

DIN EN ISO 5167-1



ICS 17.120.10

Ersatzvermerk
siehe unten

**Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt –
Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Anforderungen (ISO 5167-1:2003);
Deutsche Fassung EN ISO 5167-1:2003**

Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full –

Part 1: General principles and requirements (ISO 5167-1:2003);
German version EN ISO 5167-1:2003

Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire –

Partie 1: Principes généraux et exigences générales (ISO 5167-1:2003);
Version allemande EN ISO 5167-1:2003

Ersatzvermerk

Mit DIN EN ISO 5167-2:2004-01, DIN EN ISO 5167-3:2004-01 und DIN EN ISO 5167-4:2004-01
Ersatz für DIN EN ISO 5167-1:1995-11; mit DIN EN ISO 5167-2:2004-01
Ersatz für DIN EN ISO 5167-1/A1:1998-06

Gesamtumfang 41 Seiten

Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG) im DIN

Die Europäische Norm EN ISO 5167-1:2003 hat den Status einer Deutschen Norm.

Nationales Vorwort

Diese Norm, Teil 1: „Allgemeine Grundlagen und Anforderungen“ der Reihe DIN EN ISO 5167 für die „Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt“, wurde auf der Grundlage der Internationalen Norm ISO 5167-1:2003 erstellt, die im ISO/TC 30/SC 2 „Drosselgeräte“ unter Beteiligung deutscher Experten des nationalen Spiegelgremiums NATG-D.2-GMA 2.41 erarbeitet wurde.

Bereits im Entwurfsstadium zur Internationalen Norm ISO 5167-1 hatte Deutschland das ISO/TC 30/SC 2 darauf hingewiesen, dass in 7.3.3 bei der Darstellung des gemessenen axialen Geschwindigkeitsprofils der Bezug auf die Maximalgeschwindigkeit im Rohrquerschnitt problematisch ist. Vorgeschlagen wurde seitens Deutschlands, den Bezug auf die mittlere Geschwindigkeit am Ort des Rohrquerschnittes festzulegen. Der Grund hierfür war, dass die Maximalgeschwindigkeit im Rohrquerschnitt bei Messungen entlang von Traversen nicht unbedingt gefunden werden muss. Maxima entlang der Traversen machen die Traversenprofile nicht miteinander vergleichbar. Dieser Änderungsvorschlag fand im ISO/TC 30/SC 2 leider keine Mehrheit.

In 7.4.1.1 sind viele Versuchsergebnisse, die als Begründung dienten, die Zulassungsprüfung für Strömungsumformer in der vorliegenden Form festzuschreiben, zu kurzfristig dokumentiert und zu kurzfristig dem ISO/TC 30/SC 2 zur Kenntnis eingereicht worden. Eine von Deutschland als notwendig erachtete eingehende Diskussion und eine einvernehmliche Verabschiedung in der zuständigen Arbeitsgruppe des ISO/TC 30/SC 2 konnte daher nicht mehr stattfinden. Dieses unübliche Vorgehen bei der Behandlung neuer Sachverhalte lässt Nachbesserungen durchaus für möglich erscheinen.

In 8.2.2 wurde die Gleichung für die Unsicherheit nicht dem „Guide for the expression of uncertainty in measurement (GUM)“ angepasst.

Für die im Abschnitt 2 angegebenen Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 4006 siehe DIN EN 24006.

ISO 5167-2 siehe DIN EN ISO 5167-2.

ISO 5167-3 siehe DIN EN ISO 5167-3.

ISO 5167-4 siehe DIN EN ISO 5167-4.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 5167-1:1995-11 und DIN EN ISO 5167-1/A1:1998-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Diese Norm enthält als Teil 1 der Reihe DIN EN ISO 5167 nur noch die allgemeinen Festlegungen für Drosselgeräte. Die speziellen Beschreibungen und Anforderungen sind für
- Blenden nach Teil 2,
 - Düsen und Venturidüsen nach Teil 3,
 - Venturirohre nach Teil 4
- festgelegt.

- b) Inhalte aus DIN EN ISO 5167-1/A1:1998-06, die allgemeine Festlegungen für Drosselgeräte betreffen, wurden in diesen Teil 1 übernommen.
- c) Die Beschreibung bisher aufgeführter und neu hinzugekommener Strömungsgleichrichter/Strömungsumformer, unpatentiert und patentiert, ist — quasi als Sammlung möglicher Bauformen — in den informativen Anhang C übernommen worden. Dabei ist die Unterscheidung in Gleichrichter und Umformer neu. Wird im Wesentlichen nur der Drall reduziert, wird von „Gleichrichtern“ gesprochen. Werden zusätzlich auch die Verformung des axialen Geschwindigkeitsprofils aus der Strömung deutlich eliminiert, wird von „Umformern“ gesprochen.
- d) Zusätzlich aufgenommen wurde ein Eignungstest für Strömungsgleichrichter/Umformer, der die Effektivität des betreffenden Gleichrichters/Umformers in Bezug auf die Wirkdruckmessung sowie seine Einbaubedingungen zwischen Störungsverursacher und Drosselgerät festlegen soll. Erfolgreich geprüfte Gleichrichter/Umformer aus der Liste im Anhang C, die in Bezug auf das jeweilige Drosselgerät die Anforderungen und Bedingungen des Tests erfüllen, sind mitsamt den resultierenden Einbauabständen in den jeweiligen Teilen 2 bis 4 aufgeführt.
- e) Der thermodynamische Entspannungsprozess über das Drosselgerät wurde von isentrop in isenthalp geändert. Für bestimmte Fälle (wenn eine hohe Messgenauigkeit erforderlich ist) wird eine entsprechende Temperaturkorrektur nachdrücklich empfohlen.
- f) In Bezug auf Druckpulsationen in der Anströmung wurde die Obergrenze für die zeitlichen Schwankungen aus ISO TR 3313 übernommen; bei einer Dynamik über diese Grenze hinaus ist ISO 5167 nicht mehr anwendbar.

Frühere Ausgaben

DIN 1952: 1932, 1935, 1937, 1943, 1948-11, 1969-05, 1971-08, 1982-07

DIN EN ISO 5167-1: 1995-11

DIN EN ISO 5167-1/A1: 1998-06

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 24006:1993-08, *Durchflussmessung von Fluiden in geschlossenen Leitungen; Begriffe und Formelzeichen* (ISO 4006:1991); Deutsche Fassung EN 24006:1993.

DIN EN ISO 5167-2:2004-01, *Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt — Teil 2: Blenden* (ISO 5167-2:2003); Deutsche Fassung EN ISO 5167-2:2003.

DIN EN ISO 5167-3:2004-01, *Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt — Teil 3: Düsen und Venturidüsen* (ISO 5167-3:2003); Deutsche Fassung EN ISO 5167-3:2003.

DIN EN ISO 5167-4:2004-01, *Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt — Teil 4 Venturirohre* (ISO 5167-4:2003); Deutsche Fassung EN ISO 5167-4:2003.

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll
durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt —
Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Anforderungen
(ISO 5167-1:2003)

Measurement of fluid flow by means of pressure differential
devices inserted in circular cross-section conduits running
full — Part 1: General principles and requirements
(ISO 5167-1:2003)

Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils
déprimogènes insérés dans des conduites en charge de
section circulaire — Partie 1: Principes généraux et
exigences générales (ISO 5167-1:2003)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 20. Februar 2003 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, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, der Slowakischen Republik, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn und dem Vereinigten Königreich.



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 5167-1:2003 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 30 „Durchflussmessung von Fluiden in geschlossenen Leitungen“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 244 „Durchflussmessung von Fluiden in geschlossenen Leitungen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis September 2003, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis September 2003 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument zusammen mit EN ISO 5167-2:2003, EN ISO 5167-3:2003 und EN ISO 5167-4:2003 ersetzt EN ISO 5167-1:1995.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 5167-1:2003 wurde vom CEN als EN ISO 5167-1:2003 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

ANMERKUNG Die normativen Verweisungen auf Internationale Normen sind im Anhang ZA (normativ) aufgeführt.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	5
4 Symbole und Indizes	9
4.1 Symbole	9
4.2 Indizes	10
5 Grundlagen der Mess- und Berechnungsverfahren	11
5.1 Messprinzip	11
5.2 Verfahren für die Bestimmung des Durchmesser-Verhältnisses für ein ausgewähltes genormtes Drosselgerät.....	11
5.3 Berechnung des Durchflusses	11
5.4 Bestimmung von Dichte, Druck und Temperatur	12
6 Allgemeine Anforderungen an die Messungen	13
6.1 Drosselgerät	13
6.2 Art des Fluids	14
6.3 Strömungsbedingungen.....	14
7 Anforderungen an den Einbau	14
7.1 Allgemeines	14
7.2 Erforderliche störungsfreie gerade Rohrstrecken im Ein- und Auslauf	16
7.3 Allgemeine Anforderungen an die Strömungsbedingungen am Drosselgerät	16
7.4 Strömungsumformer (siehe auch Anhang C)	16
8 Messunsicherheit bei der Durchflussmessung	20
8.1 Definition der Unsicherheit	20
8.2 Praktische Berechnung der Unsicherheit	20
Anhang A (informativ) Iterative Berechnungen	22
Anhang B (informativ) Beispiele für Werte der äquivalenten Rohrrauheit k	24
Anhang C (informativ) Strömungsumformer und Strömungsgleichrichter	25
Literaturhinweise	36
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	37

Einleitung

ISO 5167 enthält in vier Teilen die geometrischen Formen und Maße von Blenden, Düsen und Venturirohren und behandelt deren Anwendung (Einbau- und Betriebsbedingungen) in voll durchströmten Rohrleitungen zur Bestimmung des Durchflusses. Weiterhin werden die notwendigen Informationen über die Berechnungsgrundlagen zur Bestimmung des Durchflusses und für dessen zugehörige Messunsicherheit gegeben.

ISO 5167 ist nur für Drosselgeräte anwendbar, in denen die Strömung in allen Messquerschnitten im Unterschallbereich liegt. Das Fluid muss als einphasig betrachtet werden können. ISO 5167 ist nicht für Messungen bei pulsierenden Strömungen anwendbar. Ferner kann jedes dieser Drosselgeräte nur in festgelegten Grenzen für den Rohrdurchmesser und die Reynolds-Zahl benutzt werden.

In ISO 5167 werden nur Bauarten von Drosselgeräten behandelt, für die Kalibrierungen in genügender Anzahl und Genauigkeit durchgeführt wurden, sodass die funktionalen Zusammenhänge zwischen deren Ergebnissen und Eingangsdaten auf ähnliche Anordnungen innerhalb bestimmter Grenzen der Messunsicherheit verallgemeinert werden können.

In Rohrleitungen eingebaute Blenden, Düsen und Venturirohre werden „Primärgeräte“ genannt. Die Benennung Primärgerät schließt die Druckentnahmen ein. Alle weiteren Messgeräte, die für die Bestimmung des Durchflusses erforderlich sind, werden als „Sekundärgeräte“ bezeichnet. ISO 5167 gilt nur für Primärgeräte. Sekundärgeräte¹⁾ werden nur bei Bedarf erwähnt.

ISO 5167 besteht aus vier Teilen.

- a) Dieser Teil von ISO 5167 enthält allgemeine Angaben wie Begriffe, Symbole, Messprinzipien, Anforderungen und Unsicherheitsangaben, die für alle in den Teilen 2, 3 und 4 von ISO 5167 enthaltenen Primärgeräte zutreffen.
- b) Teil 2 von ISO 5167 legt Blenden, die mit Eck-Druckentnahmen, D - und $D/2$ -Druckentnahmen²⁾ und mit Flansch-Druckentnahmen angewendet werden können, fest.
- c) Teil 3 von ISO 5167 legt ISA-1932-Düsen³⁾, Langradius-Düsen und Venturidüsen, die sich sowohl in der Form als auch hinsichtlich der Lage der Druckentnahmen voneinander unterscheiden, fest.
- d) Teil 4 von ISO 5167 legt klassische Venturirohre⁴⁾ fest.

Aspekte der Sicherheit werden in diesem Teil der ISO 5167 nicht behandelt. Es ist die Verantwortung des Anwenders sicherzustellen, dass das System den zutreffenden Sicherheitsregeln entspricht.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 5167 legt Begriffe und Symbole fest und gibt die allgemeinen Grundlagen für Mess- und Berechnungsverfahren für den Durchfluss von Fluiden in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt mittels Drosselgeräten (Blenden, Düsen und Venturirohre) an. Dieser Teil von ISO 5167 legt auch allgemeine Anforderungen an die Messverfahren, den Einbau von Drosselgeräten und die Ermittlung der Messunsicherheit der Durchflussmessung fest. Er legt ferner die Grenzen für Rohrdurchmesser und Reynolds-Zahlen fest, innerhalb derer die Drosselgeräte angewendet werden dürfen.

ISO 5167 (mit allen Teilen) gilt nur für Strömungen, die im ganzen Messquerschnitt im Unterschallbereich liegen und bei denen es sich um einphasige Fluide handelt. Er gilt nicht für Messungen bei pulsierenden Strömungen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 4006:1991, *Measurement of fluid flow in closed conduits — Vocabulary and symbols*.

ISO 5167-2:2003, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 2: Orifice plates*.

1) Siehe ISO 2186:1973 „Durchfluss von Fluiden in geschlossenen Leitungen; Anschlüsse zur Drucksignalübertragung zwischen Primär- und Sekundärelementen“.

2) Blenden mit Vena-Contracta-Druckentnahmen werden in diesem Teil von ISO 5167 nicht behandelt.

3) ISA ist die Abkürzung für „International Federation of the National Standardizing Associations“, den Vorgänger der ISO vor 1946.

4) In den USA wird das klassische Venturirohr vielfach „Herschel Venturi tube“ genannt.

ISO 5167-3:2003, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 3: Nozzles and Venturi nozzles.*

ISO 5167-4:2003, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 4: Venturi tubes.*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die in ISO 4006 angegebenen und die folgenden Begriffe.

ANMERKUNG Die folgenden Definitionen beziehen sich nur auf Benennungen, die in einem bestimmten Sinne angewendet werden oder bei denen es nützlich ist, ihre Bedeutung zu wiederholen.

3.1 Druckmessung

3.1.1

Wand-Druckentnahme

ringförmige Schlitze oder kreisrunde Bohrungen in der Leitungswand zur Entnahme des Wirkdrucks, deren Kanten mit der Innenwand der Leitung bündig sind

ANMERKUNG Die Druckentnahme ist gewöhnlich eine kreisrunde Bohrung. In bestimmten Fällen kann sie aber auch ein ringförmiger Schlitz sein.

3.1.2

(absoluter) statischer Druck eines Fluids, das durch eine gerade Rohrleitung fließt

p

Druck, der durch Anschluss eines Druckmessgerätes an eine Wand-Druckentnahme gemessen werden kann

ANMERKUNG In allen Teilen von ISO 5167 wird nur der Wert des Absolutdruckes betrachtet.

3.1.3

Wirkdruck

Δp

Differenz der (statischen) Drücke zwischen den Wand-Druckentnahmen im Einlauf und Auslauf eines Drosselgerätes (oder im Halsteil einer Venturidüse oder eines Venturirohres), das in eine gerade, voll durchströmte Rohrleitung eingebaut ist, wobei Höhenunterschiede zwischen den Druckentnahmen im Ein- und Auslauf zu berücksichtigen sind

ANMERKUNG In allen Teilen von ISO 5167 wird der Ausdruck „Wirkdruck“ nur dann verwendet, wenn sich die Druckentnahmen an den Stellen befinden, die in der Norm für die verschiedenen Drosselgeräte vorgeschrieben sind.

3.1.4

Druckverhältnis

τ

Verhältnis des absoluten (statischen) Druckes an der Druckentnahme im Auslauf zu dem absoluten (statischen) Druck an der Druckentnahme im Einlauf

3.2 Drosselgeräte (Primärgeräte)

3.2.1

Drosselöffnung

Halsteil

kleinster Öffnungsquerschnitt in einem Drosselgerät

ANMERKUNG Die Öffnungen in genormten Drosselgeräten sind kreisrund und coaxial zur Rohrachse.

3.2.2

Blende

dünne Scheibe mit bearbeiteter kreisförmiger Öffnung

ANMERKUNG Genormte Blenden sind dünne Scheiben mit scharfer rechtwinkliger Kante der Drosselöffnung. Ihre Dicke ist klein gegenüber dem Rohrdurchmesser und die Einlaufkante der Drosselöffnung ist scharf und rechtwinklig.

3.2.3

Düse

Drosselgerät, bestehend aus einem sich verengenden Einlauf und einem anschließenden zylindrischen Teil, dem Halsteil

3.2.4

Venturidüse

Drosselgerät, bestehend aus einem sich verengenden Einlauf, der einer genormten ISA-1932-Düse entspricht, einem sich anschließenden zylindrischen Teil — allgemein Halsteil genannt — und dem „Diffusor“, einem sich konisch erweiternden Auslauf

3.2.5

Venturirohr

Drosselgerät, bestehend aus einem sich konisch verengenden Einlauf, einem sich anschließenden zylindrischen Teil — allgemein Halsteil genannt — und dem „Diffusor“, einem sich konisch erweiternden Auslauf

3.2.6

Durchmesser Verhältnis

β

<eines Drosselgerätes, eingebaut in einer gegebenen Rohrleitung> Verhältnis des Durchmessers der Drosselöffnung zum Innendurchmesser der Rohrleitung im Einlauf des Drosselgerätes

ANMERKUNG Wenn ein Drosselgerät einen zylindrischen Einlauf aufweist, dessen Durchmesser dem Rohrdurchmesser äquivalent ist (beim klassischen Venturirohr der Fall), ist das Durchmesser Verhältnis das Verhältnis des Durchmessers der Drosselöffnung zum Durchmesser des Einlaufzylinders in der Ebene der Plus-Druckentnahmen

3.3 Strömung

3.3.1

Durchfluss

q

Masse oder Volumen des Fluids, das eine Drosselöffnung (oder ein Halsteil) je Zeiteinheit durchströmt

3.3.1.1

Massendurchfluss

q_m

Masse eines Fluids, die eine Drosselöffnung (oder ein Halsteil) je Zeiteinheit durchströmt

3.3.1.2

Volumendurchfluss

q_V

Volumen eines Fluids, das eine Drosselöffnung (oder ein Halsteil) je Zeiteinheit durchströmt

ANMERKUNG Im Fall eines Volumendurchflusses ist die Angabe des Druckes und der Temperatur erforderlich, auf die sich das Volumen bezieht.

3.3.2

Reynolds-Zahl

Re

Kenngroße der Dimension 1, die das Verhältnis zwischen Trägheits- und Reibungskräften ausdrückt

3.3.2.1

Reynolds-Zahl, bezogen auf den Rohrdurchmesser D

Re_D

Kenngroße der Dimension 1, die das Verhältnis zwischen Trägheits- und Reibungskräften in der Rohrleitung stromaufwärts vom Drosselgerät ausdrückt

$$Re_D = \frac{V_1 D}{\nu_1} = \frac{4 q_m}{\pi \mu_1 D}$$

3.3.2.2**Reynolds-Zahl, bezogen auf die Drosselöffnung d** Re_d

Kenngroße der Dimension 1, die das Verhältnis zwischen Trägheits- und Viskositätskräften in der Drosselöffnung des Drosselgerätes ausdrückt

$$Re_d = \frac{Re_D}{\beta}$$

3.3.3**Isentropenexponent** κ

Verhältnis der relativen Druckänderung zur zugehörigen relativen Dichteänderung bei Vorliegen einer elementaren, umkehrbar adiabatischen (isentropen) Zustandsänderung

ANMERKUNG 1 Der Isentropenexponent κ erscheint in den verschiedenen Gleichungen für die Expansionszahl ε und hängt von der Gaszusammensetzung und von deren Temperatur und Druck ab.

ANMERKUNG 2 Für viele Gase und Dämpfe sind bis jetzt noch keine Werte von κ veröffentlicht worden, vor allem in einem weiten Bereich für Druck und Temperatur. Für die Anwendung von ISO 5167 kann in diesen Fällen das Verhältnis der spezifischen Wärme bei konstantem Druck zur spezifischen Wärme bei konstantem Volumen idealer Gase statt des Isentropenexponenten zur Berechnung des Durchflusses benutzt werden.

3.3.4**Joule-Thomson-Koeffizient**

Temperatur-Druck-Koeffizient bei konstanter Enthalpie

 μ_{JT}

Änderung der Temperatur mit dem Druck bei konstanter Enthalpie

$$\mu_{JT} = \left. \frac{\partial T}{\partial p} \right|_H$$

Sie kann auch als

$$\mu_{JT} = \frac{R_u T^2}{p C_{m,p}} \left. \frac{\partial Z}{\partial T} \right|_p$$

dargestellt werden. Darin ist

- T die absolute Temperatur
- p der statische Druck des Fluids, das durch die Rohrleitung strömt
- H die Enthalpie
- R_u die universelle Gaskonstante
- $C_{m,p}$ die molare spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck
- Z der Realgasfaktor

ANMERKUNG Der Joule-Thomson-Koeffizient variiert mit der Gaszusammensetzung und mit deren Temperatur und Druck und kann mithilfe der Zustandsgleichung berechnet werden.

3.3.5

Durchflusskoeffizient

C

Kenngroße, die für ein inkompressibles Fluid den Zusammenhang zwischen dem tatsächlichen und dem idealen, reibungsfreien, aus der Bernoulli-Gleichung abgeleiteten Durchfluss durch das Messgerät darstellt und für inkompressible Fluide durch folgende Gleichung definiert wird:

$$C = \frac{q_m \sqrt{1 - \beta^4}}{\frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \Delta p \rho_1}}$$

ANMERKUNG 1 Kalibrierungen von genormten Drosselgeräten mit inkompressiblen Fluiden (Flüssigkeiten) zeigen, dass der Durchflusskoeffizient für ein bestimmtes Drosselgerät bei bestimmten Einbauverhältnissen nur von der Reynolds-Zahl abhängt.

Der Durchflusskoeffizient C hat für verschiedene Einbauverhältnisse den gleichen Zahlenwert, wenn diese geometrisch ähnlich sind und die Strömungen die gleiche Reynolds-Zahl aufweisen.

Die Gleichungen für die Zahlenwerte von C in ISO 5167 (in allen Teilen) beruhen auf experimentell ermittelten Werten.

Die Messunsicherheit von C kann durch Kalibrierungen in geeigneten Laboratorien reduziert werden.

ANMERKUNG 2 Die Größe $\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}}$ wird „Vorgeschwindigkeitsfaktor“ und das Produkt

$$C \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}}$$

wird „Durchflusszahl“ genannt.

3.3.6

Expansionszahl

ε

Kenngroße, die die Kompressibilität des Fluids berücksichtigt

$$\varepsilon = \frac{q_m \sqrt{1 - \beta^4}}{\frac{\pi}{4} d^2 C \sqrt{2 \Delta p \rho_1}}$$

ANMERKUNG Die Kalibrierung von Drosselgeräten mit einem kompressiblen Fluid (Gas) zeigt, dass das Verhältnis

$$\frac{q_m \sqrt{1 - \beta^4}}{\frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \Delta p \rho_1}}$$

sowohl von der Reynolds-Zahl als auch vom Druckverhältnis und dem Isentropenexponenten des Gases abhängt.

Die Abhängigkeit wird dadurch dargestellt, dass der Durchflusskoeffizient C des betrachteten Drosselgerätes, wie er sich bei der direkten Kalibrierung mit einer Flüssigkeit bei gleicher Reynolds-Zahl ergibt, mit der Expansionszahl ε multipliziert wird.

Die Expansionszahl ε ist gleich eins, wenn das Fluid als inkompressibel (flüssig) betrachtet wird, und kleiner als eins, wenn es kompressibel (gasförmig) ist.

Die Gültigkeit des Verfahrens ist durch Versuche bestätigt, die zeigen, dass die Expansionszahl ε praktisch von der Reynolds-Zahl unabhängig ist und für ein gegebenes Durchmesser Verhältnis und Drosselgerät nur vom Druckverhältnis und vom Isentropenexponenten abhängt.

Die Zahlenwerte von ε , die für Blenden in ISO 5167-2 angegeben werden, wurden experimentell ermittelt. Für Düsen (siehe ISO 5167-3) und Venturirohre (siehe ISO 5167-4) basieren sie auf allgemeinen thermodynamischen Gleichungen für isentrope Expansionen.

3.3.7

arithmetischer Mittenrauhwert*Ra*

arithmetischer Mittelwert der absoluten Beträge der Abstände des Rauheitsprofils von der mittleren Linie entlang der Rauheitsmessstrecke

ANMERKUNG 1 Die mittlere Linie ist so definiert, dass die Summe der Quadrate der Abstände der Oberfläche von der Mittellinie ein Minimum ist. *Ra* kann für bearbeitete Oberflächen mit genormten Einrichtungen gemessen, für raue Rohre aber nur geschätzt werden, siehe auch ISO 4288.

ANMERKUNG 2 Für Rohre wird auch die äquivalente Rohrrauheit *k* benutzt. Sie kann experimentell bestimmt (siehe 7.1.5) oder aus Tabellen (siehe Anhang B) entnommen werden.

4 Symbole und Indizes**4.1 Symbole****Tabelle 1 — Symbole**

Symbole	Größe	Dimension ^a	SI-Einheit
<i>C</i>	Durchflusskoeffizient	1	—
<i>C_{m,p}</i>	molare spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	$\text{ML}^2\text{T}^{-2}\Theta^{-1}\text{mol}^{-1}$	J/(mol · K)
<i>d</i>	Durchmesser der Drosselöffnung unter Betriebsbedingungen	L	m
<i>D</i>	innerer Rohrdurchmesser stromaufwärts (bzw. Durchmesser des Einlaufzylinders beim klassischen Venturirohr) unter Betriebsbedingungen	L	m
<i>H</i>	Enthalpie	$\text{ML}^2\text{T}^{-2}\text{mol}^{-1}$	J/mol
<i>k</i>	äquivalente Rohrrauheit	L	m
<i>K</i>	Druckverlust-Koeffizient (das Verhältnis des Druckverlustes zum dynamischen Druck $\frac{\rho V^2}{2}$)	1	—
<i>l</i>	Abstand der Druckentnahme vom Drosselgerät	L	m
<i>L</i>	relativer Abstand der Druckentnahme vom Drosselgerät $L = \frac{l}{D}$	1	—
<i>p</i>	absoluter statischer Druck des Fluids	$\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$	Pa
<i>q_m</i>	Massendurchfluss	MT^{-1}	kg/s
<i>q_V</i>	Volumendurchfluss	L^3T^{-1}	m³/s
<i>R</i>	Radius	L	m
<i>Ra</i>	arithmetischer Mittenrauhwert	L	m
<i>R_u</i>	universelle Gaskonstante	$\text{ML}^2\text{T}^{-2}\Theta^{-1}\text{mol}^{-1}$	J/(mol · K)
<i>Re</i>	Reynolds-Zahl	1	—
<i>Re_D</i>	Reynolds-Zahl, bezogen auf <i>D</i>	1	—
<i>Re_d</i>	Reynolds-Zahl, bezogen auf <i>d</i>	1	—
<i>t</i>	Temperatur des Fluids	Θ	°C
<i>T</i>	absolute (thermodynamische) Temperatur des Fluids		K

