

Durchflußmessung von Gasen mit Venturidüsen bei kritischer Strömung

(ISO 9300 : 1990)
Deutsche Fassung EN ISO 9300 : 1995

DIN**EN ISO 9300**

ICS 17.120.10

Deskriptoren: Durchflußmessung, Gas, Strömung, Venturidüse, Meßgerät

Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles (ISO 9300 : 1990);
German version EN ISO 9300 : 1995

Mesure de débit de gaz au moyen de Venturi-tuyères en régime critique (ISO 9300 : 1990);
Version allemande EN ISO 9300 : 1995

Die Europäische Norm EN ISO 9300 : 1995 hat den Status einer Deutschen Norm.

Nationales Vorwort

Die Internationale Norm ISO 9300 : 1990 "Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles" (veröffentlicht als Entwurf DIN ISO 9300, Ausgabe Juli 1991) des Technischen Komitees ISO/TC 30 "Durchflußmessung in geschlossenen Leitungen" wurde durch den Beschluß der CEN-Mitglieder unverändert als Europäische Norm DIN EN ISO 9300 : 1995 übernommen.

Es handelt sich um eine Grundlagennorm für die Kalibrierung von Durchflußmeßgeräten und -einrichtungen für die Messung von Gasen. Eine entsprechende DIN-Norm bestand nicht.

Für die im Anhang E zitierten Internationalen Normen wird im folgenden auf die entsprechende Deutsche Norm hingewiesen:

ISO 4006 siehe DIN EN 24006

Internationale Patentklassifikation

G 01 F 001/44

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise in nationalen Zusätzen

DIN EN 24006 Durchflußmessung von Fluiden in geschlossenen Leitungen — Begriffe und Formelzeichen (ISO 4006 : 1991); Deutsche Fassung EN 24006 : 1993

Fortsetzung 16 Seiten EN

Normenausschuß Primäre Meßgeräte und -einrichtungen (NPM) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

ICS 17.120.10

Deskriptoren: Durchflußmessung, Gas, Gasströmung, Röhre, Strömung, Strömungsmessung, Venturirohr

Deutsche Fassung

**Durchflußmessung von Gasen mit Venturidüsen
bei kritischer Strömung
(ISO 9300 : 1990)**

Measurement of gas flow by means of critical
flow Venturi nozzles (ISO 9300 : 1990)

Mesure de débit de gaz au moyen de Venturi-
tuyères en régime critique (ISO 9300 : 1990)

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 1995-03-07 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen. CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien und dem Vereinigten Königreich.

CEN

EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation

Zentralsekretariat: rue de Stassart 36, B-1050 Brüssel

Vorwort

Diese Europäische Norm wurde durch CEN von der Arbeit des Technischen Komitees ISO/TC 30 "Measurement of fluid flow in closed conduits" der "International Organization for Standardization" (ISO) übernommen.

Diese Europäische Norm muß den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis September 1995, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis September 1995 zurückgezogen werden.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind folgende Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen:

Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien und das Vereinigte Königreich.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm ISO 9300 : 1990 wurde von CEN ohne jegliche Änderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	3	7 Berechnungsverfahren	9
2 Begriffe und Formelzeichen	3	7.1 Massendurchfluß	9
2.1 Begriffe	3	7.2 Durchflußkoeffizient	9
2.2 Formelzeichen	4	7.3 Kritische Durchflußfunktion für reales Gas	10
3 Grundgleichungen	5	7.4 Beiwert der kritischen Strömung von realem Gas	10
3.1 Zustandsgleichung	5	7.5 Umrechnung des gemessenen Druckes	
3.2 Durchfluß bei idealen Bedingungen	5	und der Temperatur auf den Ruhezustand	10
3.3 Durchfluß bei realen Bedingungen	5	7.6 Maximal zulässiger Druck auf der Auslaufseite	10
4 Anwendungen, für die das Verfahren geeignet ist	6	8 Unsicherheiten bei der Durchflußmessung	11
5 Norm-Venturidüsen bei kritischer Strömung	6	8.1 Allgemeines	11
5.1 Allgemeine Anforderungen	6	8.2 Praktische Berechnung der Meßunsicherheit	11
5.2 Ausführung	6	Anhang A Durchflußkoeffizienten von Venturidüsen	12
6 Einbauanforderungen	8	Anhang B Tabellen der kritischen Durchfluß-	
6.1 Allgemeines	8	funktion C_* für verschiedene Gase	12
6.2 Einlaufleitung	8	Anhang C Berechnung des Beiwertes der kritischen	
6.3 Großer Raum auf der Einlaufseite	8	Strömung für Erdgas	14
6.4 Anforderungen an die Auslaufseite	8	Anhang D Literatur zu den Durchflußkoeffizienten	
6.5 Druckmessung	8	der kritischen Venturidüsen	16
6.6 Entleerungsbohrungen	9	Anhang E Literaturhinweise	16
6.7 Temperaturmessung	9		
6.8 Messung der Dichte	9		

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt die geometrische Gestalt und das Verfahren für die Anwendung (Einbau in ein System und Arbeitsbedingungen) von Venturidüsen fest, die den Massendurchfluß in einem von Gas durchströmten System bei kritischer Strömung bestimmen. Sie enthält Angaben für die Berechnung des Durchflusses und der zugehörigen Unsicherheit.

Sie ist für Venturidüsen anwendbar, in deren Halsteil das Gas auf die kritische Strömungsgeschwindigkeit beschleunigt wird (dies entspricht der örtlichen Schallgeschwindigkeit). Bei der kritischen Geschwindigkeit hat der Massendurchfluß des durch die Venturidüse strömenden Gases, unter den auf der Einlaufseite vorhandenen Bedingungen, sein Maximum.

Diese Internationale Norm ist nur anwendbar für einphasige Gase bei stationärer Strömung. Die Venturidüse bei kritischer Strömung, die in dieser Norm behandelt wird, kann nur innerhalb gegebener Grenzen eingesetzt werden, d. h. Grenzen für das Verhältnis Durchmesser des Halsteils zum Durchmesser des Einlaufrohres und Grenzwerte für die Reynoldszahl im Halsteil. Die Norm beschreibt Venturidüsen, die in ausreichend häufigen Versuchen direkt kalibriert wurden, so daß aus diesen Ergebnissen für gleiche Anwendungsbedingungen Koeffizienten mit angebbaren Grenzwerten für die Unsicherheit abgeleitet werden konnten.

Die Venturidüsen dieser Norm werden als "Primärgeräte" bezeichnet. Andere für die Durchflußmessung benötigte Geräte sind als "Sekundärgeräte" bekannt. Diese Internationale Norm behandelt hauptsächlich Primärgeräte, Sekundärgeräte werden nur gelegentlich behandelt.

Diese Internationale Norm enthält Angaben für Fälle, wo

- a) die Einlaufstrecke vor der Venturidüse einen kreisförmigen Querschnitt aufweist oder
- b) davon ausgegangen werden kann, daß an der Einlaufseite der Venturidüse ein großer Raum vorhanden ist.

2 Begriffe und Formelzeichen

2.1 Begriffe

Für die Anwendung dieser Internationalen Norm gelten die nachstehenden Begriffe.

2.1.1 Druckmessung

2.1.1.1 Wand-Druckentnahme

Bohrungen in der Rohrleitungswand zur Wirkdruckentnahme, deren Kanten mit der Innenwand der Rohrleitung bündig sind. Die Druckentnahme muß so ausgeführt sein, daß der Druck innerhalb der Bohrung der statische Druck an diesem Punkt der Leitung ist.

2.1.1.2 Statischer Druck eines Gases

Örtlicher Druck des strömenden Gases, welcher durch ein Druckmeßgerät an einer Wand-Druckentnahme gemessen wird.

ANMERKUNG: In dieser Internationalen Norm wird nur der Wert für den absoluten statischen Druck benutzt.

2.1.1.3 Ruhedruck eines Gases

Der Druck, der in einem strömenden Gas entstehen würde, wenn die Geschwindigkeit isentrop auf Null verzögert wird.

ANMERKUNG: In dieser Internationalen Norm wird nur der Wert für den absoluten Ruhedruck benutzt.

2.1.2 Temperaturmessung

2.1.2.1 Statische Temperatur eines Gases

Örtliche Temperatur des strömenden Gases.

ANMERKUNG: In dieser Norm wird nur der Wert für die absolute statische Temperatur benutzt.

2.1.2.2 Ruhetemperatur eines Gases

Die Temperatur, die in einem strömenden Gas entstehen würde, wenn die Geschwindigkeit isentrop auf Null verzögert wird.

ANMERKUNG: In dieser Norm wird nur der Wert für die absolute Ruhetemperatur benutzt.

2.1.3 Düsen bei kritischer Strömung

2.1.3.1 Venturidüse

Drosselgerät mit einem sich verengenden Einlaufteil und dem sich erweiternden Expansionsteil, eingebaut in eine Einrichtung zur Messung des Durchflusses.

2.1.3.2 Halsteil

Teil der Venturidüse mit dem kleinsten Durchmesser.

2.1.3.3 Venturidüse bei kritischer Strömung

Venturidüse, bei der durch die geometrische Gestalt und die Anwendungsbedingungen der Durchfluß kritisch ist.

2.1.4 Strömung

2.1.4.1 Massendurchfluß q_m

Durch die Venturidüse, durchgeflossene Masse eines Gases, dividiert durch die Zeit.

ANMERKUNG: In dieser Internationalen Norm bedeutet der Ausdruck "Durchfluß" immer den Massendurchfluß.

2.1.4.2 Reynoldszahl im Halsteil Re_d

Kenngroße der Dimension 1, errechnet aus der Geschwindigkeit des Gases, der Dichte des Gases im Halsteil der Düse und der dynamischen Viskosität des Gases im Ruhezustand vor der Düse. Die charakteristische Abmessung ist der Durchmesser des Halsteils bei Betriebsbedingungen. Diese Reynoldszahl im Halsteil ist durch die nachstehende Gleichung gegeben:

$$Re_d = \frac{4 q_m}{\pi d \mu_0}$$

2.1.4.3 Isentropenexponent κ

Verhältnis der relativen Druckschwankungen zu entsprechenden relativen Schwankungen der Dichte bei elementaren umkehrbar adiabatischen (isentropischen) Umwandlungsbedingungen.

$$\kappa = \frac{q}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial q} \right)_s = \frac{qc^2}{p}$$

Hierin bedeuten:

- p absoluter statischer Druck des Gases;
- q Dichte des Gases;
- c örtliche Schallgeschwindigkeit.

Index s bedeutet "bei konstanter Entropie".

Für ein ideales Gas ¹⁾ ist κ gleich dem Adiabatenkoeffizienten γ , der 5/3 bei einatomigen, 7/5 bei zweiatomigen und 9/7 bei dreiatomigen Gasen usw. ist.

2.1.4.4 Durchflußkoeffizient C

Verhältnis des tatsächlichen Durchflusses zum idealen Durchfluß, der sich bei eindimensionaler isentroper Strömung bei gleichem Ruhezustand auf der Einlaufseite ergäbe. Dieser Koeffizient berichtigt den Einfluß der Viskosität und der Krümmung des Strömungsprofils. Für die in dieser Norm angegebenen Düsenausführungen und Einbaubedingungen ist er nur von der auf den Düsenhals bezogenen Reynoldszahl abhängig.

¹⁾ In realen Gasen haben die Kräfte, die zwischen den Molekülen wirken, ebenso wie das Volumen, das von den Molekülen besetzt wird, eine nachweisbare Wirkung auf das Verhalten des Gases. In idealen Gasen können die intermolekularen Kräfte und das von den Molekülen besetzte Volumen vernachlässigt werden.

2.1.4.5 Kritische Strömung

Größter Durchfluß, der sich durch eine spezielle Venturidüse für einen vorgegebenen Zustand im Einlauf einstellen kann. Kritische Strömung herrscht, wenn die Geschwindigkeit im Halsteil der Düse gleich der örtlichen Schallgeschwindigkeit ist (akustische Geschwindigkeit), d.h. der Geschwindigkeit, mit der sich kleine Druckstörungen ausbreiten.

2.1.4.6 Kritische Durchflußfunktion C_*

Funktion, die den Einfluß der thermodynamischen Eigenschaften im Idealfall isentroper eindimensionaler Strömung zwischen Einlauf und Halsteil einer Venturidüse angibt. Sie hängt von der Beschaffenheit des Gases und vom Ruhezustand ab (siehe Abschnitt 3.2).

2.1.4.7 Beiwert der kritischen Strömung von realem Gas C_R
Alternative, meist für Gasgemische übliche Form der Darstellung der kritischen Durchflußfunktion. Er hängt mit der kritischen Durchflußfunktion wie folgt zusammen:

$$C_R = C_* Z^{1/2}$$

2.1.4.8 Kritisches Druckverhältnis r_*

Verhältnis des absoluten statischen Druckes des Gases im Halsteil der Düse zum absoluten Ruhedruck beim maximalen Massendurchfluß des Gases durch die Düse.

2.1.4.9 Ausgangsdruck-Verhältnis

Verhältnis des absoluten statischen Druckes hinter der Düse zum absoluten Gesamtdruck im Einlauf, bei welchem die Strömung kritisch wird.

2.1.4.10 Machzahl Ma_1 (für die statischen Zustandsgrößen (Druck und Temperatur) im Einlauf der Düse)

Verhältnis der mittleren axialen Strömungsgeschwindigkeit zur Schallgeschwindigkeit des Fluids am Eintritt der Venturidüse.

2.1.4.11 Realgasfaktor Z

Korrekturfaktor, der die Abweichung vom idealen Gasgesetz für das Verhalten von realem Gas bei vorgegebenen Druck- und Temperaturbedingungen numerisch ausdrückt. Er wird definiert durch die Gleichung

$$Z = \frac{pM}{\rho RT}$$

Hierin ist R , die molare Gaskonstante, gleich 8,3143 J/(mol · K).

2.1.5 Unsicherheit

Geschätzter Wertebereich, innerhalb dessen der wahre Wert einer Meßgröße mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegt. In einigen Fällen – aber nur, wenn der Wert einer Größe, die zur Berechnung des Durchflusses benutzt wird, mit einem Vertrauensniveau von mehr als 95 % bekannt ist – wird das Vertrauensniveau größer sein als 95 %. In einem solchen Fall sollte auf ISO 5168 Bezug genommen werden.

2.2 Formelzeichen

Die in dieser Internationalen Norm benutzten Formelzeichen sind in Tabelle 1 festgelegt.

Tabelle 1: Formelzeichen

Formelzeichen	Größe	Dimensionen ¹⁾	SI-Einheit
A_2	Querschnittsfläche des Ausgangs der Venturidüse	L^2	m^2
A_*	Querschnittsfläche des Halsteils der Venturidüse	L^2	m^2
C	Durchflußkoeffizient	1	
C_R	Beiwert der kritischen Strömung von realem Gas (für die eindimensionale kritische Strömung von realem Gas)	1	
C_*	Kritische Durchflußfunktion (für eindimensionale Strömung von realem Gas)	1	
C_{*i}	Kritische Durchflußfunktion (für eindimensionale isentrope Strömung von idealem Gas)	1	
D	Durchmesser der Leitung im Einlaufteil	L	m
d	Durchmesser am Halsteil der Venturidüse	L	m
E	Relative Meßunsicherheit	1	
e	Absolute Meßunsicherheit	2)	
M	Molare Masse	M	$kg\ kmol^{-1}$
Ma_1	Machzahl für die statischen Zustandsgrößen im Einlauf der Düse	1	
p_1	Absoluter statischer Druck eines Gases im Einlauf der Düse	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
p_2	Absoluter statischer Druck eines Gases im Auslauf der Düse	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
1) M = Masse; L = Länge; T = Zeit; θ = Temperatur			
2) Die Dimension dieses Parameters ist die der Größe, auf die es sich bezieht.			

(fortgesetzt)