) Wirkungsgradkurve des Elektromotors, Meßspiel τ_{IIa} in Prozent und

b) Wirkungsgradkurve des Getriebes, falls ein solches zwischen Motor und Kompressor vorhanden ist, Meßspiel τ_{IIb} in Prozent.

10.4.2 Es ist schwierig, hier allgemeine Regeln für die Schätzung dieser Meßspiele anzugeben. Für Meßspiele für Wirkungsgrade von Elektromotoren sind in nationalen Prüfvorschriften gewisse Regeln angegeben. Andererseits ist der Art des Versuchs und der Berechnung des Wirkungsgrades besondere Beachtung zu schenken.

10.4.3 Die Unsicherheit bei den in Abschnitt 5.6.8 angegebenen Wirkungsgradwerten kann zu $\pm 0,5\%$ für Präzisionsgetriebe und zu $\pm 1\%$ für Riemenantriebe geschätzt werden.

Liegt kein Versuchsprotokoll für die Festlegung dieser Wirkungsgrade vor, so sind die Voraussetzungen für die Anwendung der Gauß'schen Fehlerverteilungsregel nicht gegeben. Die Meßspiele für die Wirkungsgrade sind in diesem Falle dem Meßspiel für den Leistungsbedarf des Kompressors algebraisch hinzuzurechnen.

10.5 Toleranzen, bedingt durch Umrechnungsverfahren

Den vorstehend erwähnten Meßspielen sind weitere Toleranzen hinzuzurechnen, welche die Unsicherheit der Verfahren für die Umrechnung der Meßwerte auf die Vertragsbedingungen berücksichtigen.

Bei Versuchen innerhalb des in Abschnitt 9.1.6 abgegrenzten Bereichs kann diese Toleranz bis zu $\pm 20\%$ der Umrechnung betragen.

11 Versuchsbericht und Vergleich mit den Garantiewerten

11.1 Vom Versuchsleiter ist ein Versuchsbericht anzufertigen, der alles für die Auswertung des Versuchs Erforderliche enthält.

11.2 In dem Versuchsbericht sind Gegenstand, Ort und Zeit des Versuchs sowie die Namen der Teilnehmer anzugeben.

11.3 Der Versuchsbericht soll eine kurze Beschreibung und die wichtigsten Daten des Kompressors und der Antriebsmaschine enthalten, ferner den Namen des Herstellers, die Herstellnummer, die Garantiedaten usw.

11.4 Der Versuchsbericht soll Angaben über die für den Versuch benutzten Verfahren und Geräte enthalten sowie eine schematische Darstellung der Versuchsanordnung, in der alle Meßpunkte eingezeichnet sind. In wichtigen Fällen (Abnahmeversuche) soll der Versuchsbericht eine Aufstellung enthalten über die vom Lieferer gegebenen Garantien bezüglich nutzbaren Volumenstrom, spezifischen Leistungsbedarf sowie das Betriebsverhalten des Kompressors und ferner die Betriebsbedingungen, für welche die Garantien gelten. Für wichtige Meßgeräte sollte möglichst der Name des Herstellers, die Herstellnummer, Bauart und Güteklasse, Prüf- und Bedienungsanweisungen usw., darüber hinaus die Eichprotokolle und Umrechnungsdiagramme für die verschiedenen Meßgeräte als Anhang beigelegt werden.

11.5 Der Versuchsbericht soll die während des Versuchs aufgezeichneten Meßwerte für nutzbaren Volumenstrom und Leistungsbedarf, eine Tabelle der Mittelwerte der Ablesungen, wesentliche Angaben für die Schätzung der Ablesegenauigkeit usw. enthalten. Anzeige und Ablesewerte der Meßgeräte sind so aufzuzeichnen, wie sie beobachtet wurden. Die Originalprotokolle sind vom Versuchsleiter aufzubewahren. Umrechnungen und umgerechnete Werte sind gesondert in den Versuchsbericht aufzunehmen.

11.6 Alle besonderen Bedingungen sind festzuhalten.

11.7 Der Versuchsbericht soll die für die Berechnung des nutzbaren Volumenstroms und den Leistungsbedarf verwendeten Formeln mit den Umrechnungen sowie die Berechnungsergebnisse enthalten. Die Fehlerberechnungen, aus denen der Genauigkeitsgrad der Ergebnisse hervorgeht, sind ebenfalls beizufügen. Umfangreiche Berechnungen sind möglichst als Anhang anzufügen, um den Bericht nicht zu belasten. Die Ergebnisse sind in übersichtlicher Tabellenform anzuordnen.

11.8 Ein Vergleich der Leistung des geprüften Kompressors mit den Vertragswerten ist zusammen mit den Schlußfolgerungen aus diesem Vergleich beizufügen.

11.9 Eine Zusammenfassung der Versuchsergebnisse zusammen mit allgemeinen Schlußfolgerungen über die geprüfte Kompressor-Anlage und eine Feststellung darüber, ob die Garantiewerte erfüllt wurden oder nicht, sind dem Bericht beizufügen.

11.10 Der Versuchsbericht ist von Vertretern der Vertragspartner zu unterzeichnen.

11.11 Nach Umrechnung der Versuchsergebnisse auf die Garantiegrundlagen sind diese mit den Vertragswerten zu vergleichen. Sind Garantiewerte für mehr als eine Belastung angegeben, so ist dieser Versuch in graphischer Form durchzuführen. Die Meßspiele nach Abschnitt 10 sind einzuschließen.

11.12 Bei Kompressoren ist der Leistungsbedarf und der nutzbare Volumenstrom über dem Druckverhältnis, bei Vakuumpumpen der Leistungsbedarf und der nutzbare Volumenstrom über dem Eintrittsdruck graphisch aufzutragen. Sowohl für Kompressoren als auch für Vakuumpumpen ist der nutzbare Volumenstrom anzugeben und auf Eintrittsbedingungen zu beziehen.

11.13 Zur Beurteilung des Wirkungsgrades ist der spezifische Leistungsbedarf gegen den nutzbaren Volumenstrom graphisch aufzutragen. Zusammengehörige Werte für Leistungsbedarf und nutzbaren Volumenstrom sind aus der gemäß Abschnitt 11.12 aufgezeichneten Kurve abzulesen.

11.14 Ist der spezifische Leistungsbedarf für nur einen nutzbaren Volumenstrom garantiert und erfüllt der spezifische Leistungsbedarf auf Grund des Versuchs die Garantie bei einem nutzbaren Volumenstrom, der weniger als $\pm 5\%$ von dem Volumenstrom abweicht, für den die Garantie gilt, ist der spezifische Leistungsbedarf anzuerkennen.

11.15 Ist der spezifische Leistungsbedarf für mehr als einen Volumenstrom oder Druck garantiert, dann sind gewichtete Mittelwerte sowohl für die Versuchsergebnisse als auch für die Garantien zu vergleichen. Wenn nichts anderes vereinbart wurde, ist die Wichtung jedes einzelnen Punktes mit 1 anzunehmen.

Weitere Normen und Unterlagen

DIN 1301 Teil 1	Einheiten, Einheitenennamen, Einheitenzeichen
DIN 1314	Druck; Grundbegriffe, Einheiten
DIN 1943	Wärmetechnische Abnahmeversuche an Dampfturbinen (VDI-Dampfturbinenregeln)
DIN 28 400 Teil 1	Vakuumtechnik; Benennungen und Definitionen, Allgemeine Benennungen
DIN 57 410/VDE 0410	VDE-Bestimmung für elektrische Meßgeräte; Sicherheitsbestimmungen für anzeigende und schreibende Meßgeräte und ihr Zubehör
VDE/VDI 3511	Technische Temperaturmessungen
VDI 2048 Blatt 1	Meßungenauigkeiten bei Abnahmeversuchen, Grundlagen
VDI/VDE 2040	Berechnungsgrundlagen für die Durchflußmessung mit Drosselgeräten; Durchflußzahlen und Expansionszahlen genormter Drosselgeräte und Abweichungen von den Normvorschriften
VDI/VDE 2041	Drosselgeräte für Sonderfälle

A n m e r k u n g : Die Benennungen der Begriffe „Spiel“, „Toleranz“, „Unsicherheit“, „Güteklasse“, „Ungenauigkeit“ werden z. Z. sowohl national wie international genormt, z. B. DIN 55 350 Teil 12 und ISO 3534.

Diese Begriffsnormung ist aber noch nicht abgeschlossen und kann daher in der vorliegenden Norm noch nicht angewendet werden. Es wird aber betont, daß sich durch diese neuen Normen höchstens die Benennungen, nicht aber die Inhalte der in dieser Norm verwendeten Begriffe verändern werden, während die Zahlenwerte davon unberührt bleiben.

Anhang A

Weitere Verfahren für die Bestimmung des Volumenstroms

Für die folgenden Verfahren wird keine Regel für die Beurteilung der Meßgenauigkeit angegeben, und der Versuchsleiter muß eine besondere Untersuchung vornehmen, bevor sie die Fehlerberechnung nach den in Abschnitt 10 festgelegten Grundsätzen erfolgen kann.

A. 1 Messung von pulsierend geliefertem Volumenstrom

- a) Kann das Pulsieren der Strömung in der Meßleitung nicht vermieden werden, so ist ein reichlich bemessener Behälter zwischen dem Austrittsflansch und der Meßstrecke vorzusehen.
- b) DIN 1952 enthält keine Angaben über die Messung pulsierender Strömungen; bei der Prüfung von Kompressoren treten jedoch oft Pulsationen auf und verursachen Fehlmessungen. Die wichtigste Fehlerquelle ist die Dämpfung der Druckdifferenz am Drosselgerät durch die Meßanordnung, wodurch anstelle des Mittelwertes der Quadratwurzel der Druckdifferenz ihr Mittelwert abgelesen wird. Dieser Fehler ist stets positiv. Ein einfacher Weg, die Pulsation zu verringern besteht darin, eine überkritische Entspannung zwischen dem Kompressor und der Meßeinrichtung vorzusehen.

Eine weitere ergänzende Maßnahme ist die Einschaltung eines zusätzlichen Volumens in der Rohrleitung vor der Meßeinrichtung. Durch Wahl eines entsprechend großen Volumens läßt sich der mittlere Fehler unter jeder gewünschten Grenze halten.

- c) Man unterscheidet zwei Arten pulsierender Strömung:

- (1) Die unterbrochene pulsierende Strömung bei einwirkenden Einzylinder-Kompressoren

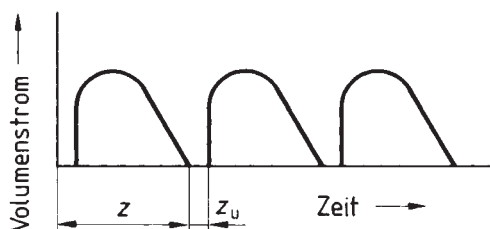


Bild A. 1 Unterbrochene, pulsierende Strömung

Diese Strömung wird durch den Unterbrechungsgrad

$$j_x = \frac{z_u}{z} \quad (20)$$

gekennzeichnet.

Hierin bedeuten:

z_u die Zeit, während der die Strömung Null ist,
 z die Zeit jeder Periode.

- (2) Pulsierende Strömung, die bei doppelwirkendem Zweizylinderkompressor auftreten kann

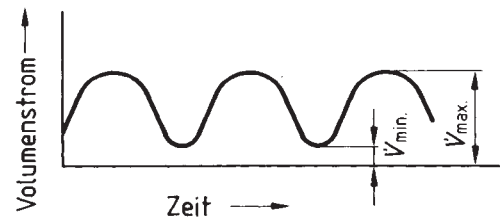


Bild A. 2 Pulsierende Strömung

Die Strömung wird durch das Verhältnis

$$j_v = \frac{\dot{V}_{\max}}{\dot{V}_{\min}} \quad (21)$$

gekennzeichnet.

Hierin bedeuten:

$\dot{V}_{\max}$ die maximale Gasströmung

$\dot{V}_{\min}$ die minimale Gasströmung

- d) Die dimensionslose Hodgson-Zahl wird bestimmt durch

$$Ho = 3600 \frac{V f \Delta p}{p_m \dot{V}_m} \quad (22)$$

Hierin ist:

V das Volumen des Rohrleitungssystems zwischen dem Kompressor und der Durchflußmeßeinrichtung in m^3

f die Frequenz der Pulsation in Hz

Δp der Gesamtdruckverlust bis zur Blende oder Düse in bar

p_m der mittlere absolute Druck im Behälter in bar

$\dot{V}_m$ der mittlere Volumenstrom beim Zustand am Drosselgerät in m^3/h

- e) Die Hodgson-Zahl, die erforderlich ist, damit der mittlere Fehler bei der Volumenstrommessung unterhalb einer bestimmten gewünschten Grenze bleibt, ist in den Tabellen 3 und 4 angegeben.

Tabelle A. 1. Hodgson-Zahl für unterbrochene pulsierende Strömung

$\frac{z_u}{z}$	Ho für Fehler		
	$\leq \pm 0,5 \%$	$\leq \pm 1,0 \%$	$\leq \pm 2,0 \%$
1,0	2,50	1,70	1,20
0,8	1,85	1,25	0,90
0,6	1,35	0,90	0,60
0,4	0,95	0,65	0,45
0,2	0,65	0,45	0,30
0	0,50	0,35	0,25

Tabelle A. 2. Hodgson-Zahl für pulsierende Strömung

$\frac{\dot{V}_{\max}}{\dot{V}_{\min}}$	H_o für Fehler		
	$\leq \pm 0,5 \%$	$\leq \pm 1,0 \%$	$\leq \pm 2,0 \%$
1	—	—	—
2	0,14	0,09	0,04
3	0,24	0,15	0,08
4	0,30	0,19	0,11
6	0,35	0,23	0,14
8	0,38	0,26	0,16
10	0,40	0,27	0,16

Sind die Hodgson-Zahl und der Gesamtdruckverlust bekannt, so erhält man das zuzuschaltende Volumen.

- f) Um anomale Geschwindigkeitsverteilung, Wirbelbildung usw. in der Meßleitung zu vermeiden, enthält die DIN 1952 Regeln für die Mindestlänge des geraden Rohres, daß der Meßeinrichtung vorzuschalten ist. In manchen Fällen gestatten die örtlichen Verhältnisse die Einhaltung dieser Bedingungen nicht. In diesem Falle ist eine Anordnung mit einer Siebplatte und Gleichrichterflächen mit einer Länge von ungefähr $2D$ zu verwenden. Die Mindestlänge des vorgeschalteten Rohrabchnitts soll $10D$, die des nachgeschalteten Abschnitts $5D$ betragen.
- g) Enthält das Gas Feuchte, so ist diese am Eintrittspunkt und das Kondensat hinter jedem Kühler zu messen. Das Eindringen von Kondensat in die Meßleitung ist zu verhindern.
- h) Wird der Versuch mit einem anderen als im Liefervertrag angegebenen Gas durchgeführt, so ist der Unterschied in der Dichte und in dem Verhältnis der spezifischen Wärmekapazität zu berücksichtigen.
- i) Wird der Versuch mit Luft vorgenommen, so darf die Meßanordnung vereinfacht werden. Hinter der Meßleitung kann die Luft ins Freie abgelassen werden und das Ansaugen kann aus der Atmosphäre erfolgen.

A. 2 Messung des Volumenstroms mit Gaszähler

Bei Verwendung nasser oder trockener Gaszähler sind Vorkehrungen zur Vermeidung einer pulsierenden Strömung zu treffen.

Bei diesem Verfahren wird das Volumen direkt gemessen, und die Dichte und Störeinflüsse durch die Strömung sind verhältnismäßig unbedeutend. Gaszähler sind jedoch nur unter der Bedingung zu verwenden, daß sie sich in gutem Betriebszustand befinden und kurze Zeit vorher geeicht wurden.

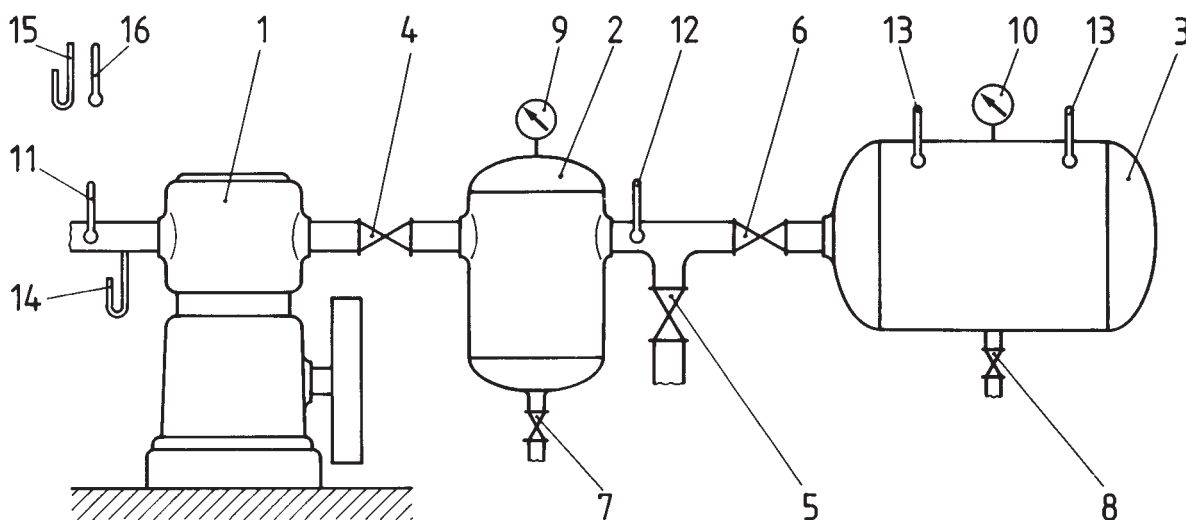
Der Gaszähler ist auf Dichtheit zu prüfen. Bei Zählern mit Sperrflüssigkeit ist zu prüfen, ob die Sperrflüssigkeit mit dem zu messenden Gas gesättigt ist.

Die Meßunsicherheit der Gaszählmessung soll $\leq 1 \%$ sein.

A. 3 Messung des Volumenstroms durch Füllen eines Behälters

Infolge der Schwierigkeit, die Gastemperatur im Auffangbehälter zu messen und wegen der Leckverluste in den Absperrventilen kann dieses Verfahren zu Fehlern führen. Es ist daher nur für kleine Kompressoren unter Beachtung der nachstehenden Punkte anzuwenden.

- Die Absperrventile, alle Rohrleitungen und Armaturen sind auf Dichtheit zu prüfen.
- Zwischen Kompressor und Behälter ist ein Pulsationsdämpfer (2) einzuschalten, der ein Auslaßventil (5) ins Freie besitzt. Seine Größe soll einer Füllzeit von 30 s oder darüber entsprechen.
- Die Größe des Behälters soll einer Füllzeit von 5 min oder darüber entsprechen.
- Das Volumen des Behälters ist mit einer Meßunsicherheit von $\pm 0,2 \%$ zu bestimmen.
- Der Kompressor soll zunächst den Pulsationsdämpfer füllen. Das ins Freie führende Auslaßventil ist leicht geöffnet zu halten um den richtigen Druck aufrecht zu erhalten. Das Verbindungsventil (6) zwischen dem Pulsationsdämpfer und dem Hauptbehälter soll geschlossen sein.



- | | | | |
|----------------------|-----------------------|----------------|----------------------|
| 1 Kompressor | 5 Auslaßventil | 9 Manometer | 13 Thermometer |
| 2 Pulsationsdämpfer | 6 Verbindungsventil | 10 Manometer | 14 Offenes Manometer |
| 3 Hauptluftbehälter | 7 Entwässerungsventil | 11 Thermometer | 15 Barometer |
| 4 Verbindungsventile | 8 Entwässerungsventil | 12 Thermometer | 16 Thermometer |

Bild A. 3 Meßanordnung

Der Kompressor soll bis zum Erreichen des Beharungszustandes laufen. Während dieser Zeit ist alles Kondensat aus dem Pulsationsdämpfer und Behälter sorgfältig abzulassen.

- f) Das Auslaßventil (5) am Pulsationsdämpfer ist nunmehr etwas weiter zu öffnen, so daß der Druck im Pulsationsdämpfer sinkt. Dann ist das Auslaßventil zu schließen.
- g) Der Kompressor füllt den Pulsationsdämpfer auf. Ist der vorgesehene Druck erreicht, dann ist das Verbindungsventil (6) zum Hauptbehälter langsam so zu öffnen, daß dieser Druck im Pulsationsdämpfer aufrechterhalten wird.
- h) Während des Füllvorgangs sind Druck und Temperatur des Gases im Behälter abzulesen.
- i) Beträgt der Druck im Behälter 90 % des vorgesehenen Drucks, ist das Ventil (6) zwischen Pulsationsdämpfer und Behälter weiter zu öffnen, so daß der Druck im Pulsationsdämpfer ein wenig sinkt, wonach das Ventil ganz zu schließen ist.
- j) Nunmehr steigt der Druck im Pulsationsdämpfer. Nach Erreichen des vorgesehenen Drucks ist der Kompressor abzustellen oder zu entlasten.
- k) Die Zeit zum Füllen des Behälters vom Öffnen des Verbindungsventils zwischen dem Pulsationsdämpfer und dem Behälter bis zu einem Zeitpunkt, da nach Schließen des Ventils der Druck im Dämpfer den vorgesehenen Druck erreicht, ist zu messen.
- l) Während des Versuchs ist die Wellendrehzahl zu messen.
- m) Es ist abzuwarten, bis sich im Behälter das thermische Gleichgewicht einstellt.
- n) Druck und Temperatur sind abzulesen, danach ist das Kondensat abzulassen und zu wägen.
- o) Der nutzbare Volumenstrom des Kompressors ist

$$\dot{V}_v = \frac{V_r}{z} \cdot \frac{T_1}{p_1} \cdot \left(\frac{p_{4,z}}{T_{4,z}} - \frac{p_{4,0}}{T_{4,0}} \right) \quad (23)$$

Hierin ist:

$\dot{V}_v$	der gemessene nutzbare Volumenstrom in m ³ /h
V_r	das Volumen des Behälters in m ³
z	die Füllzeit in h
p_1	der absolute Druck am Eintrittspunkt in bar
$p_{4,0}$	der absolute Druck im Behälter zu Beginn des Füllvorgangs in bar
$p_{4,z}$	der absolute Druck im Behälter am Ende des Füllvorgangs in bar
T_1	die Temperatur am Eintrittspunkt in K
$T_{4,0}$	die Temperatur im Behälter zu Beginn des Füllvorgangs in K
$T_{4,z}$	die Temperatur im Behälter am Ende des Füllvorgangs in K

A. 4 Messung des Volumenstroms durch Wägen eines Behälters

Bei diesem Verfahren werden Fehler infolge falscher Temperaturablesungen vermieden. Die Massendifferenz zwischen leerem und gefülltem Behälter soll nicht zu klein sein, um ein angemessen genaues Ablesen der Waage zu ermöglichen. Dieses Verfahren ist infolgedessen nur bei Hochdruck-Kompressoren mit kleinen Volumenströmen anzuwenden.

A. 5 Messung eines pulsierenden Ansaugvolumenstroms

- a) Bei pulsierender Strömung ist ein Ausgleichbehälter mit Einlaßdrossel zwischen Meßstrecke und Ansaugrohr zu schalten.
- b) Die Drosselung des Eintrittsdrucks durch die Meßeinrichtung ist zu berücksichtigen.
- c) Ist das Pulsieren der Strömung in der Meßleitung nicht zu vermeiden, so ist der Einfluß der Hodgson-Zahl auf den Fehler zu berücksichtigen (siehe Abschnitt A. 1).
- d) Enthält das Gas Feuchtigkeit, so ist die Feuchte zu messen.
- e) Wird der Versuch mit einem anderen als im Liefervertrag angegebenen Gas durchgeführt, so ist der Unterschied in der Dichte und in dem Verhältnis der spezifischen Wärmekapazität zu berücksichtigen.

A. 6 Messung des Ansaugvolumenstroms mit Druckbehältern mit veränderlichem Volumen (Gasometer)

Der Ansaugvolumenstrom läßt sich mit guter Genauigkeit durch Absenkung eines Gasometers messen, vorausgesetzt, es werden die folgenden Punkte beachtet:

- a) Der Gasometer soll während des Versuchs wärmege-dämmt sein, und die Absperrventile sind auf Dichtheit zu prüfen. Es ist sicherzustellen, daß kein Gas in den Gasometer gelangt und kein Gas auf anderem Wege als über den Kompressor austritt.
- b) Das Absinken des Gasometers ist mindestens an drei verschiedenen Stellen seines Umfangs zu messen. Der Mittelwert ist zu verwenden.
- c) Der Durchmesser des Gasometers ist einer beglaubigten Zeichnung zu entnehmen.
- d) Während des Versuchs ist der Gasometerdruck mit einem Wassersäulenmanometer zu kontrollieren.
- e) Die Gastemperatur ist unmittelbar hinter dem Gasometer im Ansaugrohr zu messen.
- f) Die Umgebungsbedingungen sind so zu wählen, daß die Temperatur des Gases im Gasometer gleich der gemessenen Umgebungstemperatur angenommen werden kann. Daher ist der Versuch an einem trüben Tag oder besser bei Nacht durchzuführen.

A. 7 Messung des Ansaugvolumenstroms mit Gaszähler

Bei Verwendung eines nassen oder trockenen Gaszählers ist ein Behälter mit ausreichendem Volumen zwischen den Gaszähler und den Kompressor zu schalten. Der Gaszähler muß sich in gutem Betriebszustand befinden und kurze Zeit vorher geeicht worden sein.

Der Druckverlust im Gaszähler ist bei der Berechnung des Volumenstroms zu berücksichtigen.

Der Gaszähler ist auf Dichtheit zu prüfen. Bei Zählern mit Sperrflüssigkeit ist zu prüfen, ob die Sperrflüssigkeit mit dem zu messenden Gas gesättigt ist.

Bei der Prüfung von Vakuumpumpen in Drehkolbenbauart ist der Zähler auf der Eintrittsseite mit einem Drosselventil zwischen Zähler und Vakuumseite der Pumpe anzuschließen, so daß der Zähler Luft von atmosphärischem Zustand mißt.