

DIN EN ISO 9300

ICS 17.120.10

Ersatz für
DIN EN ISO 9300:1995-04**Durchflussmessung von Gasen mit Venturidüsen bei kritischer Strömung (ISO 9300:2005);
Deutsche Fassung EN ISO 9300:2005**

Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles (ISO 9300:2005);
German version EN ISO 9300:2005

Mesure de débit de gaz au moyen de Venturi-tuyères en régime critique (ISO 9300:2005);
Version allemande EN ISO 9300:2005

Gesamtumfang 49 Seiten

Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG) im DIN

Nationales Vorwort

Diese Norm wurde vom NATG-D.2 „Durchfluss und Menge“ auf der Grundlage der ISO 9300:2005 erarbeitet.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 9300:1995-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Festlegungen und Angaben für Venturidüsen mit hochgenau bearbeiteten torusförmigen Halsteil aufgenommen;
- b) Tabellen bei kritischen Durchflussfunktion C_* für verschiedene Gase erweitert;
- c) zur genauen Darstellung der C_* -Werte wurde eine empirische Gleichung und Koeffizienten für diese Gleichung für verschiedene Gase im Anhang B aufgenommen;
- d) im Anhang C wurde die Berechnung des kritischen Massendurchflusses von Erdgas ausführlicher dargestellt;
- e) der Anhang D enthält neu, Angaben zum Korrelationsfaktor für den Massendurchfluss von atmosphärischer Luft;
- f) neu aufgenommen wurde im Anhang E die Berechnung des kritischen Massendurchflusses für Düsen bei kritischer Strömung bei einem Durchmesser Verhältnis Halsteil/Rohr $\beta > 0,25$.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 9300: 1995-04

Deutsche Fassung

Durchflussmessung von Gasen mit Venturidüsen
bei kritischer Strömung
(ISO 9300:2005)

Measurement of gas flow by means of critical
flow Venturi nozzles
(ISO 9300:2005)

Mesure de débit de gaz au moyen de Venturi-tuyères
en régime critique
(ISO 9300:2005)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 15. Juli 2005 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 Management-Zentrum 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 Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 9300:2005) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 30 „Measurement of fluid flow in closed conduits“ in Zusammenarbeit mit CMC ausgearbeitet.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Februar 2006, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Februar 2006 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 9300:1995.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 9300:2005 wurde vom CEN als EN ISO 9300:2005 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	4
2 Begriffe	4
2.1 Druckmessung	4
2.2 Temperaturmessung	5
2.3 Venturidüsen	5
2.4 Strömung	5
2.5 Messunsicherheit	7
3 Symbole	8
4 Grundgleichungen	9
4.1 Zustandsgleichung	9
4.2 Durchfluss bei idealen Bedingungen	9
4.3 Durchfluss bei realen Bedingungen	10
4.4 Kritischer Massendurchfluss	10
5 Anwendungen, für die das Messverfahren geeignet ist	10
6 Norm-Venturidüsen bei kritischer Strömung	11
6.1 Allgemeine Anforderungen	11
6.1.1 Werkstoffe	11
6.1.2 Oberflächenbeschaffenheit von Halsteil und Einlauf	11
6.1.3 Diffusor	12
6.2 Ausführung	12
6.2.1 Allgemeines	12
6.2.2 Venturidüse mit torusförmigem Halsteil	12
6.2.3 Venturidüse mit zylindrischem Halsteil	13
7 Einbauanforderungen	14
7.1 Allgemeines	14
7.2 Rohrleitung im Einlauf	15
7.3 Großer Raum auf der Einlaufseite	15
7.4 Anforderungen an die Auslaufseite	16
7.5 Druckmessung	16
7.6 Entleerungsbohrungen	17
7.7 Temperaturmessung	17
7.8 Messung der Dichte	17
7.9 Berechnete Dichte	18
8 Berechnungsverfahren	18
8.1 Massendurchfluss	18
8.2 Durchflusskoeffizient C_d	18
8.3 Kritische Durchflussfunktion, C_* und Beiwert der kritischen Strömung, C_R von realem Gas	19
8.4 Umrechnung des gemessenen Druckes und der Temperatur auf den Ruhezustand	19
8.5 Maximal zulässiger Druck auf der Auslaufseite	20
9 Unsicherheiten bei der Durchflussmessung	21
9.1 Allgemeines	21
9.2 Praktische Berechnung der Messunsicherheit	22
Anhang A (normativ) Durchflusskoeffizienten von Venturidüsen	23
Anhang B (normativ) Tabellen der kritischen Durchflussfunktion C_* für verschiedene Gase	25
Anhang C (normativ) Berechnung des kritischen Massendurchflusses von Erdgasgemischen	36
Anhang D (normativ) Korrektionsfaktor für den Massendurchfluss von atmosphärischer Luft	41
Anhang E (normativ) Berechnung des kritischen Massendurchflusses für Düsen bei kritischer Strömung mit einem Durchmesser Verhältnis Halsteil/Rohr $\beta > 0,25$	42
Literaturhinweise	45

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) und nur für einphasige Gase bei stationärer Strömung. Bei der kritischen Geschwindigkeit hat der Massendurchfluss des durch die Venturidüse strömenden Gases, unter den auf der Einlaufseite vorhandenen Bedingungen, sein Maximum.

Die Venturidüse bei kritischer Strömung (kritische Düse), 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. Diese Internationale 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.

Sie enthält Angaben für Fälle, wo

- die Einlaufstrecke vor der Venturidüse einen kreisförmigen Querschnitt aufweist oder
- davon ausgegangen werden kann, dass an der Einlaufseite der Venturidüse oder an der Einlaufseite einer als Einheit zusammengefasste Gruppe von Venturidüsen ein großer Raum vorhanden ist. Die zusammengefasste Einheit eröffnet die Möglichkeit, Venturidüsen parallel einzubauen um damit größte Durchflüsse zu erzielen.

Für hochgenaue Messungen bei niedrigen Reynoldszahlen werden hochgenau bearbeitete Venturidüsen beschrieben.

2 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

2.1 Druckmessung

2.1.1

Wand-Druckentnahme

Bohrungen in der Rohrleitungswand, deren Kanten mit der Innenwand der Rohrleitung bündig sind

ANMERKUNG Die Druckentnahme muss so ausgeführt sein, dass der Druck innerhalb der Bohrung der statische Druck an diesem Punkt der Leitung ist.

2.1.2

statischer Druck eines Gases

Betriebsdruck des strömenden Gases, gemessen durch ein Druckmessgerät, das an die Wand-Druckentnahme angeschlossen ist

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

2.1.3

Ruhedruck

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.

2.2 Temperaturmessung

2.2.1

statische Temperatur

örtliche Temperatur eines strömenden Gases

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

2.2.2

Ruhetemperatur

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.

2.3 Venturidüsen

2.3.1

Venturidüse

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

2.3.2

üblich bearbeitete Venturidüse

Venturidüse, bearbeitet auf einer Drehmaschine und mit polierter Oberfläche, um die gewünschte Glätte zu erzielen

2.3.3

hochgenau bearbeitete Venturidüse

Venturidüse, bearbeitet auf einer hochgenauen Drehmaschine, um Hochglanz ohne Polierung zu erzielen

2.3.4

Halsteil

Teil der Venturidüse mit dem kleinsten Durchmesser

2.3.5

Venturidüse bei kritischer Strömung (kritische Düse)

Venturidüse, bei der durch die geometrische Gestalt und die Anwendungsbedingungen der Durchfluss im Halsteil der Düse kritisch wird

2.4 Strömung

2.4.1

Massendurchfluss

q_m

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

ANMERKUNG In dieser Internationalen Norm bedeutet die Benennung „Durchfluss“ immer Massendurchfluss.

2.4.2

Reynoldszahl im Halsteil

Re_{nt}

Kenngroße der Dimension 1, errechnet aus dem Gasdurchfluss und der dynamischen Viskosität des Gases im Ruhezustand vor der Düse.

ANMERKUNG Die charakteristische Abmessung ist der Durchmesser des Halsteils bei Ruhebedingungen. Diese Reynoldszahl im Halsteil ist durch die nachstehende Gleichung gegeben:

$$Re_{nt} = \frac{4 q_m}{\pi d \mu_0}$$

2.4.3

Isentropenexponent

κ

Verhältnis der relativen Druckschwankungen zu entsprechenden relativen Schwankungen der Dichte bei elementaren umkehrbar adiabatischen (isentropen) Zustandsänderungen

ANMERKUNG 1 Der Isentropenexponent ist durch die Gleichung

$$\kappa = \frac{\rho}{p} \left(\frac{dp}{d\rho} \right)_s = \frac{\rho c^2}{p}$$

gegeben.

Dabei ist

- p der absolute statische Druck des Gases;
- ρ die Dichte des Gases;
- c die örtliche Schallgeschwindigkeit;
- s bedeutet „bei konstanter Entropie“.

ANMERKUNG 2 Für ein ideales Gas ist κ gleich dem Adiabatenkoeffizienten γ , der 5/3 bei einatomigen, 7/5 bei zweiatomigen und 9/7 bei dreiatomigen Gasen usw. ist.

ANMERKUNG 3 In realen Gasen haben die Kräfte, die zwischen den Molekülen wirken, ebenso wie das Volumen, das von den Molekülen eingenommen wird, eine nachweisbare Wirkung auf das Verhalten des Gases. In idealen Gasen können die intermolekularen Kräfte und das von den Molekülen eingenommene Volumen vernachlässigt werden.

2.4.4

Durchflusskoeffizient

C_d

Verhältnis des tatsächlichen Durchflusses zum idealen Durchfluss eines nicht viskosen Gases, der sich bei eindimensionaler isentroper Strömung bei gleichem Ruhezustand auf der Einlaufseite ergäbe

ANMERKUNG 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 Halsteil bezogenen Reynoldszahl abhängig.

2.4.5

kritische Strömung

größter Durchfluss, der sich bei einer bestimmten Venturidüse für einen vorgegebenen Zustand im Einlauf einstellen lässt

ANMERKUNG Kritische Strömung herrscht, wenn die Geschwindigkeit im Halsteil der Düse gleich der örtlichen Schallgeschwindigkeit ist (akustische Geschwindigkeit), d. h. gleich der Geschwindigkeit ist, mit der sich kleine Druckstörungen ausbreiten.

2.4.6

kritische Durchflussfunktion

C_*

Funktion der Dimension 1, die den Einfluss der thermodynamischen Eigenschaften im Idealfall isentroper eindimensionaler Strömung zwischen Einlauf und Halsteil einer Venturidüse angibt

ANMERKUNG Sie hängt von der Beschaffenheit des Gases und vom Ruhezustand ab (siehe 4.2).

2.4.7

Beiwert der kritischen Strömung von realem Gas

C_R

Alternative, für Gasgemische üblichere Form der Darstellung der kritischen Durchflussfunktion

ANMERKUNG Er hängt mit der kritischen Durchflussfunktion wie folgt zusammen:

$$C_R = C_* \sqrt{Z}$$

2.4.8**kritisches Druckverhältnis** P_*

Verhältnis des absoluten statischen Druckes des Gases im Halsteil der Düse zum absoluten Ruhedruck, bei dem der Massendurchfluss des Gases durch die Düse maximal wird

ANMERKUNG Dieses Verhältnis ist nach der Gleichung in 8.5 berechnet.

2.4.9**Ausgangsdruck-Verhältnis**

Verhältnis des absoluten statischen Druckes hinter der Düse zum absoluten Ruhedruck im Einlauf der Düse

2.4.10**Machzahl** Ma

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

Verhältnis der mittleren axialen Strömungsgeschwindigkeit am Eintritt der Venturidüse zur Schallgeschwindigkeit des Fluids (am Ort der Druckentnahme)

2.4.11**Realgasfaktor** Z

Korrektionsfaktor, der die Abweichung vom idealen Gasgesetz für das Verhalten von realem Gas bei vorgegebenen Druck- und Temperaturbedingungen numerisch ausdrückt.

ANMERKUNG Er wird definiert durch die Gleichung:

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

Dabei ist R die universelle Gaskonstante, gleich 8,314 51 J/(mol · K).

2.5**Messunsicherheit**

Parameter für die Messergebnisse, der den Streubereich der Messwerte charakterisiert, der der Messgröße vernünftigerweise^{N1)} zugeordnet werden muss.

N1) Nationale Fußnote: (d. h. mit 95 % Wahrscheinlichkeit)

3 Symbole

Symbole	Bedeutung	Dimensionen ^a	SI-Einheit
A_2	Querschnittsfläche des Ausgangs der Venturidüse	L^2	m^2
A_{nt}	Querschnittsfläche des Halsteils der Venturidüse	L^2	m^2
C_d	Durchflusskoeffizient	1	
C_R	Beiwert der kritischen Strömung von realem Gas (für die eindimensionale 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
M	Molare Masse	M	$kg\ kmol^{-1}$
Ma_1	Machzahl bezogen auf den Ort der Druckentnahme 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
p_0	Absoluter Ruhedruck eines Gases im Einlauf der Düse	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
p_{nt}	Absoluter statischer Druck eines Gases im Halsteil der Düse	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
p_{*i}	Absoluter statischer Druck eines Gases im Halsteil der Düse für eindimensionale isentrope Strömung von idealem Gas	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
$(p_2/p_0)_i$	Verhältnis von statischem Druck am Ausgang der Düse zum Ruhedruck am Eingang der Düse für eindimensionale isentrope Strömung von idealem Gas	1	
q_m	Massendurchfluss	MT^{-1}	$kg \cdot s^{-1}$
q_{mi}	Massendurchfluss für eindimensionale isentrope Strömung von reibungsfreiem Gas	MT^{-1}	$kg \cdot s^{-1}$
R	Universelle Gaskonstante	$ML^2T^{-2}\Theta^{-1}$	$J \cdot kmol^{-1}K^{-1}$
Re_{nt}	Reynoldszahl im Halsteil der Düse	1	
r_c	Krümmungsradius im Einlauf der Düse	L	m
r_*	Kritisches Druckverhältnis p_{nt}/p_0	1	
U'	Relative Messunsicherheit	1	
T_1	Absolute statische Temperatur des Gases im Einlauf der Düse	Θ	K
T_0	Absolute Ruhetemperatur eines Gases im Einlauf der Düse	Θ	K

Symbole	Bedeutung	Dimensionen ^a	SI-Einheit
T_{nt}	Absolute statische Temperatur des Gases im Halsteil der Düse	Θ	K
v_{nt}	Schallgeschwindigkeit im Halsteil; kritische Strömungsgeschwindigkeit im Halsteil der Düse	LT^{-1}	$m \cdot s^{-1}$
Z	Realgasfaktor	1	
β	Durchmesser Verhältnis d/D	1	
γ	Adiabatenkoeffizient gleich Verhältnis der spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Druck zu der bei konstantem Volumen	1	
δ	Absolute Messunsicherheit	a	a
κ	Isentropenexponent	1	
μ_0	Dynamische Viskosität des Gases im Einlauf der Düse im Ruhezustand	$ML^{-1}T^{-1}$	$Pa \cdot s$
μ_{nt}	Dynamische Viskosität des Gases im Halsteil der Düse	$ML^{-1}T^{-1}$	$Pa \cdot s$
ρ_0	Dichte des Gases im Einlauf der Düse im Ruhezustand	ML^{-3}	$kg \cdot m^{-3}$
ρ_{nt}	Dichte des Gases im Halsteil der Düse	ML^{-3}	$kg \cdot m^{-3}$
M = Masse; L = Länge; T = Zeit; Θ = Temperatur ^a Die Dimension dieses Parameters ist die der Größe, auf die er sich bezieht.			

4 Grundgleichungen

4.1 Zustandsgleichung

Das Verhalten eines realen Gases kann durch die Gleichung

$$\frac{p}{\rho} = \left(\frac{R}{M} \right) TZ \quad (1)$$

beschrieben werden.

4.2 Durchfluss bei idealen Bedingungen

Drei Hauptbedingungen sind zu erfüllen, um den idealen kritischen Durchfluss zu erreichen:

- die Strömung ist eindimensional;
- die Strömung ist isentrop;
- das Gas ist ideal (d. h. $Z = 1$ und $\kappa = \gamma$).

Unter diesen Bedingungen errechnet sich der kritische Durchfluss aus

$$q_{mi} = \frac{A_{nt} C_{*i} p_0}{\sqrt{\left(\frac{R}{M}\right) T_0}} \quad (2)$$

oder

$$q_{mi} = A_{nt} C_{*i} \sqrt{p_0 \rho_0} \quad (3)$$

mit

$$C_{*i} = \sqrt{\gamma \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}}} \quad (4)$$

4.3 Durchfluss bei realen Bedingungen

Für den Durchfluss bei realen Bedingungen ändern sich die Gleichungen für den kritischen Durchfluss wie folgt:

$$q_m = \frac{A_{nt} C_d' C_{*i} p_0}{\sqrt{\left(\frac{R}{M}\right) T_0}} \quad (5)$$

oder

$$q_m = A_{nt} C_d' C_R \sqrt{p_0 \rho_0} \quad (6)$$

mit

$$C_R = C_{*i} \sqrt{Z_0} \quad (7)$$

mit Z_0 als Wert des Realgasfaktors im Ruhezustand im Einlauf der Düse:

$$Z_0 = \frac{p_0 M}{\rho_0 R T_0} \quad (8)$$

Es sollte beachtet werden, dass C_{*i} und C_R nicht gleich C_{*i} ist, weil das Gas nicht ideal ist. C_d' ist kleiner als 1, weil die Strömung nicht eindimensional ist und weil infolge der Reibung eine Grenzschicht entsteht.

4.4 Kritischer Massendurchfluss

Der kritische Massendurchfluss c unter idealen Bedingungen ist $= \frac{q_{mi}}{A_{nt}}$ und $= \frac{q_m}{A_{nt} C_d'}$ bei realen Fließbedingungen.

5 Anwendungen, für die das Messverfahren geeignet ist

Vor einer Anwendung ist zu beurteilen, ob eine Venturidüse zur Messung bei kritischer Strömung eingesetzt werden sollte oder ob andere Durchflussmessgeräte geeigneter sind. Wichtig ist, dass bei diesem Verfahren der Durchfluss durch die Venturidüse unabhängig ist vom Druck auf der Auslaufseite (siehe 8.5), sofern dieser

Druck innerhalb des Bereiches liegt, der für die Durchflussmessung bei kritischer Strömung benutzt werden kann.

Nachstehend einige weitere Gesichtspunkte hierzu:

Für Venturidüsen zur Messung bei kritischer Strömung ist nur eine Messung des Druckes und der Temperatur oder der Dichte vor der Venturidüse erforderlich, da der Zustand im Halsteil nach thermodynamischen Verfahren berechnet werden kann.

Die Geschwindigkeit im Halsteil der Venturidüse zur Messung bei kritischer Strömung ist die für den vorgegebenen Ruhezustand im Einlaufteil maximal mögliche, deshalb ist die Empfindlichkeit gegenüber Einbaustörungen äußerst gering. Davon ausgenommen sind Störungen durch Drall, der im Einlaufteil dieser Venturidüse nicht auftreten darf.

Bei einem Vergleich zwischen Venturidüsen bei kritischer Strömung mit Drosselgeräten nach dem Wirkdruckverfahren im Unterschallbereich sollte beachtet werden, dass im Fall der kritischen Düse der Durchfluss direkt proportional zum absoluten Ruhedruck an der Einlaufseite der Düse ist und nicht wie bei Drosselgeräten im Unterschallbereich zur Quadratwurzel des gemessenen Wirkdrucks.

Der größte Durchflussbereich einer gegebenen Düse bei kritischer Strömung wird im Allgemeinen durch den verfügbaren Bereich von Eingangsdrücken oberhalb des Eintrittsdruckes, bei dem die Strömung kritisch wird, begrenzt.

Bislang werden Venturidüsen bei kritischer Strömung am häufigsten zur Prüfung, Kalibrierung und Durchflussregelung (Durchflussbegrenzung) angewendet.

6 Norm-Venturidüsen bei kritischer Strömung

6.1 Allgemeine Anforderungen

6.1.1 Werkstoffe

Die Venturidüse muss aus für den Anwendungsfall geeigneten Werkstoffen hergestellt werden. Dabei sollten die nachstehenden Angaben beachtet werden:

- a) der Werkstoff sollte sich entsprechend den Anforderungen (siehe 6.1.2 und 6.1.3) an die Oberflächengüte bearbeiten lassen unter Berücksichtigung, dass sich Werkstoffe mit Einschlüssen, Lunkern oder anderen Inhomogenitäten nicht eignen;
- b) der Werkstoff darf auch nach einer Oberflächenbehandlung bei der vorgesehenen Verwendung nicht korrodieren;
- c) der Werkstoff sollte formbeständig sein und ein bekanntes wiederholbares thermisches Ausdehnungsverhalten besitzen, damit eine sachgemäße Korrektur des Durchmessers des Halsteils vorgenommen werden kann (wenn dieser bei einer anderen Temperatur gemessen wurde, als er eingesetzt wird).

6.1.2 Oberflächenbeschaffenheit von Halsteil und Einlauf

Halsteil und torusförmiger Einlauf bis in den Diffusor der Venturidüse müssen an der Oberfläche so glatt sein, dass ein arithmetischer Mittenrauwert $R_a = 15 \times 10^{-6} d$ und $0,04 \mu m$ für üblich und hochgenau bearbeitete Venturidüsen nicht überschritten wird.

Halsteil und torusförmiger Einlauf bis in den Diffusor müssen frei von Schmutz oder anderen Verunreinigungen sein.

Für üblich bearbeitete Venturidüsen ist die Verwendung einer Venturidüse mit torusförmigem Halsteil mit einem Durchmessersprung am Halsteil von nicht mehr als 10 % des Durchmessers des Halsteils zulässig [10].

6.1.3 Diffusor

Die Form des konischen Diffusors der Venturidüse muss geprüft werden, um sicherzustellen, dass Absätze, Formänderungen, Unregelmäßigkeiten und Rundheitsabweichungen 1 % des örtlichen Durchmessers nicht überschreiten. Der arithmetische Mittenrauwert R_a für den Diffusor darf den Wert $10^{-4}d$ nicht überschreiten.

6.2 Ausführung

6.2.1 Allgemeines

Es gibt zwei Ausführungen von Standard-Venturidüsen bei kritischer Strömung, die Venturidüse mit torusförmigem Halsteil und die Venturidüse mit zylindrischem Halsteil.

6.2.2 Venturidüse mit torusförmigem Halsteil

6.2.2.1 Die Venturidüse muss den Angaben nach Bild 1 entsprechen.

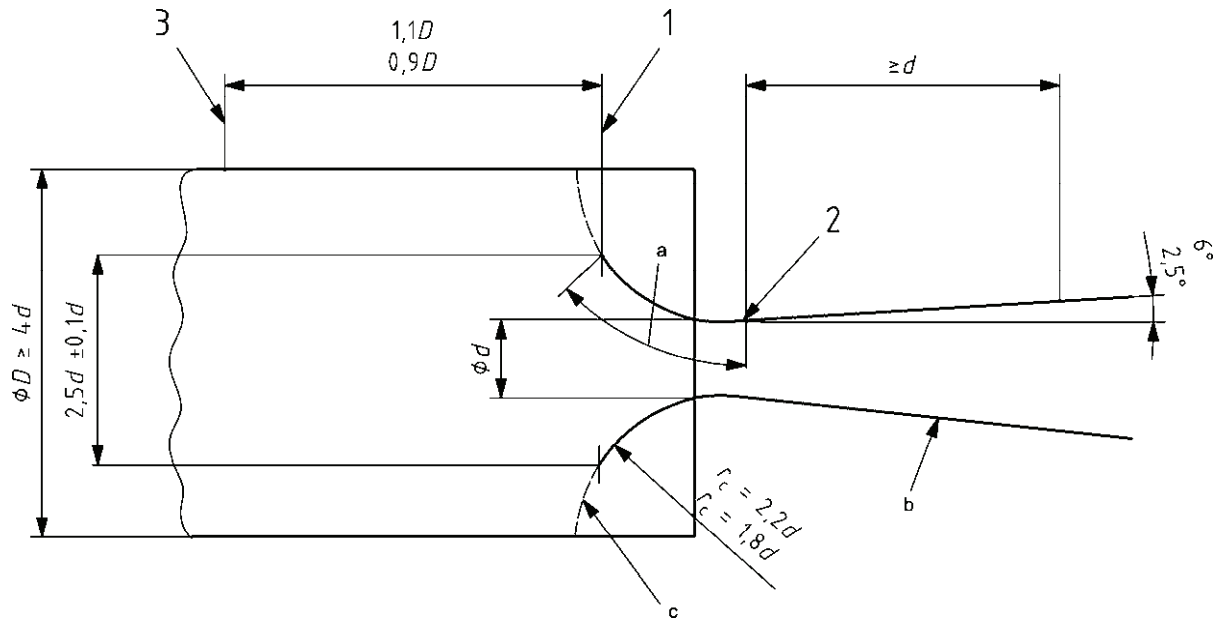
6.2.2.2 Für Zwecke der Anordnung anderer Teile der Messeinrichtung mit einer Venturidüse wird als Eintrittsebene der Venturidüse die Ebene definiert, die senkrecht zur Symmetrieachse steht und aus der der Torus einen Kreisquerschnitt mit einem Durchmesser von $2,5d \pm 0,1d$ herausschneidet.

6.2.2.3 Der sich verengende Einlaufteil der Venturidüse muss Teil eines Torus sein, der sich stromaufwärts der Eintrittsebene aufweitet und stromabwärts der Eintrittsebene (siehe 6.2.2.2) in den engsten Querschnitt (Halsteil) einmündet und tangential in den Diffusor übergeht. Der Umriss des vorgeschalteten Systems (kreisrundes Rohr oder großer Raum) vor der Eintrittsebene ist nicht festgelegt, außer dass die Querschnittsfläche an jeder axialen Position mindestens den kreisrunden Querschnitt des Torus einschließen muss.

6.2.2.4 Die torusförmige Kontur der Venturidüse, die sich zwischen der Eintrittsebene und dem Diffusor befindet (siehe Bild 1), darf von der Form des Torus um nicht mehr als $\pm 0,001d$ abweichen. Der Krümmungsradius r_c dieser torusförmigen Fläche in einer Ebene, in der die Symmetrieachse verläuft, muss $1,8d$ bis $2,2d$ betragen.

6.2.2.5 Der Diffusor der Venturidüse stromabwärts von der Stelle, wo der Torus tangential in den Diffusor übergeht, muss einen Kegelstumpf mit einem Halbwinkel zwischen $2,5^\circ$ und 6° bilden. Die Länge des Diffusors darf nicht kleiner sein als der Halsdurchmesser.

6.2.2.6 Bei der Verwendung von Venturidüsen bei kritischer Strömung nach dieser Internationalen Norm hängt die Messunsicherheit der Durchflussmessung besonders von der Unsicherheit des Halsquerschnittes ab. Es ist schwierig, besonders bei kleinen Düsen, den Halsdurchmesser der Venturidüse mit torusförmigem Halsteil hinreichend genau zu messen. Hier sollte sorgfältig vorgegangen werden.



Legende

- 1 Eintrittsebene
- 2 Übergang vom torusförmigen Teil zum Diffusor
- 3 Lage des Druckmessgerätes

- a In diesem Bereich darf der arithmetische Mittenrauwert R_a $15 \times 10^{-6}d$ und $0,04 \mu\text{m}$ für üblich gefertigte und maschinell polierte Venturidüsen nicht überschreiten; die Umrisslinie darf von der Torusform nicht mehr als $\pm 0,001d$ abweichen.
- b In diesem Bereich darf der arithmetische Mittenrauwert R_a $10^{-4}d$ nicht überschreiten.
- c Die Eintrittskontur muss außerhalb dieser Umrisslinie liegen.

Bild 1 — Venturidüse mit torusförmigem Halsteil

6.2.3 Venturidüse mit zylindrischem Halsteil

6.2.3.1 Die Venturidüse muss den Angaben nach Bild 2 entsprechen.

6.2.3.2 Die Eintrittsebene ist die Ebene, die tangential ist zur Einlauf-Umrisslinie der Venturidüse und senkrecht steht zur Mittellinie der Düse.

6.2.3.3 Das sich verengende Einlaufteil der Venturidüse muss ein Viertel eines Torus sein, tangential einerseits zur Eintrittsebene (siehe 6.2.3.2) und andererseits zum zylindrischen Halsteil. Die Länge des zylindrischen Halsteils und der Krümmungsradius r_c des Viertels des Torus müssen gleich dem Durchmesser des Halsteils sein.

6.2.3.4 Die torusförmige Einlaufkontur der Venturidüse darf von der Form eines Torus nicht mehr als $\pm 0,001d$ abweichen.

6.2.3.5 Der Durchfluss muss aus dem mittleren Durchmesser des zylindrischen Auslaufhalses berechnet werden. Der mittlere Durchmesser muss durch die Messung von mindestens vier gleichwinklig verteilten Durchmessern am Auslauf des zylindrischen Halsteils bestimmt werden. Kein Durchmesser entlang des Halsteils sollte um mehr als $\pm 0,001d$ vom mittleren Durchmesser abweichen.

Die Länge des Halsteils darf vom Durchmesser des Halsteils nicht mehr als $0,05d$ abweichen. Der Übergang vom Vierteltorus zum zylindrischen Halsteil ist einer Sichtprüfung zu unterziehen; es darf kein Fertigungsfehler festgestellt werden. Wenn eine Beschädigung im Übergang festgestellt wird, muss sichergestellt werden, dass der örtliche Krümmungsradius in einer Ebene, in der die Symmetrieachse liegt, im ganzen Bereich (Vierteltorus und Übergang zum zylindrischen Halsteil) nirgends weniger als $0,5d$ beträgt. Bild 3 voranschaulicht diese Anforderung.