

Ersetzt Ausgabe November 1973

Das Merkblatt ist für die schweißtechnische Praxis bestimmt, es soll die Grundlagen für Gasmengenmessung vermitteln, die Wahl eines für einen bestimmten Bedarfsfall geeigneten Meßverfahrens erleichtern, Hinweise auf Fehlerquellen geben und mit der angefügten Schrifttumssammlung die Möglichkeit bieten, in die Gasmengenmeßtechnik tiefer einzudringen.

Auf eine Zusammenstellung von Kennwerten über physikalische Eigenschaften von Gasen wurde verzichtet, da hierüber umfangreiche Sammlungen bereits vorliegen [10]. Ebenso auch auf die Wiedergabe der Umrechnung von wasserdampfgesättigten und trockenen Gasmengen vom Betriebszustand in den Normzustand.

#### Inhalt:

- 1 Grundlagen
  - 1.1 Bestimmung der wesentlichen Zustandsgrößen
    - 1.1.1 Gasmenge und Gasvolumen
    - 1.1.2 Temperatur
    - 1.1.3 Druck
    - 1.1.4 Dichte und spezifisches Gewicht
    - 1.1.5 Dynamische Zähigkeit
  - 1.2 Kalibrierung, Justierung, Eichung
    - 1.2.1 Kalibrieren (Einmessen)
    - 1.2.2 Justieren (Abgleichen)
    - 1.2.3 Eichen
  - 1.3 Hinweise für den Betrieb von Gasmengenmeßeinrichtungen
- 2 Verfahren zur Mengenmessung von Gasen
  - 2.1 Mengenmessung von Gasen in strömendem Zustand (Durchflußmessung)
    - 2.1.1 Durchflußmessung nach dem Wirkdruckverfahren
    - 2.1.2 Durchflußmessung mit Schwabekörpern
    - 2.1.3 Durchflußmessung mit Zählern
    - 2.1.4 Thermische Gasmassendurchflußmesser (Prinzip des thermischen Anemometers)
    - 2.1.5 Thermische Durchflußmesser nach dem Laminar-Durchflußverfahren
    - 2.1.6 Strömungsmesser
    - 2.1.7 Durchflußmessung mit Wirbel-Durchflußmessern
    - 2.1.8 Durchflußmessung mit Drall-Durchflußmessern
  - 2.2 Gravimetrische Messung der Gasmenge in ruhendem Zustand
- 3 Bedeutung der verwendeten Symbole
- 4 Schrifttum
  - 4.1 Normen, Richtlinien
  - 4.2 Literatur

## 1 Grundlagen

### 1.1 Bestimmung der wesentlichen Zustandsgrößen

#### 1.1.1 Gasmenge und Gasvolumen

Um Gasmengen miteinander vergleichen zu können, müssen die Volumina auf den gleichen Zustand bezogen sein. Deshalb werden sie vom Betriebszustand, das ist der Zustand des Gases während der Messung, vorzugsweise auf den Normzustand: (0 °C, 1,0133 bar nach DIN 1343 „Normzustand, Normvolumen, Temperaturmessungen“) [18] oder auf einen anderen beliebigen Vergleichszustand umgerechnet.

Gasdurchflüsse werden üblicherweise als auf die Zeiteinheit bezogene Volumina oder Massen angegeben.

Für die Umrechnung für den im Betriebszustand ermittelten Gasdurchfluß auf den Norm- oder einen vereinbarten Vergleichszustand wird das Gesetz für ideale Gase mit einer für technische Zwecke hinreichenden Genauigkeit angewendet:

$$\dot{V}_n = \dot{V} \frac{T_n p}{T p_n} \quad (1)$$

Bei hohen Genauigkeitsansprüchen muß die Abweichung vom Gesetz für ideale Gase durch Realgasfaktoren, Virialkoeffizienten oder Kompressibilitätszahlen [2; 3, S. 39 ff.; 10] bei der Umrechnung berücksichtigt werden. Außerdem sollte bei feuchten Gasen die relative Feuchte bekannt sein.

#### 1.1.2 Temperatur

Die Bezugsstemperatur bei allen thermodynamischen Berechnungen ist die „absolute Temperatur“; sie wird in K (Kelvin) angegeben.

Der absolute Nullpunkt liegt bei  $-273,16 \text{ °C} = 0 \text{ K}$ . (Die Einteilung der Kelvin-Skala entspricht der der Celsius-Skala.)

#### Temperatur-Meßverfahren

Das bei der Messung von Gasmengen meistverwendete Temperaturmeßgerät ist das Widerstandsthermometer PT 100.

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muß jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

Tabelle 1. Temperatur-Meßverfahren.

Thermometerart	Arbeitsweise	Meßbereich °C	Fehlergrenzen %
<b>Elektrisches Widerstandsthermometer</b>	Messen des elektrischen Widerstandes eines Platinwiderstandes, der durch den Einfluß der Temperatur veränderlich ist	-200 ... 850	Klasse A und B spez. Nach DIN IEC bzw. siehe Eichordnung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB)
<b>Thermoelement</b>	Messen der thermoelektrischen Spannung zwischen zwei verschiedenen, miteinander stoffschlüssig verbundenen metallischen Werkstoffen	-200 ... 1800 (je nach Werkstoffpaarung siehe DIN 43710 „Thermospannungen und Werkstoffe der Thermopaare“)	± 0,3 ... ± 2 (abhängig von Meßtemperatur und Werkstoffpaarung)
<b>Flüssigkeits-thermometer</b>	Messen der durch Wärme verursachten Längenänderung einer Flüssigkeitssäule	abhängig vom Füllmittel (Quecksilber: -38,87 ... + 625; Pentan: -200 ... + 20; Äthylalkohol: -110 ... + 50)	siehe Eichordnung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB)
<b>Flüssigkeitsfeder-thermometer</b>	Messen der durch Innendruck hervorgerufenen Verformung einer Bourdonfeder	-35 ... + 500 bei Quecksilber	1 ... 2
<b>Metallausdehnungs-thermometer</b>	Messen der Ausdehnungsdifferenz zwischen zwei verschiedenen Metallen	0 ... 1000	1 ... 2
<b>Bimetall-Thermometer</b>	Messen der Formänderung eines Bimetallstreifens	-50 ... + 400	1 ... 3

**Meßtechnische Hinweise**

Der Temperaturfühler muß so beschaffen und angeordnet sein, daß er die Temperatur des Gases schnell annimmt. Verfälschende äußere Temperatureinflüsse, zum Beispiel Luftzug, müssen ausgeschlossen werden. Bei Messungen mit geeichten Thermometern ist die im Eichschein angegebene Eintauchtiefe einzuhalten, anderenfalls entstehen Meßfehler.

**1.1.3 Druck**

Die Druckeinheiten sind in DIN 1314 „Druck; Begriffe, Einheiten“ genormt. Im Internationalen Einheitssystem (SI) ist die Druckeinheit mit Newton/Quadratmeter (N/m<sup>2</sup>) festgelegt. Siehe hierzu Tabelle 2. Die Druckmeßgeräte sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 2. Umrechnungstabelle für Druckeinheiten.

	Pa	bar	mmWS (4° C)	PSI	Torr
1 Pa	1	10 <sup>-5</sup>	0,102	0,145x10 <sup>-3</sup>	7,5 10 <sup>-3</sup>
1 bar	10 <sup>5</sup>	1	10197,4	14,504	750,06
1 mmWS (4 °C)	9,806	9,806x10 <sup>-5</sup>	1	1,422 10 <sup>-3</sup>	0,0735
1 PSI	6894,8	0,0689	703,09	1	51,71
1 Torr (mmHg, 0 °C)	133,32	1,33 10 <sup>-3</sup>	13,595	0,0193	1

Tabelle 3. Druckmeßgeräte.

Bezeichnung	Meßprinzip	min./max. Meßbereich Überdruck in bar	Bemerkungen
<b>Flüssigkeitsmanometer:</b>	Auslenken einer Flüssigkeitssäule bei Druckaufgabe	abhängig von der Länge des Rohres und dem spezifischen Gewicht der Sperrflüssigkeit	Einsatz vorwiegend für Labor- und Kalibrierzwecke, Flüssigkeitsaustritt bei plötzlichen Druckänderungen
U-Rohr			
Schrägrohrmanometer	für sehr kleine Drücke		empfindlich gegen Neigungsänderungen
<b>Mechanische Druckmeßgeräte</b>	elastische Formänderung des Meßgliedes		Allgemein: örtlich anzeigende Geräte im Industriestandard für schweißtechnische Verfahren Große Variantenvielfalt: Material, Nenngröße, Zulassung, Ex-Schutz, Genauigkeitsklasse: 0,6 / 1,0 / 1,6 / 2,5 Zubehör: Druckmittler, Überdrucksicherung, Flammendurchschlagsicherung, Grenzsignalgeber, elektronische Meßumformer
Rohrfedermanometer		0 ... 0,6 / 0 ... 1000	
Plattenfedermanometer		0 ... 0,25 / 0 ... 25	
Kapselfedermanometer		0 ... 0,0025 / 0 ... 0,6	

Tabelle 3. Fortsetzung.

Bezeichnung	Meßprinzip	min./max. Meßbereich Überdruck in bar	Bemerkungen
<b>Elektronische Druckmeßumformer</b>			Allgemein: elektrische Meßsignale, Hilfsenergie Gleichspannung erforderlich, Geräte im Industriestandard für schweißtechnische Verfahren Große Variantenvielfalt: Material, Nenngröße, Zulassung, Ex-Schutz, Genauigkeitsklasse: 0,6 / 1,0 / 1,6 / 2,5 Zubehör: Druckmittler, Überdrucksicherung, Flammendurchschlagsicherung
piezoresistiv	Druckbelastete Membrane wirkt auf Halbleitermeßbrücke	0 ... 0,04 / 0 ... 1000	
DMS	Druckbelastete Membrane wirkt auf Dünnsfilmsensor	0 ... 10 / 0 ... 600	

Zur Kennzeichnung des Gaszustandes muß der absolute Druck des Gases während der Messung bekannt sein. Mechanische und elektronische Druckmeßgeräte messen meist jedoch nur den Differenzdruck zum Atmosphärendruck (Relativdruck), Bild 1. Zur Bestimmung des Absolutdruckes muß der zum Zeitpunkt der Messung herrschende Atmosphärendruck zum Relativdruck addiert werden.

Mechanische und elektronische Druckmesser können aber auch zur Messung des Absolutdruckes ausgelegt werden. Bei der Geräteauswahl ist daher auf diese Unterscheidung zu achten.

- 1 Meßumformer
- 2 Absperrventil
- 3 Meßleitung
- 4 Entnahmeabsperrventil
- 5 Prozebleitung
- 6 Meßgerätehalter

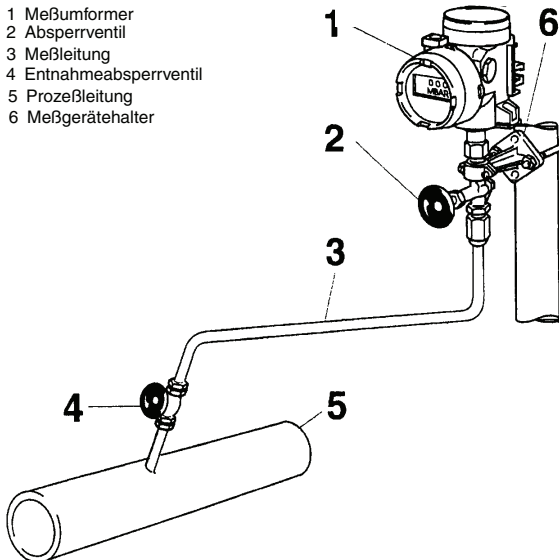


Bild 1. Druckmessung mit einem elektrischen Druckmeßumformer.

#### 1.1.4 Dichte und spezifisches Gewicht

Die Dichte eines Gases ist definiert als

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Die Dichte eines Gases hängt von Druck und Temperatur ab. Sie wird für 0 °C und 1,0133 bar als Normdichte  $\rho_n$  angegeben. Die Umrechnung vom Betriebszustand eines Gases auf den Normzustand folgt der Beziehung

$$\rho_n = \rho \frac{T_n p}{T_n p} \quad (3)$$

Vielfach wird auch mit dem auf Luft bezogenen Dichteverhältnis gearbeitet

$$d_v = \frac{\rho}{\rho_L} = \frac{\rho}{1,293} \quad (4)$$

#### 1.1.5 Dynamische Zähigkeit

Die dynamische Zähigkeit oder dynamische Viskosität eines Gases ist die auf die Flächeneinheit bezogene Schubkraft zwischen zwei parallelen Grenzflächen eines Gasstromes, die sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit gleichförmig und parallel zueinander verschieben. Sie wächst mit steigender Temperatur und ist praktisch bis etwa 10 bar vom Druck unabhängig.

Alle Strömungsvorgänge werden durch die dynamische Zähigkeit des Gases beeinflusst, somit auch die Mengenummessung von Gasen in strömendem Zustand.

Die Werte für die dynamische Zähigkeit  $\eta$  sind in Abhängigkeit von der Temperatur für viele technisch bedeutsame Gase bekannt (siehe zum Beispiel [10]).

Vergleichsweise einfach und sicher wird die Zähigkeit des Gases oder Gasgemisches berücksichtigt, wenn die Meßgeräte für den im Meßfall vorliegenden Betriebszustand kalibriert werden (siehe dazu den folgenden Abschnitt).

#### 1.2 Kalibrierung, Justierung, Eichung

Beim Messen können Abweichungen des gemessenen Wertes vom wahren Wert durch systematische Fehler des Meßgerätes oder der Meßeinrichtung, durch umweltbedingte Einflüsse wie beispielsweise Raumtemperatur, Luftdruck und/oder durch die die Anzeige verfälschenden Eigenschaften des Gases, zum Beispiel Zusammensetzung, Temperatur, Druck, verursacht werden.

Eine rechnerische Korrektur des Meßwertes setzt die zahlenwertmäßige Kenntnis der verfälschenden Einflußgrößen voraus, deren exakte Bestimmung oft aufwendig oder unmöglich ist.

Es ist deshalb üblich, die das Ergebnis verfälschenden Verfahrens- und Geräteeinflüsse möglichst in ihrer Gesamtheit durch Vergleiche mit definierten Größen auf meßtechnischem Wege so zu erfassen, daß die Anzeige ein bereits korrigierter Meßwert ist.

DIN 1319-1 „Grundbegriffe der Meßtechnik; Messen, Zählen, Prüfen“ [1] gliedert die Maßnahmen zu einer derartigen Anzeige-korrektur in Kalibrieren, Justieren und Eichen.

##### 1.2.1 Kalibrieren (Einmessen)

Nach DIN 1319 ist Kalibrieren das Feststellen des Zusammenhanges zwischen der Ausgangsgröße (zum Beispiel angezeigte Gasmenge) und Eingangsgröße (zum Beispiel wahre Gasmenge). Da die wahre Gasmenge in der Regel nicht genau bekannt ist, sondern vom Meßgerät bestimmt werden soll, ist eine Kalibrierung innerhalb der Anwendung in der Regel nicht möglich. Im ausgebauten Zustand ist eine Kalibrierung nur dann möglich, wenn ein geeignetes Kalibriernormal verfügbar ist, dessen Genauigkeit (z. B. 0,4 % vom Meßwert) gleich oder besser ist als die des zu kalibrierenden Meßgerätes (z. B. 1 % vom Meßwert). Dies führt dazu, daß Genauigkeitsforderungen entsprechende Kalibrierungen von Gasmengendurchflußmeßgeräten in der Regel von qualifizierten Laboratorien durchzuführen sind. Geeignete Institute haben sich dem Deutschen Kalibrierdienst (DKD) angeschlossen. Diese werden regelmäßig von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) überprüft.