

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

Durchmesserverhältnis

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 Durchmesserverhältnis 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 Entspannungen.

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	Θ	K

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbole	Größe	Dimension ^a	SI-Einheit
U'	relative Unsicherheit	1	—
V	mittlere axiale Geschwindigkeit des Fluids in der Rohrleitung	LT^{-1}	m/s
Z	Realgasfaktor	1	—
β	Durchmesser Verhältnis $\beta = \frac{d}{D}$	1	—
γ	Verhältnis der spezifischen Wärmekapazitäten ^b	1	—
δ	absolute Unsicherheit	c	c
Δp	Wirkdruck	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
Δp_c	Druckverlust des Strömungsgleichrichters/-umformers	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
$\Delta \varpi$	Druckverlust des Drosselgerätes	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
ε	Expansionszahl	1	—
κ	Isentropenexponent ^b	1	—
λ	Rohr widerstandszahl	1	—
μ	dynamische Viskosität des Fluids	$ML^{-1}T^{-1}$	Pa · s
μ_{JT}	Joule-Thomson-Koeffizient	$M^{-1}LT^{-2}\Theta$	K/Pa
ν	kinematische Viskosität des Fluids $\nu = \frac{\mu}{\rho}$	L^2T^{-1}	m ² /s
ξ	relativer Druckverlust (Verhältnis Druckverlust zum Wirkdruck)	1	—
ρ	Dichte des Fluids	ML^{-3}	kg/m ³
τ	Druckverhältnis $\tau = \frac{p_2}{p_1}$	1	—
ϕ	Gesamtwinkel des Diffusorteils	1	rad

^a M = Masse, L = Länge, T = Zeit, Θ = Temperatur.

^b γ ist das Verhältnis der spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Druck zur spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Volumen. Für ideale Gase sind die Werte für das Verhältnis der spezifischen Wärmekapazitäten und für den Isentropenexponenten gleich groß (siehe 3.3.3). Diese Werte hängen von der Zusammensetzung des Gases ab.

^c Die Dimensionen und Einheiten sind gleich der zugehörigen Größe.

4.2 Indizes

Indizes	Bedeutung
1	Ebene der Druckentnahme stromaufwärts
2	Ebene der Druckentnahme stromabwärts

5 Grundlagen der Mess- und Berechnungsverfahren

5.1 Messprinzip

Das Messprinzip beruht auf dem Einbau des Drosselgerätes (z. B. einer Blende, einer Düse oder eines Venturirohres) in eine voll durchströmte Rohrleitung. Der Einbau des Drosselgerätes erzeugt eine Differenz der statischen Drücke zwischen der Plus-Druckentnahme im Einlauf und der Minus-Druckentnahme im engsten Drosselquerschnitt bzw. im Auslauf. Der Durchfluss kann aus diesem gemessenen Wirkdruck, aus den Stoffwerten des Fluids und aus den geometrischen Daten (jeweils unter Betriebsbedingungen) bestimmt werden. Dabei wird vorausgesetzt, dass dieses Drosselgerät einem unter gleichen Betriebsbedingungen kalibrierten Gerät geometrisch ähnlich ist (siehe ISO 5167-2, ISO 5167-3 oder ISO 5167-4).

Der Massendurchfluss, bezogen auf den Wirkdruck, innerhalb der in ISO 5167 festgelegten Grenzen für die Unsicherheit wird durch Gleichung (1) bestimmt:

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

Entsprechend berechnet sich der Volumendurchfluss q_V aus Gleichung (2)

$$q_V = \frac{q_m}{\rho} \quad (2)$$

Darin ist ρ die Dichte des Fluids bei der Temperatur und dem Druck, auf die das Volumen bezogen wird.

5.2 Verfahren für die Bestimmung des Durchmesserverhältnisses für ein ausgewähltes genormtes Drosselgerät

Wenn in der Praxis das Durchmesserverhältnis für ein Drosselgerät, das in eine gegebene Rohrleitung eingebaut werden soll, zu bestimmen ist, dann sind C und ε in Gleichung (1) im Allgemeinen nicht bekannt. Daher müssen zunächst:

- die Art des zu verwendenden Drosselgerätes und
 - ein numerischer Wert für den Durchfluss und für den dazugehörigen Wirkdruck
- festgelegt werden.

Die zusammengehörigen Werte q_m und Δp müssen dann in die Gleichung (1), umgeschrieben in die Form

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

eingesetzt werden, aus der das Durchmesserverhältnis durch Iteration bestimmt werden kann (siehe Anhang A).

5.3 Berechnung des Durchflusses

Der Prozess der Berechnung des Durchflusses erfolgt durch Ersetzen der verschiedenen Gleichungselemente im rechten Teil der vorstehenden Gleichung (1) durch ihre numerischen Werte.

Ausgenommen für den Fall des Venturirohres kann C von der Reynolds-Zahl Re abhängen, die wiederum eine Funktion von q_m ist. In diesem Fall wird der endgültige Wert von C und damit von q_m durch Iteration ermittelt. Der Anhang A stellt einen Leitfaden zur Auswahl des Iterationsverfahrens und der ersten Annahmen dar.

Die in den Gleichungen angegebenen Werte für die Durchmesser d und D entsprechen den Werten der Durchmesser unter Betriebsbedingungen. Messungen, die unter anderen Bedingungen durchgeführt werden, sollten hinsichtlich möglicher Expansion oder Kontraktion des Drosselgerätes und der Rohrleitung, hervorgerufen durch die Temperatur und den Druck des Fluids, während der Messung korrigiert werden.

Es wird vorausgesetzt, dass die Dichte und die Viskosität des Fluids bei Betriebsbedingungen bekannt sind. Handelt es sich um ein kompressibles Fluid, ist es erforderlich, auch den Isentropenexponenten unter Betriebsbedingungen zu kennen.

5.4 Bestimmung von Dichte, Druck und Temperatur

5.4.1 Allgemeines

Jedes Verfahren zur messtechnischen Bestimmung der Werte für die Dichte, für den statischen Druck und für die Temperatur des Fluids ist zulässig, sofern dadurch die Strömungsverhältnisse im Messquerschnitt nicht gestört werden.

5.4.2 Dichte

Die Dichte des Fluids in der Ebene der Plus-Druckentnahme muss bekannt sein. Sie kann entweder direkt gemessen oder aus dem statischen Druck, der absoluten Temperatur und der Zusammensetzung des Fluids in dieser Ebene mittels geeigneter Zustandsgleichungen berechnet werden.

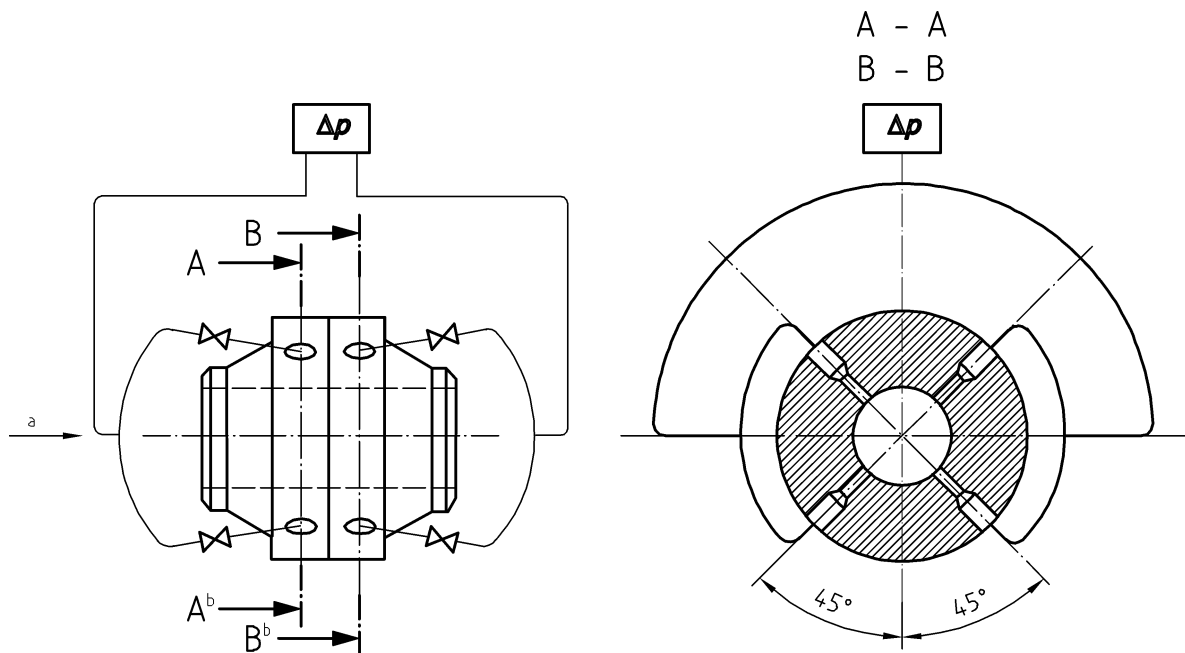
5.4.3 Absoluter statischer Druck

Der absolute statische Druck des Fluids muss (in der Ebene der Plus-Druckentnahme) entweder mit einer Einzel-Druckentnahme in der Rohrwand oder mit mehreren solcher, miteinander verbundenen Einzel-Druckentnahmen oder mit Druckentnahmen in einem Fassungsring für den Fall, dass Fassungsringe für die Messung des Differenzdruckes in dieser Entnahmeebene zulässig sind, gemessen werden (siehe 5.2 in ISO 5167-2:2003, 5.1.5, 5.2.5 oder 5.3.3 in ISO 5167-3:2003 oder 5.4 in ISO 5167-4:2003, soweit zutreffend).

Wo der Druck vor, hinter oder im Halsteil des Drosselgerätes mittels vier miteinander verbundener Druckentnahmen gemessen wird, ist eine „Triple-T“-Anordnung nach Bild 1 die günstigste Lösung. Die „Triple-T“-Anordnung wird häufig bei der Messung mit Venturirohren angewendet.

Die Entnahme des statischen Druckes sollte getrennt von den Druckentnahmen des Wirkdruckes erfolgen.

An der Druckentnahme dürfen gleichzeitig ein Messgerät für den Differenzdruck und ein Messgerät für den statischen Druck angeschlossen werden, wenn sichergestellt ist, dass dadurch keine Verfälschung des Wirkdruckes hervorgerufen wird.



Legende

- a Strömungsrichtung
- b Schnitt A – A (stromaufwärts), ebenso typisch für Schnitt B – B (stromabwärts)

Bild 1 — „Triple-T“-Anordnung

5.4.4 Temperatur

5.4.4.1 Die Temperatur des Fluids muss, wenn möglich, stromabwärts vom Drosselgerät gemessen werden, wobei die Messung besondere Sorgfalt erfordert. Die Schutzhülse für das Thermometer muss so dünn wie möglich sein. Der Abstand zwischen ihr und dem Drosselgerät muss mindestens $5D$ (für Gas höchstens $15D$) betragen, wenn sie stromabwärts angeordnet ist. (Im Fall eines Venturirohres ist dieser Abstand von der Ebene der Druckentnahme im Halsteil zu messen, wobei die Schutzhülse für das Thermometer zugleich mindestens $2D$ stromabwärts vom Auslaufende des Diffusors anzuordnen ist.) Der Abstand muss, abhängig von der Art des Drosselgerätes, mit den Abstandswerten nach ISO 5167-2, ISO 5167-3 oder ISO 5167-4 übereinstimmen, wenn die Schutzhülse für das Thermometer stromaufwärts angeordnet ist.

Innerhalb der Anwendungsgrenzen von ISO 5167 wird im Allgemeinen angenommen, dass die Temperaturen an den Druckentnahmen stromaufwärts und stromabwärts gleich sind. Für den Fall eines nicht idealen Gases, bei Vorliegen eines großen Druckverlustes zwischen der Plus-Druckentnahme und dem Ort für die Messung der Temperatur stromabwärts des Drosselgerätes und bei Forderung nach einer hohen Messgenauigkeit ist es erforderlich, die Temperatur in der Ebene der Plus-Druckentnahme aus der stromabwärts gemessenen Temperatur (gemessen im Abstand von $5D$ bis $15D$ vom Drosselgerät) unter der Annahme zu berechnen, dass zwischen den zwei genannten Orten eine isenthalpe Expansion vorliegt. Zur Durchführung der Berechnung sollte der Druckverlust Δp abhängig von der Art des Drosselgerätes nach 5.4 in ISO 5167-2:2003, nach 5.1.8, 5.2.8 oder 5.3.6 in ISO 5167-3:2003 oder nach 5.9 in ISO 5167-4:2003 berechnet werden. Dann kann die zugehörige Absenkung der Temperatur als ΔT zwischen der Plus-Druckentnahme und dem Ort für die Messung der Temperatur stromabwärts mit dem in 3.3.4 definierten Joule-Thomson-Koeffizient μ_{JT} ermittelt werden:

$$\Delta T = \mu_{JT} \Delta p$$

ANMERKUNG 1 Versuche [1] haben gezeigt, dass dies für Blenden eine geeignete Methode ist. Weitere Versuche sind erforderlich, um die Richtigkeit für andere Drosselgeräte festzustellen.

ANMERKUNG 2 Obwohl zwischen der Plus-Druckentnahme und dem Temperaturmesspunkt stromabwärts eine Entspannung mit konstanter Enthalpie angenommen wurde, steht dies nicht im Gegensatz zu einer isentropen Expansion zwischen der Plus-Druckentnahme und der Vena-Contracta-Stelle bzw. bei der Druckentnahme im Halsteil.

ANMERKUNG 3 Temperaturmessungen von Gasen in Rohrleitungen bei Strömungsgeschwindigkeiten, die über 50 m/s betragen, können in Verbindung mit dem Effekt der Temperaturreckgewinnung (Recovery-Effekt) zu weiteren zusätzlichen Unsicherheiten führen.

5.4.4.2 Die Temperatur des Drosselgerätes und die des Fluids im Einlauf zum Drosselgerät können als gleich angesehen werden (siehe 7.1.7).

6 Allgemeine Anforderungen an die Messungen

6.1 Drosselgerät

6.1.1 Das Drosselgerät muss entsprechend ISO 5167 hergestellt, eingebaut und angewendet werden.

Entsprechen die Herstellungsdaten oder die Anwendungsbedingungen der Drosselgeräte nicht den Anwendungsgrenzen von ISO 5167, kann eine Kalibrierung des Drosselgerätes unter den tatsächlichen Betriebsbedingungen erforderlich werden.

6.1.2 Die Beschaffenheit des Drosselgerätes muss nach jeder Messung oder nach jeder Serie von Messungen oder in hinreichend kurzen Zeitintervallen geprüft werden, um eine Übereinstimmung mit ISO 5167 sicherzustellen.

Es ist zu beachten, dass auch anscheinend neutrale (reine) Fluide Ablagerungen oder Verkrustungen auf dem Drosselgerät hervorrufen können. Die dadurch verursachten Änderungen des Durchflusskoeffizienten können im Laufe der Zeit zu Werten führen, die außerhalb der in ISO 5167 festgelegten Grenzen für die Unsicherheit liegen.

6.1.3 Das Drosselgerät muss aus einem Werkstoff bestehen, dessen Längenausdehnungskoeffizient bekannt ist.

6.2 Art des Fluids

6.2.1 Das Fluid kann entweder kompressibel sein oder als inkompressibel betrachtet werden.

6.2.2 Das Fluid muss physikalisch und thermisch homogen und einphasig sein. Kolloidale Lösungen mit einem hohen Dispersionsgrad (z. B. Milch), und nur solche Lösungen, können als einphasiges Fluid angesehen werden.

6.3 Strömungsbedingungen

6.3.1 ISO 5167 behandelt keine Messungen bei pulsierender Strömung, die in ISO/TR 3313 behandelt werden. Der Durchfluss muss zeitlich konstant sein oder darf sich in der Praxis nur wenig und langsam mit der Zeit ändern.

Die Strömung wird als nicht pulsierend betrachtet [2], wenn

$$\frac{\Delta p'_{rms}}{\Delta p} \leq 0,10$$

ist. Dabei ist

- $\overline{\Delta p}$ der zeitliche Mittelwert des Differenzdruckes
- $\Delta p'$ die Schwankungskomponente des Differenzdruckes
- $\Delta p'_{rms}$ der quadratische Mittelwert von $\Delta p'$

$\Delta p'_{rms}$ kann nur mit schnell ansprechenden Differenzdruckaufnehmern genau gemessen werden, wobei das gesamte Sekundärsystem mit der in ISO/TR 3313 empfohlenen Ausführung übereinstimmen sollte. Üblicherweise ist es nicht erforderlich zu prüfen, ob diese Bedingungen erfüllt sind.

6.3.2 Die in ISO 5167 festgelegten Unsicherheiten gelten nur, wenn die Strömung des Fluids durch das Drosselgerät keine Änderung der Phase hervorruft. Die Erweiterung der Bohrung oder des Halsteils eines Drosselgerätes führt zur Reduzierung des Wirkdruckes und verhindert damit eine Phasenänderung. Für Flüssigkeiten darf der Druck im Halsteil nicht unter den Dampfdruck der Flüssigkeit fallen (da sonst Kavitation die Folge ist). Bei Gasen ist es nur erforderlich, die Temperatur im Halsteil zu berechnen, wenn der Gaszustand in der Nähe des Taupunktes ist. Die Temperatur im Halsteil ist unter der Annahme einer isentropen Expansion, ausgehend vom Gaszustand auf der Stirnseite des Drosselgerätes, zu berechnen (die Temperatur stromaufwärts darf übereinstimmend mit der Gleichung in 5.4.4.1 berechnet werden). Die Temperatur und der Druck im Halsteil sollten so sein, dass das Fluid im einphasigen Bereich bleibt.

6.3.3 Ist das Fluid ein Gas, muss das nach 3.1.4 definierte Druckverhältnis gleich oder größer als 0,75 sein.

7 Anforderungen an den Einbau

7.1 Allgemeines

- 7.1.1** Das Messverfahren ist nur auf Fluide anwendbar, die durch eine Rohrleitung mit Kreisquerschnitt strömen.
- 7.1.2** Die Rohrleitung muss im Bereich der Messstrecke ständig voll durchströmt werden.
- 7.1.3** Das Drosselgerät muss zwischen zwei geraden zylindrischen Rohrstrecken mit konstanten Durchmessern und festgelegten Mindestlängen eingebaut sein, in denen sich keine Hindernisse oder Rohrabzweigungen befinden dürfen, ausgenommen solchen, wie sie im Abschnitt 6 von ISO 5167-2:2003, ISO 5167-3:2003 oder ISO 5167-4:2003 für die jeweiligen Drosselgeräte (einschließlich neuer Mindestlängen) festgelegt sind.

Die Rohrstrecke gilt als gerade, wenn die über ihre gesamte Länge gemessene Abweichung von einer geraden Linie 0,4 % nicht überschreitet. Eine Sichtprüfung ist üblich und ausreichend. Der Einbau von Flanschen in den geraden Rohrstrecken stromauf- und stromabwärts vom Drosselgerät ist zulässig. Die Flansche müssen so ausgerichtet sein, dass sie keine Abweichung von einer geraden Linie hervorrufen, die größer als 0,4 % ist. Die

erforderlichen störungsfreien geraden Rohrstrecken entsprechend den vorgenannten Anforderungen, erforderlich für eine bestimmte Einbausituation, variieren mit der Art und der Spezifikation des Drosselgerätes und der Art der Einbaustörungen.

7.1.4 Der Querschnitt des Rohres muss längs der gesamten erforderlichen störungsfreien geraden Rohrstrecke kreisrund sein. Der Querschnitt gilt als kreisrund, wenn dies durch bloßen Augenschein festgestellt wird. Hierzu genügt die Beurteilung der Rundheit der Außenseite des Rohres, abgesehen vom Bereich in unmittelbarer Nähe des Drosselgerätes ($2D$), in dem, je nach Art des verwendeten Drosselgerätes, besondere Anforderungen erfüllt werden müssen.

Längsnahtgeschweißte Rohre dürfen dann benutzt werden, wenn sichergestellt ist, dass die innere Schweißnaht auf der gesamten Länge des Rohres, die für die Einbaubedingungen des verwendeten Drosselgerätes erforderlich ist, parallel zur Rohrachse liegt. Die Schweißnaht darf nicht mehr als der erlaubte Durchmessersprung in das Rohr hineinragen. Die Längsnaht darf — außer im Fall der Verwendung eines Fassungsringes — nicht innerhalb eines Sektors von $\pm 30^\circ$, bezogen auf die Mitte einer Druckentnahme, die in Verbindung mit dem Drosselgerät benutzt wird, liegen. Im Fall der Verwendung eines Fassungsringes ist die Lage der Schweißnaht unerheblich. Wenn ein spiralförmig geschweißtes Rohr verwendet wird, muss es innen zu einer glatten Fläche bearbeitet werden.

7.1.5 Die Innenwand der Rohrstrecke muss immer sauber sein. Verschmutzungen, die leicht beseitigt werden können, müssen entfernt werden. Alle metallischen Defekte des Rohres, wie zum Beispiel Abblätterungen, müssen beseitigt werden.

Der vertretbare Wert der Rauheit hängt von dem Drosselgerät ab. Für jeden Fall gibt es Grenzen für den Wert des arithmetischen Mittenrauhwertes R_a (siehe 5.3.1 in ISO 5167-2:2003, 5.1.2.9, 5.1.6.1, 5.2.2.6, 5.2.6.1, 5.3.1.9 und 5.3.4.1 in ISO 5167-3:2003 oder 5.2.7 bis 5.2.10 und 6.4.2 in ISO 5167-4:2003). Die Messung der Rauheit der Innenwand des Rohres sollte annähernd an den axialen Stellen erfolgen, an denen auch der Innendurchmesser des Rohres bestimmt und verifiziert wurde. Mindestens vier Messungen müssen zur Bestimmung der Rauheit durchgeführt werden. Zur Messung von R_a sollte ein elektronisches, mittelwertbildendes Messgerät für Oberflächenrauheit mit einem cut off-Wert nicht kleiner als 0,75 mm und einem Messbereich, der ausreicht, die Werte von R_a im Rohr zu ermitteln, verwendet werden. Die Rauheit kann sich, wie in 6.1.2 angegeben, mit der Zeit verändern. Dies sollte für die Festlegung der Reinigungsintervalle oder der Intervalle für die Prüfung des Wertes von R_a in Betracht gezogen werden.

Ein Näherungswert für R_a kann unter der Annahme erhalten werden, dass $R_a = k/\pi$ ist, wobei k die äquivalente Rohrrauheit nach dem Moody-Diagramm (Rohrwidestands-Diagramm) ist (siehe [3]). Der Wert von k ist durch eine Messung des Druckverlustes längs eines Stückes der Rohrleitung unter Anwendung der Colebrook-White-Gleichung (siehe 7.4.1.5) zur Berechnung des k -Wertes aus dem gemessenen Wert des Reibungsfaktors direkt gegeben. Näherungswerte für k für unterschiedliche Werkstoffe können verschiedenen Tabellen in der als Referenz angegebenen Literatur ebenso entnommen werden wie der Tabelle B.1.

7.1.6 Die Rohrstrecke darf Ablassbohrungen und/oder Entlüftungsbohrungen zur Beseitigung von festen Ablagerungen und mitgerissenen Fluiden haben, die nicht dem zu messenden Fluid entsprechen. Während der Durchflussmessung darf durch diese Ablassbohrungen und Entlüftungsbohrungen kein Fluid strömen.

Die Ablass- und Entlüftungsbohrungen dürfen nicht in der Nähe der Drosselgeräte angeordnet sein. Wo diese Bedingungen nicht erfüllt werden können, muss der Durchmesser dieser Bohrungen kleiner sein als $0,08D$. Sie müssen so angeordnet sein, dass der Mindestabstand, gemessen auf einer geraden Linie von jeder dieser Bohrungen zu einer Druckentnahme des Drosselgerätes, die auf der gleichen Seite wie die Bohrungen liegt, größer als $0,5D$. Die Mittellinie einer Druckentnahme und die Mittellinie einer Ablass- oder Entlüftungsbohrung müssen um mindestens 30° , bezogen auf die Rohrachse, gegeneinander versetzt angeordnet sein.

7.1.7 Um eine Auswirkung von signifikanten Temperaturunterschieden zwischen der Umgebungstemperatur und der Temperatur des strömenden Fluids zu verhindern, kann es erforderlich sein, das Drosselgerät zu isolieren. Das trifft besonders für den Fall zu, in dem ein Fluid nahe an seinem kritischen Punkt gemessen wird, wo kleine Temperaturunterschiede große Änderungen der Dichte verursachen. Dies kann für geringe Durchflüsse wichtig sein, wo Einflüsse des Wärmetransfers gestörte Temperaturprofile verursachen, z. B. durch die Bildung von Temperaturschichten von oben nach unten. Weiterhin kann eine Änderung des Mittelwertes der Temperatur von der Einlauf- zur Auslaufseite des Drosselgerätes die Folge sein.

7.2 Erforderliche störungsfreie gerade Rohrstrecken im Ein- und Auslauf

7.2.1 Das Drosselgerät muss in die Rohrleitung an einer Position eingebaut werden, wo die Strömungsbedingungen stromaufwärts, unmittelbar vor dem Drosselgerät, annähernd einem drallfreien, voll entwickeltem Strömungsprofil entsprechen. Bedingungen, die diese Anforderungen erfüllen, sind in 7.3 festgelegt.

7.2.2 Die erforderlichen störungsfreien geraden Rohrstrecken im Ein- und Auslauf, die für den Einbau zwischen verschiedenen Einbaustörungen und dem Drosselgerät gefordert werden, hängen von der Art des Drosselgerätes ab. Für einige, häufig auftretende Einbaustörungen, wie sie im Abschnitt 6 von ISO 5167-2:2003, ISO 5167-3:2003 oder ISO 5167-4:2003 festgelegt sind, sollten die dort angegebenen erforderlichen störungsfreien geraden Rohrstrecken verwendet werden. Ein Strömungsumformer nach 7.4 lässt jedoch wesentlich kürzere Einlaufstrecken zu. Ein dort beschriebener Strömungsumformer muss jedoch in die Einlaufstrecke des Drosselgerätes eingebaut werden, wenn ausreichend störungsfreie gerade Rohrstrecken zum Erzielen der gewünschten Genauigkeit nicht zur Verfügung stehen.

7.3 Allgemeine Anforderungen an die Strömungsbedingungen am Drosselgerät

7.3.1 Anforderung

Sofern die im Abschnitt 6 von ISO 5167-2:2003, ISO 5167-3:2003 oder ISO 5167-4:2003 festgelegten Bedingungen nicht erfüllt werden können, ist der angewendete Teil von ISO 5167 letztendlich auch dann gültig, wenn nachgewiesen werden kann, dass während der Messung die Strömungsbedingungen am Drosselgerät über den gesamten Bereich der Reynolds-Zahlen mit dem drallfreien, voll entwickelten Strömungsprofil (definiert in 7.3.2 und 7.3.3) übereinstimmen.

7.3.2 Drallfreie Strömungsbedingungen

Drallfreie Strömungsbedingungen (Geschwindigkeitsprofil) können dann angenommen werden, wenn der Drallwinkel an allen Punkten des Rohrquerschnittes kleiner als 2° ist.

7.3.3 Zulässige Strömungsbedingungen

Ein hinreichend ungestörtes Geschwindigkeitsprofil kann dann angenommen werden, wenn an allen Punkten des Rohrquerschnittes das Verhältnis der örtlichen axialen Geschwindigkeit zur größten axialen Geschwindigkeit im Querschnitt innerhalb von 5 % übereinstimmt mit dem Verhältnis, das sich bei drallfreier ungestörter Strömung an der gleichen radialen Position des Rohrquerschnitts, am Ende einer sehr langen ($> 100D$) störungsfreien geraden Rohrstrecke gleicher Beschaffenheit und Durchmessers (voll entwickeltes Strömungsprofil) ergibt.

7.4 Strömungsumformer (siehe auch Anhang C)

7.4.1 Zulassungsprüfungen

7.4.1.1 Unter der Voraussetzung, dass ein Strömungsumformer die Zulassungsprüfung nach 7.4.1.2 bis 7.4.1.6 für ein bestimmtes Drosselgerät bestanden hat, darf der Strömungsumformer mit der gleichen Art Drosselgerät stromabwärts jeglicher Einbaustörungen in der Einlaufstrecke bei allen Durchmesserhältnissen bis $\beta = 0,67$ verwendet werden. Sofern der Abstand zwischen dem Strömungsumformer und dem Drosselgerät sowie der Abstand zwischen den Einbaustörungen stromaufwärts und dem Strömungsumformer den Anforderungen nach 7.4.1.6 entsprechen und die störungsfreie gerade Rohrstrecke im Auslauf des jeweiligen Drosselgerätes mit den Anforderungen (Spalte 14 der Tabelle 3 in ISO 5167-2:2003, Spalte 12 der Tabelle 3 in ISO 5167-3:2003 oder mit dem Text der Tabelle 1 in ISO 5167-4:2003) übereinstimmt, ist für diese Einbausituation keine Zusatzunsicherheit des Durchflusskoeffizienten zu berücksichtigen.

7.4.1.2 Wenn der Strömungsumformer unter den nachstehenden Bedingungen a) bis c) eingebaut ist, darf bei der Verwendung eines Drosselgerätes mit einem Durchmesser Verhältnis von $\beta = 0,67$ die Abweichung des Durchflusskoeffizienten nicht mehr als 0,23 % vom Durchflusskoeffizienten, der bei einer langen geraden störungsfreien Rohrstrecke erhalten wird, betragen:

- a) bei idealen Strömungsbedingungen;
- b) stromabwärts eines zu 50 % geschlossenen Schiebers (oder einer Segmentblende);

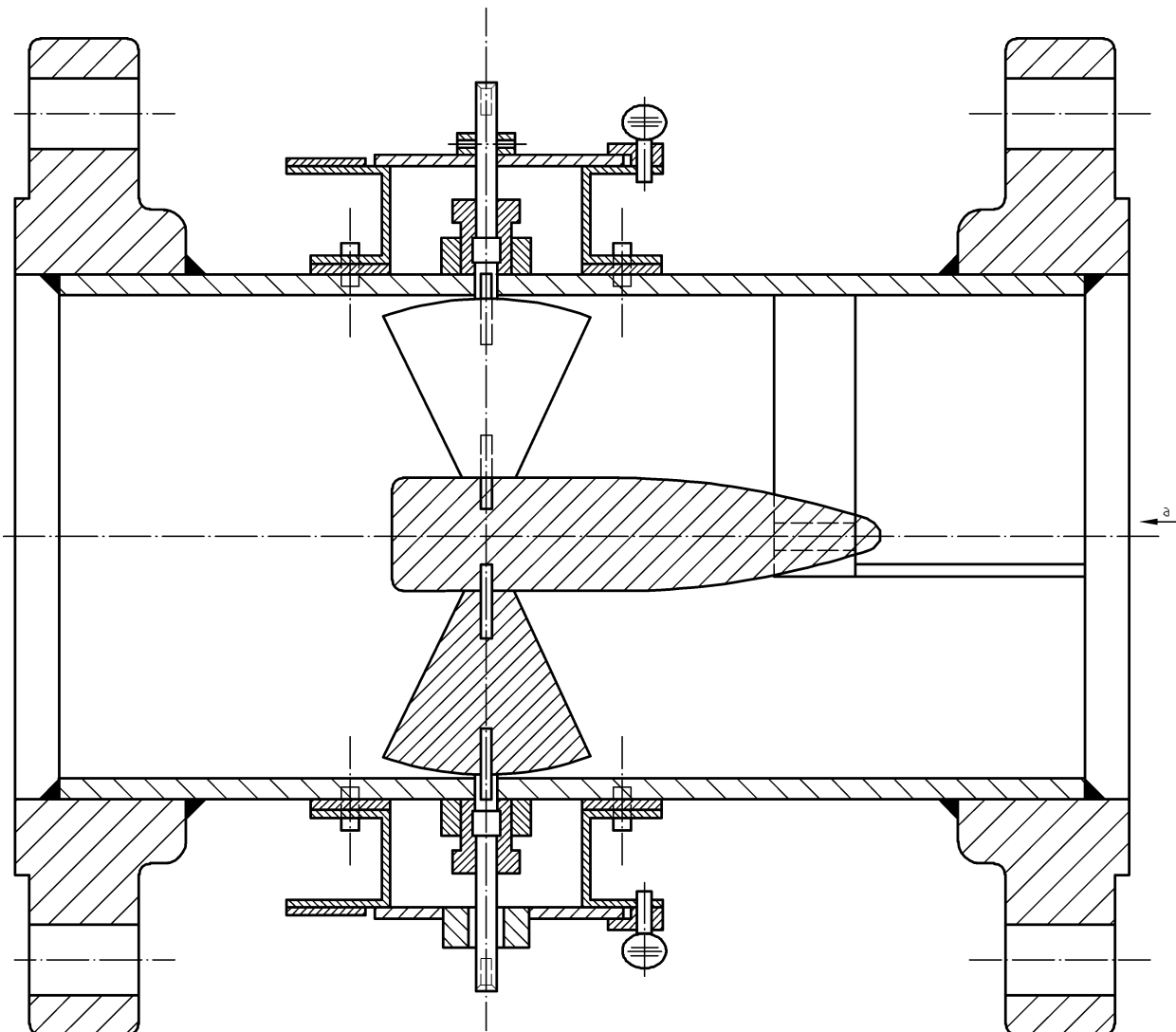
- c) stromabwärts eines Drallerzeugers, der starken Drall hervorruft (vom Gerät aus gesehen sollte im Abstand $18D$ stromabwärts ein über den Rohrquerschnitt größter Drallwinkel von mindestens 24° oder im Abstand $30D$ ein solcher von mindestens 20° erzeugt werden). Der Drall darf auch durch andere Maßnahmen erzeugt werden. Beispiel eines nicht patentierten Drallerzeugers ist der Chevron-Drallerzeuger nach Bild 2.

Stromaufwärts der Einbaustörungen nach b) und c) muss die störungsfreie gerade Rohrstrecke ausreichend lang sein, damit das Drosselgerät nicht zusätzlich durch irgendeine Einbaustörung stromaufwärts der in b) oder c) definierten beeinflusst wird.

ANMERKUNG Diese Prüfungen sind erforderlich um sicherzustellen, dass ein geprüfter Strömungsumformer

- keinen ungünstigen Einfluss auf gute Strömungsbedingungen ausübt,
- bei großer asymmetrischer Strömung effektiv ist und
- bei großer drallbehafteter Strömung, wie sie stromabwärts von Sammlern auftritt, effektiv ist.

Die Durchführungen dieser Prüfungen bedeutet nicht, dass die Durchflussmessung stromabwärts eines zu 50 % geschlossenen Schiebers durchgeführt werden sollte. Die Regelung des Durchflusses sollte stromabwärts des Drosselgerätes vorgenommen werden. Informationen zur Arbeitsweise des Chevron-Drallerzeugers und zu den der Prüfung zugrunde liegenden Versuchen siehe [4] und [5].



Legende

a Strömungsrichtung

Bild 2 — Chevron-Drallerzeuger

7.4.1.3 Wenn der Strömungsumformer stromabwärts der Einbaustörung nach 7.4.1.2 c) eingebaut ist, darf bei Verwendung eines Drosselgerätes mit einem Durchmesser Verhältnis von $\beta = 0,4$, die Änderung des Durchflusskoeffizienten nicht mehr als 0,23 % gegenüber der Messung, die in einer langen geraden störungsfreien Rohrstrecke hervorgerufen wird, betragen.

ANMERKUNG Diese Prüfung ist zusätzlich aufgeführt, wenn stromabwärts des Strömungsumformers weiterhin Drall in der Strömung auftritt. Es ist möglich, dass der Drall bei $\beta = 0,4$ einen größeren Einfluss ausübt als bei $\beta = 0,67$.

7.4.1.4 Um die Akzeptanz von Prüfstand und Drosselgeräten, mit denen die Prüfung durchgeführt wird, sicherzustellen, müssen die in einer langen geraden störungsfreien Rohrstrecke des Prüfstandes gemessenen Referenzdurchflusskoeffizienten innerhalb der Unsicherheitsgrenzen der Bestimmungsgleichung für den Durchflusskoeffizienten für nicht kalibrierte Drosselgeräte liegen, die nach

- 5.3.2.1 und 5.3.3.1 in ISO 5167-2:2003 für eine Blende;
- 5.1.6.2 und 5.1.7.1 in ISO 5167-3:2003 für eine ISA-1932-Düse;
- 5.2.6.2 und 5.2.7.1 in ISO 5167-3:2003 für eine Langradius-Düse;
- 5.3.4.2 und 5.3.5.1 in ISO 5167-3:2003 für eine Venturidüse;
- 5.5.2 und 5.7.1 in ISO 5167-4:2003 für ein klassisches Venturirohr mit gussrauhem Einlaufkonus;
- 5.5.3 und 5.7.2 in ISO 5167-4:2003 für ein klassisches Venturirohr mit bearbeitetem Einlaufkonus;
- 5.5.4 und 5.7.3 in ISO 5167-4:2003 für ein klassisches Venturirohr mit rauhem, aus Stahlblech geschweißtem Einlaufkonus

angegeben sind.

Für diese Prüfungen wird vorausgesetzt, dass der Prüfstand keinen Drall aufweist und zusätzlich eine ausreichende Einlaufänge vor dem Drosselgerät zur Verfügung stellt. Für eine Blende wird eine Länge von $70D$ als ausreichend angesehen.

7.4.1.5 Sofern der Strömungsumformer für alle Reynolds-Zahlen zulässig sein soll, ist es erforderlich sicherzustellen, dass er 7.4.1.2 und 7.4.1.3 nicht nur bei **einer** Reynolds-Zahl erfüllt, sondern dass er zusätzlich die Anforderungen nach 7.4.1.2 a) oder b) oder c) bei einer zweiten Reynolds-Zahl einhält. Wenn Re_{low} und Re_{high} die zwei Reynolds-Zahlen in der Rohrleitung sind, müssen folgende Kriterien erfüllt werden:

$$10^4 \leq Re_{low} \leq 10^6 \text{ und } Re_{high} \geq 10^6$$

und

$$\lambda(Re_{low}) - \lambda(Re_{high}) \geq 0,0036.$$

Dabei ist λ die Rohrwiderstandszahl (siehe [3]), die graphisch aus dem Moody-Diagramm (Rohrwiderstands-Diagramm) entnommen werden kann oder die sich aus der Colebrook-White-Gleichung ergibt:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,74 - 2 \log_{10} \left(\frac{2k}{D} + \frac{18,7}{Re_D \sqrt{\lambda}} \right)$$

mit k berechnet aus πRa .

Wenn nur eine Anwendung des Strömungsumformers für $Re_D > 3 \times 10^6$ gewünscht wird, ist ein Durchführen der Prüfung nach 7.4.1.2 bei einem einzelnen Wert von Re_D größer als 3×10^6 ausreichend.

Sofern der Strömungsumformer für alle Rohrdurchmesser zulässig sein soll, ist es erforderlich sicherzustellen, dass er 7.4.1.2 und 7.4.1.3 nicht nur für **einen** Rohrdurchmesser erfüllt, sondern dass er zusätzlich die Anforderungen nach 7.4.1.2 a), oder b) oder c) für einen zweiten Durchmesser einhält. Wenn die beiden Durchmesser D_{small} und D_{large} sind, müssen die folgenden Kriterien erfüllt werden:

$D_{\text{small}} \leq 110 \text{ mm}$ (Nennmaß 4 in) und $D_{\text{large}} \geq 190 \text{ mm}$ (Nennmaß 8 in).

ANMERKUNG 1 Die Anforderungen an die Rohrwiderstandszahl sind festgelegt worden, um deutlich zu machen, dass sich, hervorgerufen durch die Installation, bei der Blende das Geschwindigkeitsprofil signifikant ändern kann, sodass der Durchflusskoeffizient bis zum Zweifachen von der maximal zulässigen Abweichung des Durchflusskoeffizienten abweichen könnte. Von [6] und [7] wird der Einfluss der Änderung der Rohrwiderstandszahl wie folgt angegeben:

$$\Delta C = 3,134 \beta^{3,5} \Delta \lambda$$

Mit C gleich 0,6 und der mindestens erforderlichen Änderung von C als $1,26 \beta - 0,384 \%$ für $\beta \geq 0,67$ ergibt sich

$$\Delta \lambda \geq \frac{0,002\,41\beta - 0,0007\,35}{\beta^{3,5}}$$

ANMERKUNG 2 Obwohl sich die Wirkung von $\Delta \lambda$ auf C bei einer Düse von der Wirkung auf eine Blende unterscheidet, erscheinen die geforderten Werte für Reynolds-Zahlen auch hierfür geeignet.

Solange ISO 5167-2 oder ISO 5167-3 für klassische Venturirohre und Venturidüsen nur einen kleinen Bereich von Reynolds-Zahlen zulässt, wird ein Strömungsumformer über diesen Bereich dann akzeptiert, wenn er die Zulassungsprüfung bei einer einzelnen Reynolds-Zahl bestanden hat.

7.4.1.6 Der Bereich der in der Zulassungsprüfung für die Einhaltung der Anforderungen erforderlichen Abstände zwischen dem Strömungsumformer und dem Drosselgerät sowie der Bereich der entsprechenden Abstände zwischen den Einbaustörungen stromaufwärts und dem Strömungsumformer bestimmen die später beim Einbau vor Ort erforderlichen Mindestabstände für das betreffende Drosselgerät und den betreffenden Strömungsumformer. Die Abstände müssen in Zahlenwerten als Vielfaches des Durchmessers des Rohres angegeben werden.

7.4.1.7 Wenn für einen Strömungsumformer die Zulassungsprüfung für den Einsatz bei $\beta > 0,67$ gewünscht wird, muss er in einem ersten Schritt nachweisen, dass er die Anforderungen nach 7.4.1.2 bis 7.4.1.5 erfüllt. Daran anschließend müssen mit β_{max} , dem Höchstwert von β , bei dem der Strömungsumformer verwendet werden soll, die in 7.4.1.2, 7.4.1.4 und 7.4.1.5 beschriebenen Prüfungen durchgeführt werden. Die zulässige Änderung des Durchflusskoeffizienten erhöht sich auf $(0,63 \beta_{\text{max}} - 0,192) \%$. Bei Anwendung von 7.4.1.5 gilt

$$\lambda(Re_{\text{low}}) - \lambda(Re_{\text{high}}) \geq \frac{0,002\,41\beta_{\text{max}} - 0,000\,735}{\beta_{\text{max}}^{3,5}}$$

Vorausgesetzt, dass der Strömungsumformer die Zulassungsprüfung für alle oben genannten Prüfungen besteht, hat er die Zulassungsprüfung für $\beta \leq \beta_{\text{max}}$ bestanden. Die Bereiche der erforderlichen Abstände zwischen Strömungsumformer und dem Drosselgerät und die Bereiche der Abstände zwischen den Einbaustörungen stromaufwärts und dem Strömungsumformer sind nach 7.4.1.6 zu bestimmen.

7.4.2 Besondere Prüfung

Wenn eine Zulassungsprüfung für einen Strömungsumformer, der seinen Einsatz stromabwärts einer beliebigen Einbaustörung empfiehlt, nicht durchgeführt wurde, ist eine besondere Prüfung der vorgesehenen Einbauanordnung auf einem Prüfstand erforderlich. Die Prüfung wird dann als erfolgreich angesehen, wenn eine Prüfung dieser Einbauverhältnisse zeigt, dass die Änderung des Durchflusskoeffizienten kleiner ist als $0,23 \%$ gegenüber dem Durchflusskoeffizienten, der in einer langen geraden störungsfreien Rohrstrecke gemessen wird. Die zulässige Änderung des Durchflusskoeffizienten kann sich auf $(0,63 \beta - 0,192) \%$ für $0,67 < \beta \leq 0,75$ (oder $0,67 < \beta \leq 0,8$ für eine Düse oder $0,67 < \beta \leq 0,775$ für eine Venturidüse) erhöhen. Für diesen Fall ist es nicht erforderlich, für diese Einbauverhältnisse eine Zusatzunsicherheit für den Durchflusskoeffizienten zu berücksichtigen.

8 Messunsicherheit bei der Durchflussmessung

ANMERKUNG Weitere und ausführlichere Informationen zur Berechnung der Unsicherheit bei der Durchflussmessung zusammen mit einem Beispiel (für die Blende) sind in ISO/TR 5168 enthalten.

8.1 Definition der Unsicherheit

8.1.1 Für die Anwendung von ISO 5167 ist die Unsicherheit ein Kennwert, der einen Bereich um das Messergebnis kennzeichnet, von dem erwartet werden kann, dass er ungefähr 95 % der Werteverteilung umfasst, die vernünftigerweise der Messgröße zugeordnet werden kann.

8.1.2 Die Unsicherheit der Durchflussmessung muss berechnet und angegeben werden, sofern für die Messung beansprucht wird, dass sie mit den Anforderungen von ISO 5167 übereinstimmt.

8.1.3 Die Unsicherheit kann absolut oder relativ angegeben und das Ergebnis der Durchflussmessung dann durch eine der folgenden Gleichungen dargestellt werden:

- Durchfluss = $q \pm \delta q$,
- Durchfluss = $q (1 \pm U'_q)$,
- Durchfluss = q innerhalb $(100 U'_q) \%$,

wobei die Unsicherheit δq die gleiche Dimension hat wie q , während $U'_q = \delta q/q$ die Dimension 1 hat.

8.1.4 Es ist zweckmäßig, zwischen den Unsicherheiten zu unterscheiden, die durch Messungen des Anwenders bedingt sind, und solchen, mit denen die in ISO 5167 gegebenen Werte behaftet sind. Letztere sind die Unsicherheiten für den Durchflusskoeffizienten und die Expansionszahl. Sie stellen die kleinsten Messunsicherheiten dar, mit denen Messungen unvermeidlich behaftet sind, da der Anwender keine Möglichkeit der Prüfung dieser Werte besitzt. Sie entstehen dadurch, dass kleine Abweichungen in den Baumaßen zulässig sind und dass die Versuche, die den Werten zugrunde liegen, weder unter idealen Bedingungen noch ohne Unsicherheiten beim Messen durchgeführt werden konnten.

8.2 Praktische Berechnung der Unsicherheit

8.2.1 Messunsicherheitskomponenten

Nach Gleichung (1) ist die Berechnung des Massendurchflusses q_m durch

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

gegeben.

Die verschiedenen Größen auf der rechten Seite dieser Gleichung sind voneinander abhängig, sodass die Unsicherheit von q_m nicht direkt aus den Unsicherheiten dieser Einzelgrößen berechnet werden kann.

Zum Beispiel ist C eine Funktion von d , D , V_1 , v_1 und ρ_1 und ε eine Funktion von d , D , Δp , p_1 und κ .

8.2.1.1 Die Annahme, dass die Unsicherheiten von C , ε , d , Δp und ρ_1 von einander unabhängig sind, reicht für den größten Teil der praktischen Anwendungen aus.

8.2.1.2 Unter diesen Voraussetzungen kann eine Arbeitsgleichung für δq_m angegeben werden, die nur die Abhängigkeit des C von d und D berücksichtigt, die dadurch in die Rechnung hineinkommt, dass C eine Funktion von β ist. Dabei muss berücksichtigt werden, dass C auch von der Reynolds-Zahl Re_D abhängig sein kann. Die sich ergebenden Abweichungen von C durch diese Einflüsse sind jedoch zweitrangig und sind bereits in der Unsicherheit von C enthalten.

Ähnlich sind Abweichungen von ε durch die Unsicherheiten von β , des Druckverhältnisses und des Isentropenexponenten zweitrangig und bereits in der Unsicherheit von ε enthalten. Der Beitrag durch den Term der Kovarianzen zur Unsicherheit darf als vernachlässigbar betrachtet werden.

8.2.1.3 In der Arbeitsgleichung für δq_m sind aus diesem Grund nur die Unsicherheiten von C , ε , d , D , Δp und ρ_1 zu berücksichtigen.

8.2.2 Praktische Arbeitsgleichung

8.2.2.1 Die Arbeitsgleichung für die Unsicherheit des Massendurchflusses δq_m lautet nach Gleichung (3)

$$\frac{\delta q_m}{q_m} = \sqrt{\left(\frac{\delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{2\beta^4}{1-\beta^4}\right)^2 \left(\frac{\delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{2}{1-\beta^4}\right)^2 \left(\frac{\delta d}{d}\right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta \Delta p}{\Delta p}\right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta \rho_1}{\rho_1}\right)^2} \quad (3)$$

Einige Unsicherheiten, die in die Gleichung (3) einzusetzen sind, wie die für den Durchflusskoeffizienten und die der Expansionszahl, werden in 8.2.2.2 und 8.2.2.3 angegeben, während andere vom Anwender bestimmt werden müssen (siehe 8.2.2.4 und 8.2.2.5).

8.2.2.2 In Gleichung (3) sind die Werte für $\delta C/C$ und $\delta \varepsilon/\varepsilon$ aus den zugehörigen Abschnitten der Teile 2 bis 4 von ISO 5167 zu entnehmen.

8.2.2.3 Falls für die störungsfreien geraden Einlaufstrecken eine Zusatzunsicherheit im Betrag von 0,5 % zu beachten ist, muss diese entsprechend den Anforderungen in 6.2.4 von ISO 5167-2:2003, ISO 5167-3:2003 und von ISO 5167-4:2003 linear addiert werden und nicht quadratisch wie bei den vorstehenden angegebenen Unsicherheiten. Weitere Zusatzunsicherheiten (siehe 6.4.4 und 6.5.3 in ISO 5167-2:2003 und 6.4.4 in ISO 5167-3:2003) müssen in gleicher Weise arithmetisch addiert werden.

8.2.2.4 In Gleichung (3) sind die Höchstwerte für $\delta D/D$ und für $\delta d/d$ einzusetzen, die aus 6.4.1 in ISO 5167-2:2003, 6.4.1 in ISO 5167-3:2003 und 5.2.2 in ISO 5167-4:2003 und aus 5.1.8 in ISO 5167-2:2003, 5.1.2.5, 5.2.2.3 und 5.3.1.6 in ISO 5167-3:2003 und 5.2.4 in ISO 5167-4:2003 entnommen werden können; alternativ dürfen die durch den Anwender berechneten kleineren Werte verwendet werden. (Der Höchstwert für $\delta D/D$ darf 0,4 % nicht überschreiten, ebenso wie der Höchstwert für $\delta d/d$ nicht 0,1 % überschreiten darf.)

8.2.2.5 Die Werte $\delta \Delta p/\Delta p$ und $\delta \rho_1/\rho_1$ müssen durch den Anwender bestimmt werden, da ISO 5167 nicht die Messung der Größen Δp und ρ_1 behandelt. Die Unsicherheit bei der Messung von beiden Größen kann Komponenten enthalten, die vom Hersteller in Prozent vom Skalenendwert angegeben wurden. Die Berechnung der prozentualen Unsicherheit im Bereich bis zum Skalenendwert muss diese vergrößerte prozentuale Unsicherheit berücksichtigen.

8.2.2.6 Um eine Gesamtunsicherheit für q_m mit einem Vertrauensniveau von 95 % angeben zu können, müssen alle vom Anwender ermittelten Unsicherheiten ebenfalls unter der Voraussetzung eines Vertrauensniveaus von 95 % errechnet worden sein.

Anhang A (informativ)

Iterative Berechnungen

Ein iteratives Berechnungsverfahren wird erforderlich, wenn Aufgaben nicht durch direkte Berechnungsverfahren gelöst werden können (siehe 5.3).

Bei Blenden sind zum Beispiel iterative Berechnungen immer für die Berechnungen:

- des Durchflusses q_m bei gegebenen Werten von μ_1 , ρ_1 , D , Δp und d ,
- des Durchmessers der Blende d und β für gegebene Werte von μ_1 , ρ_1 , D , Δp und q_m ,
- des Wirkdruckes Δp für gegebene Werte von μ_1 , ρ_1 , D , d und q_m ,
- der Durchmesser D und d für gegebene Werte von μ_1 , ρ_1 , β , Δp und q_m

anzuwenden.

Das Prinzip ist, alle bekannten Werte der Gleichung (3)

$$q_m = C \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \left(1 - \beta^4\right)^{-0,5} (2 \Delta p \rho_1)^{0,5}$$

in einem Term zusammenzufassen und die unbekannten Werte in dem anderen Term unterzubringen.

Der bekannte Term ist dann die „Invariante“ (A_n in Tabelle A.1) der Aufgabe.

Danach wird als erste Annahme X_1 in den unbekannten Term eingebracht mit dem Ergebnis der Differenz δ_1 zwischen den zwei Termen. Die iterative Berechnung ermöglicht, mit X_2 im zweiten Iterationsschritt δ_2 zu erhalten.

Dann werden X_1 , X_2 , δ_1 und δ_2 in einen linearen Algorithmus eingebracht, welcher $X_3 \dots X_n$ und $\delta_3 \dots \delta_n$ berechnet, bis $|\delta_n|$ kleiner ist als ein vorgegebener Wert oder bis zwei aufeinanderfolgende Werte von X oder δ für die geforderte Genauigkeit als gleich groß gelten können.

Ein Beispiel eines linearen Algorithmus mit einer schnellen Konvergenz ist

$$X_n = X_{n-1} - \delta_{n-1} \frac{X_{n-1} - X_{n-2}}{\delta_{n-1} - \delta_{n-2}}$$

Werden die Berechnungen mit einem Computer durchgeführt, so verringert die Nutzung eines linearen Algorithmus nur unwesentlich die Anzahl der Iterationsschritte nach diesem Teil von ISO 5167.

Zu beachten ist, dass die Werte von d , D und β die in die Berechnungen eingeführt werden, unter „Betriebsbedingungen“ gültig sind (siehe 5.3).

Sind im Falle von Blenden die Blendenscheibe und das Messrohr aus verschiedenen Werkstoffen hergestellt, ist es möglich, dass die durch die Betriebstemperatur bedingte Änderung von β nicht mehr vernachlässigbar ist.

Beispiele für komplette Abläufe für iterative Berechnungen sind in Tabelle A.1 dargestellt.

Tabelle A.1 — Darstellung der iterativen Berechnung

Aufgabe	$q =$	$d =$	$\Delta p =$	$D =$
Bei gegebenen Werten von	$\mu_1, \rho_1, D, d, \Delta p$	$\mu_1, \rho_1, D, q_m, \Delta p$	μ_1, ρ_1, D, d, q_m	$\mu_1, \rho_1, \beta, q_m, \Delta p$
Gesucht	q_m und q_V	d und β	Δp	D und d
Invariante „A“	$A_1 = \frac{\varepsilon d^2 \sqrt{2 \Delta p \rho_1}}{\mu_1 D \sqrt{1 - \beta^4}}$	$A_2 = \frac{\mu_1 Re_D}{D \sqrt{2 \Delta p \rho_1}}$	$A_3 = \frac{8(1 - \beta^4)}{\rho_1} \left(\frac{q_m}{C \pi d^2} \right)^2$	$A_4 = \frac{4 \varepsilon \beta^2 q_m \sqrt{2 \Delta p \rho_1}}{\pi \mu_1^2 \sqrt{1 - \beta^4}}$
Iterationsgleichung	$\frac{Re_D}{C} = A_1$	$\frac{C \varepsilon \beta^2}{\sqrt{1 - \beta^4}} = A_2$	$\frac{\Delta p}{\varepsilon^{-2}} = A_3$	$\frac{Re_D^2}{C} = A_4$
Variable im linearen Algorithmus	$X_1 = Re_D = C A_1$	$X_2 = \frac{\beta^2}{\sqrt{1 - \beta^4}} = \frac{A_2}{C \varepsilon}$	$X_3 = \Delta p = \varepsilon^{-2} A_3$	$X_4 = Re_D = \sqrt{C A_4}$
Genauigkeitskriterium (wobei n durch den Anwender gewählt wird)	$\left \frac{A_1 - \frac{X_1}{C}}{A_1} \right < 1 \times 10^{-n}$	$\left \frac{A_2 - X_2 C \varepsilon}{A_2} \right < 1 \times 10^{-n}$	$\left \frac{A_3 - \frac{X_3}{\varepsilon^{-2}}}{A_3} \right < 1 \times 10^{-n}$	$\left \frac{A_4 - \frac{X_4^2}{C}}{A_4} \right < 1 \times 10^{-n}$
Erster Schritt	$C = C_\infty$	$C = 0,606$ (Blenden) $C = 1$ (für andere Drosselgeräte) $\varepsilon = 0,97$ (oder 1)	$\varepsilon = 1$	$C = C_\infty$ $D = \infty$ (bei Flansch-Druckentnahmen)
Ergebnisse	$q_m = \frac{\pi}{4} \mu_1 D X_1$ $q_V = \frac{q_m}{\rho_1}$	$d = D \left(\frac{X_2^2}{1 + X_2^2} \right)^{0,25}$ $\beta = \frac{d}{D}$	$\Delta p = X_3$ ist das Fluid eine Flüssigkeit, wird Δp aus der ersten Schleife gewonnen	$D = \frac{4 q_m}{\pi \mu_1 X_4}$ $d = \beta D$

Anhang B (informativ)

Beispiele für Werte der äquivalenten Rohrrauheit k

Tabelle B.1 — Werte für k

Maße in Millimeter

Werkstoff	Bedingungen	k	Ra
Messing, Kupfer, Aluminium, Kunststoffe, Glas	glatt, ohne Ablagerungen	< 0,03	< 0,01
Stahl	neu, rostfrei	< 0,03	< 0,01
	neu, nahtlos, kaltgezogen	< 0,03	< 0,01
	neu, nahtlos, warmgezogen	$\leq 0,10$	$\leq 0,03$
	neu, nahtlos, gewalzt	$\leq 0,10$	$\leq 0,03$
	neu, längsnahtgeschweißt	$\leq 0,10$	$\leq 0,03$
	neu, spiralgeschweißt	0,10	0,03
	leicht angerostet	0,10 bis 0,20	0,03 bis 0,06
	verrostet	0,20 bis 0,30	0,06 bis 0,10
	verkrustet	0,50 bis 2	0,15 bis 0,6
	stark verkrustet	> 2	> 0,6
	neu, bituminiert	0,03 bis 0,05	0,01 bis 0,015
	normal, bituminiert	0,10 bis 0,20	0,03 bis 0,06
	galvanisiert	0,13	0,04
Gusseisen	neu	0,25	0,08
	verrostet	1,0 bis 1,5	0,3 bis 0,5
	verkrustet	> 1,5	> 0,5
	neu, bituminiert	0,03 bis 0,05	0,01 bis 0,015
Asbest-Zement	neu, beschichtet oder nicht beschichtet	<0,03	< 0,01
	gebraucht, nicht beschichtet	0,05	0,015
ANMERKUNG Ra ist in diesem Fall auf der Grundlage $Ra \approx \frac{k}{\pi}$ berechnet.			

Anhang C (informativ)

Strömungsumformer und Strömungsgleichrichter

C.1 Allgemeines

Strömungsumformer können in „wirkliche“ Strömungsumformer und in Strömungsgleichrichter eingeteilt werden. In (allen Teilen von) ISO 5167 wird im Gegensatz zu diesem Anhang, die Benennung „Strömungsumformer“ für die Beschreibung beider Arten verwendet.

Die Aufnahme in diesen Anhang bedeutet nicht, dass ein Strömungsumformer oder ein Strömungsgleichrichter die Zulassungsprüfung nach 7.4.1 für ein spezielles Drosselgerät an einem bestimmten Einbauort bestanden hat. Strömungsumformer und Strömungsgleichrichter, die nachweislich die Zulassungsprüfung nach 7.4.1 für ein spezielles Drosselgerät bestanden haben, sind in den entsprechenden Teilen von ISO 5167 enthalten.

Es ist durch die Beschreibung der nachstehenden Strömungsgleichrichter und der Strömungsumformer nicht beabsichtigt, die Anwendung von anderen Ausführungen einzuschränken, die geprüft wurden und nachgewiesenermaßen zu ausreichend kleinen Änderungen des Durchflusskoeffizienten, bezogen auf Durchflusskoeffizienten, die in einer sehr langen geraden störungsfreien Rohrstrecke ermittelt wurden, geführt haben.

Geeignete handelsüblich verfügbare Produkte sind als Beispiele für Strömungsumformer und Strömungsgleichrichter in diesem Anhang enthalten (siehe C.2.2 und C.3.2). Diese Information dient dem Anwender dieses Teils von ISO 5167 als Erleichterung und stellt keine Bevorzugung dieser Produkte durch die ISO dar.

C.2 Strömungsgleichrichter

C.2.1 Allgemeine Beschreibung

Der Strömungsgleichrichter ist eine Vorrichtung, die den Drall in der Strömung beseitigt oder die den Drall wesentlich reduziert, dabei aber nicht gleichzeitig die in 7.3.3 festgelegten Strömungsbedingungen erzeugt.

Beispiele für Strömungsgleichrichter sind der Rohrbündel-Strömungsgleichrichter, der AMCA-Strömungsgleichrichter und der Etoile-Strömungsgleichrichter.

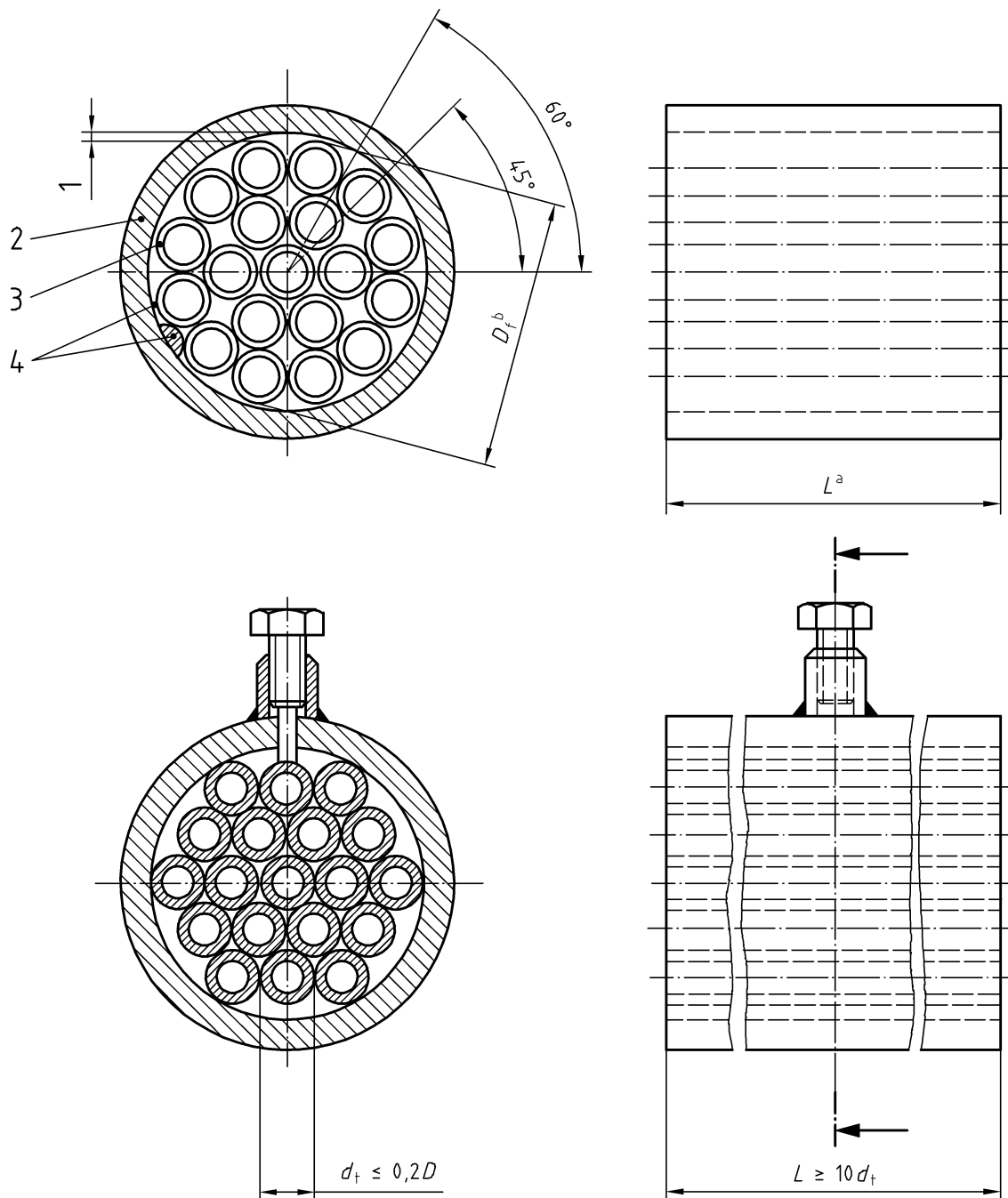
C.2.2 Beispiele

C.2.2.1 Rohrbündel-Strömungsgleichrichter

Der Rohrbündel-Strömungsgleichrichter besteht aus Rohren, die sich parallel und tangential selbst stützen und als Bündel fest in die Rohrleitung eingebaut werden (siehe Bild C.1). Hierbei ist es wichtig, dass die Rohre untereinander und zur Achse der Rohrleitung parallel sind, damit — falls dies nicht erfüllt ist — der Rohrbündel-Strömungsgleichrichter nicht selbst Drall erzeugt.

Der Rohrbündel-Strömungsgleichrichter besteht aus mindestens 19 Rohren mit der Länge $\geq 10 d_t$ mit d_t nach Bild C.1. Die 19 Rohre müssen untereinander und mit der Rohrleitung fest verbunden sein.

Ein Spezialfall [der 19-Rohr-Rohrbündel-Strömungsgleichrichters (1998)] ist in 6.3.2 von ISO 5167-2:2003 beschrieben.



Legende

- 1 minimaler Spalt
- 2 Rohrwand
- 3 Wanddicke des Rohres ($<0,025D$)
- 4 Zentrierelemente, üblich sind 4
- a die Länge L der Rohre muss zwischen $2D$ und $3D$ betragen; bevorzugt möglichst nahe $2D$
- b D_f = Außendurchmesser des Rohrbündel-Strömungsgleichrichters mit $0,95D \leq D_f \leq D$

Bild C.1 — Beispiele für Rohrbündel-Strömungsgleichrichter

Der Druckverlust-Koeffizient K des Rohrbündel-Strömungsgleichrichters hängt von der Anzahl seiner Rohre und deren Wanddicke ab, ist aber für den 19-Rohr-Rohrbündel-Strömungsgleichrichter (1998) annähernd gleich 0,75, wobei K durch die folgende Gleichung gegeben ist

$$K = \frac{\Delta p_c}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

Dabei ist

- Δp_c der Druckverlust des Strömungsgleichrichters oder des Strömungsumformers,
- V die mittlere axiale Geschwindigkeit des Fluids in der Rohrleitung.

Eine alternative Ausführung von Rohrbündel-Strömungsgleichrichtern ordnet die Rohre an seinem äußeren Rand an einem Flansch an, der geringfügig das Rohrinne verengt.

C.2.2.2 AMCA-Strömungsgleichrichter

Der AMCA-Strömungsgleichrichter besteht aus Honigwaben ähnlichen quadratischen Durchgängen, deren Maße aus Bild C.2 zu entnehmen sind. Die Bleche müssen so dünn wie möglich sein, gleichzeitig aber eine ausreichende Festigkeit besitzen.

Der Druckverlust-Koeffizient K für den AMCA-Strömungsgleichrichter ist annähernd gleich 0,25.

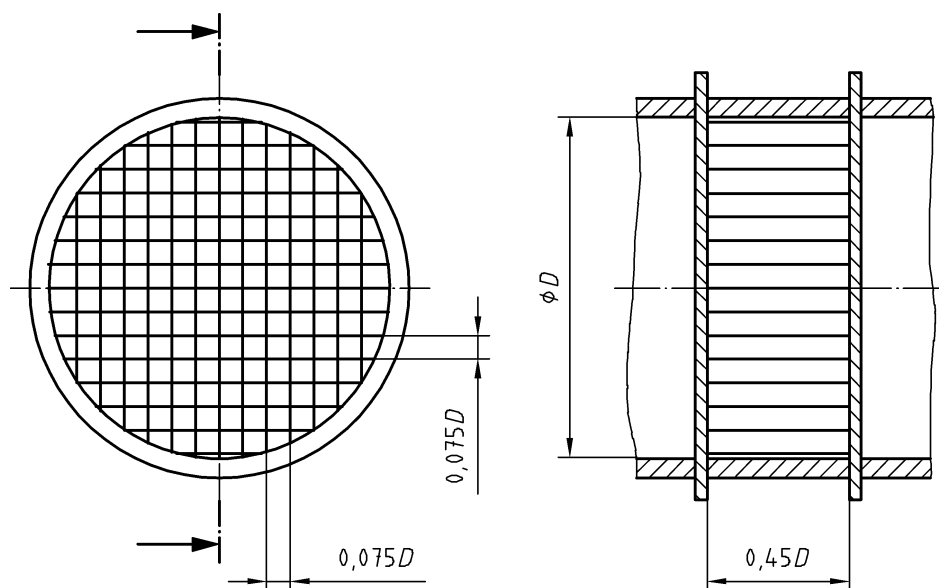


Bild C.2 — AMCA-Strömungsgleichrichter

C.2.2.3 Etoile-Strömungsgleichrichter

Der Etoile-Strömungsgleichrichter besteht aus acht radialen Schaufeln mit gleichwinkligem Abstand zueinander und einer Länge von $2D$ (siehe Bild C.3). Die Bleche müssen so dünn wie möglich sein, gleichzeitig aber eine ausreichende Festigkeit besitzen.

Der Druckverlust-Koeffizient K für den Etoile-Strömungsgleichrichter ist annähernd gleich 0,25.

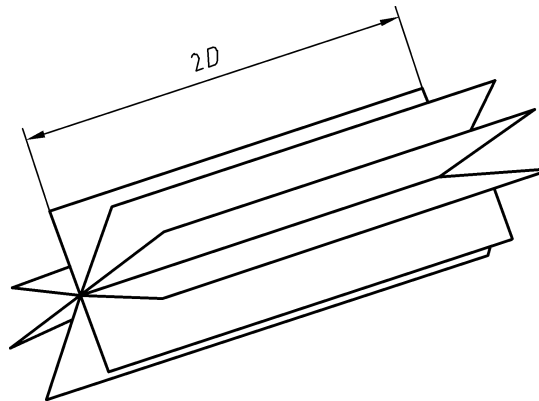


Bild C.3 — Etoile-Strömungsgleichrichter

C.3 Strömungsumformer

C.3.1 Allgemeine Beschreibung

Ein Strömungsumformer ist eine Vorrichtung, die zusätzlich zur der Anforderung, den Drall in der Strömung zu beseitigen oder wesentlich zu reduzieren, das Strömungsprofil neu entwickelt, um Strömungsbedingungen zu erzeugen, die denen in 7.3.3 nahe kommen.

Viele Strömungsumformer bestehen aus einer einzelnen Lochplatte oder eine Lochplatte ist ein Teil des Strömungsumformers. Verschiedene solcher Strömungsumformer sind in der technischen Literatur beschrieben und sind im Allgemeinen leichter herzustellen, einzubauen und anzuordnen als ein Rohrbündel-Strömungsgleichrichter. Sie haben den Vorteil, dass ihre Dicke üblicherweise $D/8$ beträgt im Vergleich zur Länge von $2D$ des Rohrbündel-Gleichrichters. Da die Lochplatten aus einem Stück und nicht mehr aus Teilen gefertigt werden können, werden robustere Lochplatten mit hoher Wiederholpräzision gefertigt.

In diesen Strömungsumformern wird durch eine geeignete Auswahl von Bohrung und Lochplattendicke, der Drall in der Strömung reduziert und das Strömungsprofil gleichzeitig neu entwickelt. Es gibt eine Anzahl von unterschiedlichen Ausführungen, die im Anhang B von ISO 5167-2:2003 beschrieben sind. Die Geometrie der Platte ist für die Ermittlung der Funktion, der Effektivität und des Druckverlustes der Lochplatte kritisch.

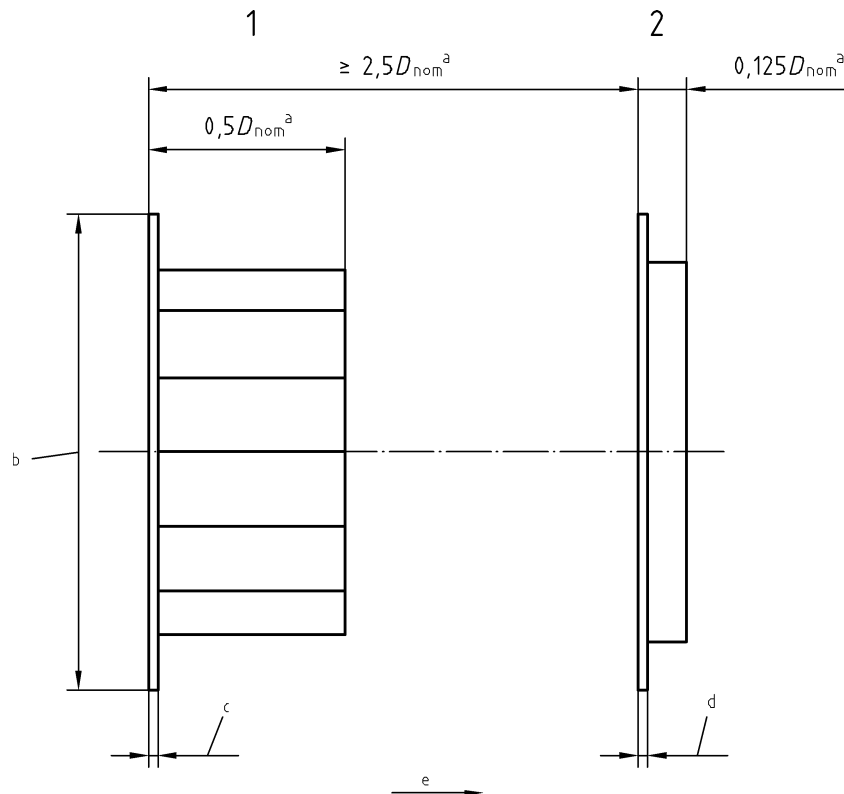
Der *Gallagher*-, *K-Lab NOVA*-, *NEL (Spearman)*-, *Sprenkle*- und *Zanker*-Strömungsumformer sind jeweils Beispiele für solche Strömungsumformer.

C.3.2 Beispiele

C.3.2.1 *Gallagher*-Strömungsumformer

Der patentierte *Gallagher*-Strömungsumformer besteht aus einer Einrichtung zur Drallbeseitigung, einer Beruhigungskammer sowie einer Einrichtung zur Profilformung, wie im Bild C.4 und Bild C.5 dargestellt.

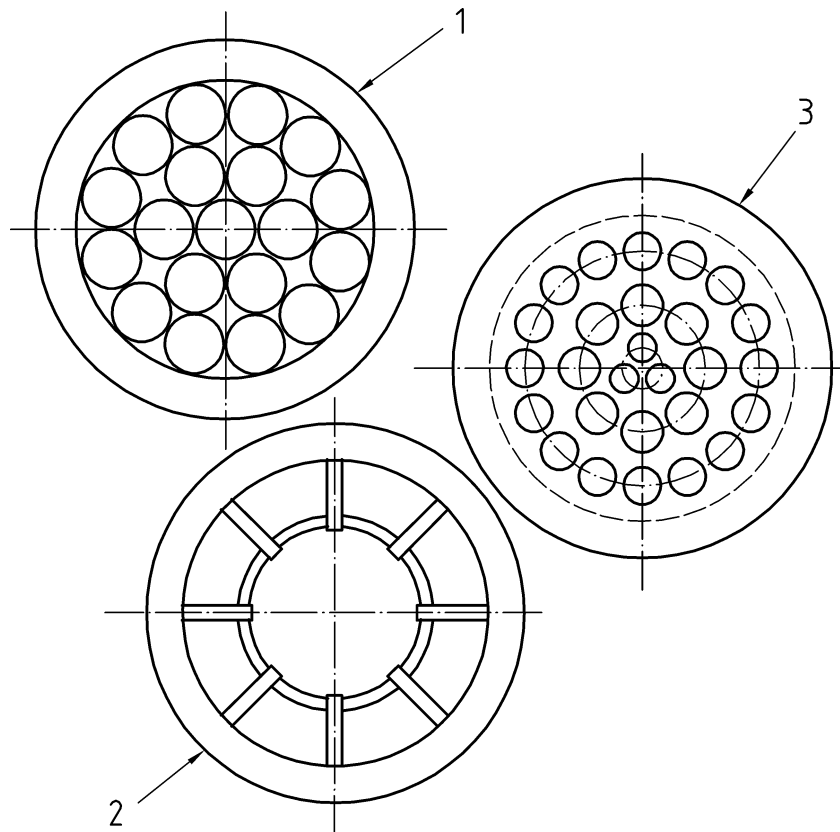
Der Druckverlust-Koeffizient K für den *Gallagher*-Strömungsumformer ist, abhängig von den Herstellungsspezifikationen des Umformers, annähernd gleich 2.



Legende

- 1 Einrichtung zur Drallbeseitigung
- 2 Einrichtung zur Profilformung
- a D_{nom} Nenn-Rohrdurchmesser
- b Länge gleich dem Dichtungsdurchmesser
- c 3,2 mm für D_{nom} von 50 mm bis 75 mm, Rohrausführung
 6,4 mm für D_{nom} von 100 mm bis 450 mm, Rohrausführung
 12,7 mm für D_{nom} von 500 mm bis 600 mm, Rohrausführung
 12,7 mm für D_{nom} von 50 mm bis 300 mm, Schaufelausführung
 17,1 mm für D_{nom} von 350 mm bis 600 mm, Schaufelausführung
- d 3,2 mm für D_{nom} von 50 mm bis 75 mm
 6,4 mm für D_{nom} von 100 mm bis 450 mm
 12,7 mm für D_{nom} von 500 mm bis 600 mm
- e Strömungsrichtung

Bild C.4 — Üblicher Aufbau eines *Gallagher*-Strömungsumformers



Legende

- 1 Einrichtung zur Drallbeseitigung — Option Rohrausführung: 19 Rohre gleichen Durchmessers als konzentrisches Rohrbündel (darf verstiftet montiert sein)
- 2 Einrichtung zur Drallbeseitigung — Option Schaufelausführung: 8 Schaufeln mit einer Länge $0,125D$ bis $0,25D$, konzentrisch zum Rohr angeordnet (die Einrichtung darf am Eingang der Messstrecke angeordnet werden)
- 3 Einrichtung zur Profilformung: 3-8-16-Bohrungsmuster (siehe Anmerkung)

ANMERKUNG Das 3-8-16-Bohrungsmuster für eine Einrichtung zur Profilformung besteht aus:

- 3 Bohrungen mit einem Teilkreisdurchmesser von $0,15D$ bis $0,155D$. Die Durchmesser sollten so gewählt sein, dass die Summe der sich ergebenden Flächen 3 % bis 5 % der Querschnittsfläche des Rohres beträgt.
- 8 Bohrungen mit einem Teilkreisdurchmesser von $0,44D$ bis $0,48D$. Die Durchmesser sollten so gewählt sein, dass die Summe der sich ergebenden Flächen 19 % bis 21 % der Querschnittsfläche des Rohres beträgt.
- 16 Bohrungen mit einem Teilkreisdurchmesser von $0,81D$ bis $0,85D$. Die Durchmesser sollten so gewählt sein, dass die Summe der sich ergebenden Flächen 25 % bis 29 % der Querschnittsfläche des Rohres beträgt.

Bild C.5 — Übliche Komponenten (Vorderansicht) eines *Gallagher*-Strömungsumformers

C.3.2.2 NOVA-Ausführung des K-Lab Lochplatten-Strömungsumformers

Die NOVA-Ausführung des K-Lab Lochplatten-Strömungsumformers nach Bild C.6, auch bekannt als K-Lab NOVA-Strömungsumformer, ist patentiert und besteht aus einer Lochplatte mit 25 Bohrungen, die in einer kreisrunden Anordnung symmetrisch zueinander angeordnet sind. Die Lochplattendicke t_c im Bereich der

Bohrungen beträgt $0,125D \leq t_c \leq 0,15D$. Die Flanschdicke ist von der Anwendung abhängig. Der Außendurchmesser und die Dichtungsfläche des Flansches hängen von der Ausführung und der Anwendung des Flansches ab. Die Maße der Bohrungen sind eine Funktion des Rohrrinnendurchmessers D und hängen von der Reynolds-Zahl im Rohr ab. Die Lochplatte muss folgende Bohrungen aufweisen:

Bei $Re_D \geq 8 \times 10^5$

- eine zentrale Bohrung mit dem Durchmesser $0,186\,29D \pm 0,000\,77D$;
- einen Ring von 8 Bohrungen mit den Durchmessern $0,163D \pm 0,000\,77D$ auf einem Teilkreisdurchmesser von $0,5D \pm 0,5\text{ mm}$;
- einen Ring von 16 Bohrungen mit den Durchmessern $0,120\,3D \pm 0,000\,77D$ auf einem Teilkreisdurchmesser von $0,85D \pm 0,5\text{ mm}$.

Bei $8 \times 10^5 > Re_D \geq 10^5$

- eine zentrale Bohrung mit dem Durchmesser $0,226\,64D \pm 0,000\,77D$;
- einen Ring von 8 Bohrungen mit den Durchmessern $0,163\,09D \pm 0,000\,77D$ auf einem Teilkreisdurchmesser von $0,5D \pm 0,5\text{ mm}$;
- einen Ring von 16 Bohrungen mit den Durchmessern $0,124\,22D \pm 0,000\,77D$ auf einem Teilkreisdurchmesser von $0,85D \pm 0,5\text{ mm}$.

Der Druckverlust-Koeffizient K für den K-Lab NOVA-Strömungsumformer ist annähernd gleich 2.

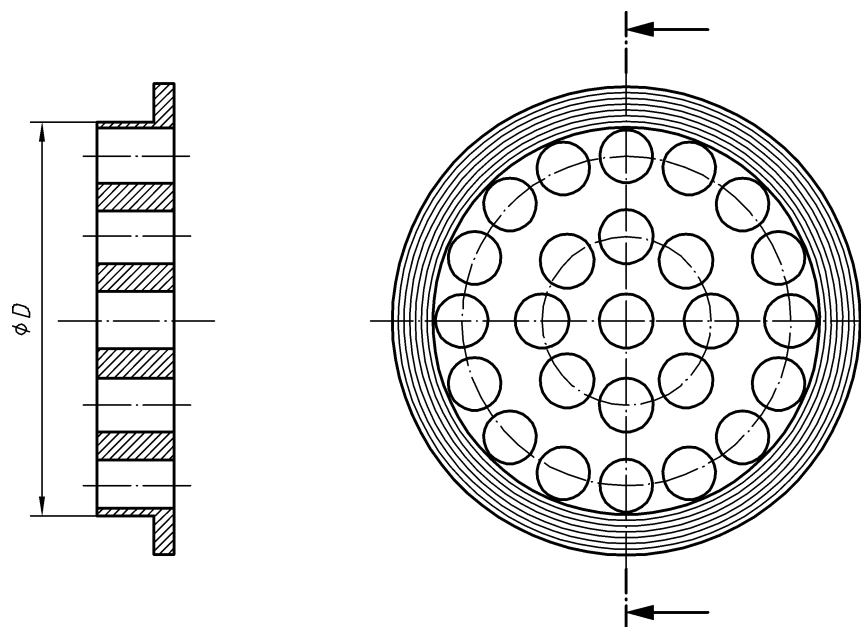


Bild C.6 — K-Lab NOVA-Strömungsumformer

C.3.2.3 NEL (*Spearman*)-Strömungsumformer

Der NEL (*Spearman*)-Strömungsumformer ist im Bild C.7 dargestellt. Die Maße der Bohrungen werden abhängig vom Rohrinneindurchmesser D festgelegt. Die Lochplatte muss folgende Bohrungen aufweisen:

- a) einen Ring von 4 Bohrungen (d_1) mit den Durchmessern $0,10D$ auf einem Teilkreisdurchmesser von $0,18D$;
- b) einen Ring von 8 Bohrungen (d_2) mit den Durchmessern $0,16D$ auf einem Teilkreisdurchmesser von $0,48D$;
- c) einen Ring von 16 Bohrungen (d_3) mit den Durchmessern $0,12D$ auf einem Teilkreisdurchmesser von $0,86D$.

Die Dicke der Lochplatte beträgt $0,12D$.

Der Druckverlust-Koeffizient K für den NEL (*Spearman*)-Strömungsumformer ist annähernd gleich 3,2.

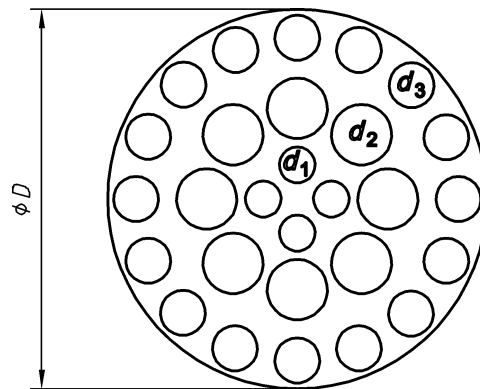


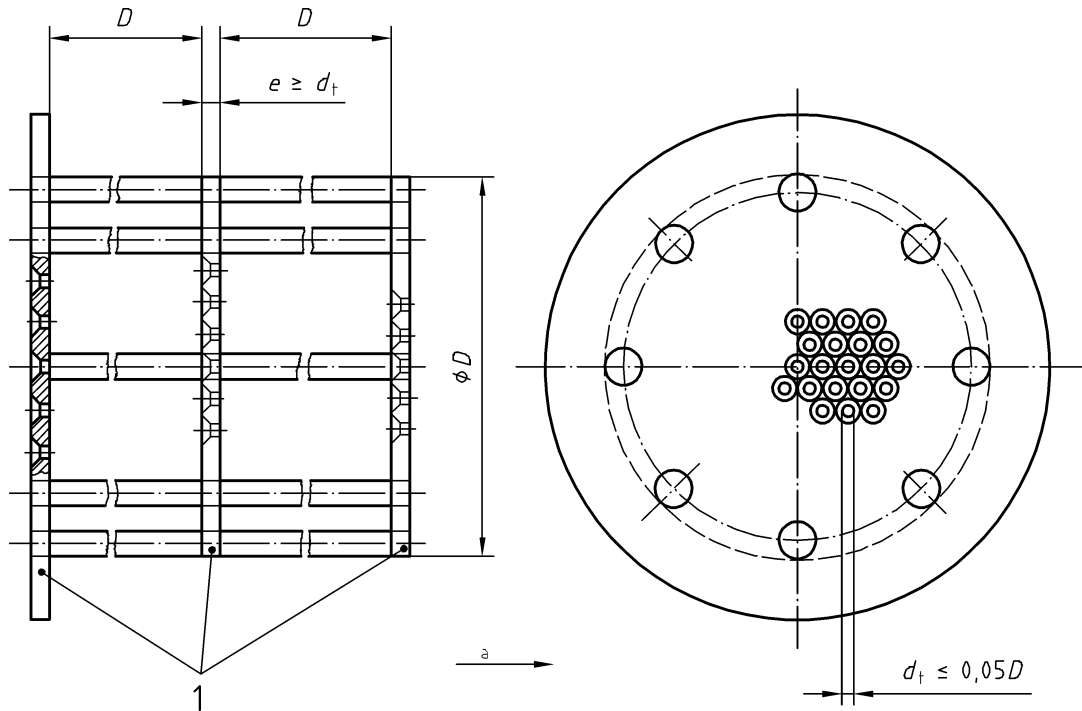
Bild C.7 — NEL (*Spearman*)-Strömungsumformer

C.3.2.4 Sprenkle-Strömungsumformer

Der *Sprenkle*-Strömungsumformer besteht aus drei Lochplatten, die in Abständen von je $D \pm 0,1D$ hintereinander angeordnet sind. Die Bohrungen werden zweckmäßigerweise auf der Anströmseite 45° abgeschrägt. Die Gesamtfläche der Bohrungen jeder Platte muss größer sein als 40 % des Rohrleitungsquerschnittes. Das Verhältnis Lochplattendicke zum Bohrungsdurchmesser sollte mindestens 1 entsprechen; der Durchmesser der Bohrung sollte $\leq 0,05D$ sein (siehe Bild C.8).

Die drei Lochplatten sollten durch am Umfang der Rohrwand angeordnete Abstandsbolzen verbunden sein. Diese sollten die erforderliche Festigkeit aufweisen, jedoch im Querschnitt so klein wie möglich sein.

Der Druckverlust-Koeffizient K für den *Sprenkle*-Strömungsumformer ist annähernd gleich 11 bei Bohrungen mit Ansträgungen und annähernd gleich 14 bei Bohrungen, die keine Ansträgung aufweisen.

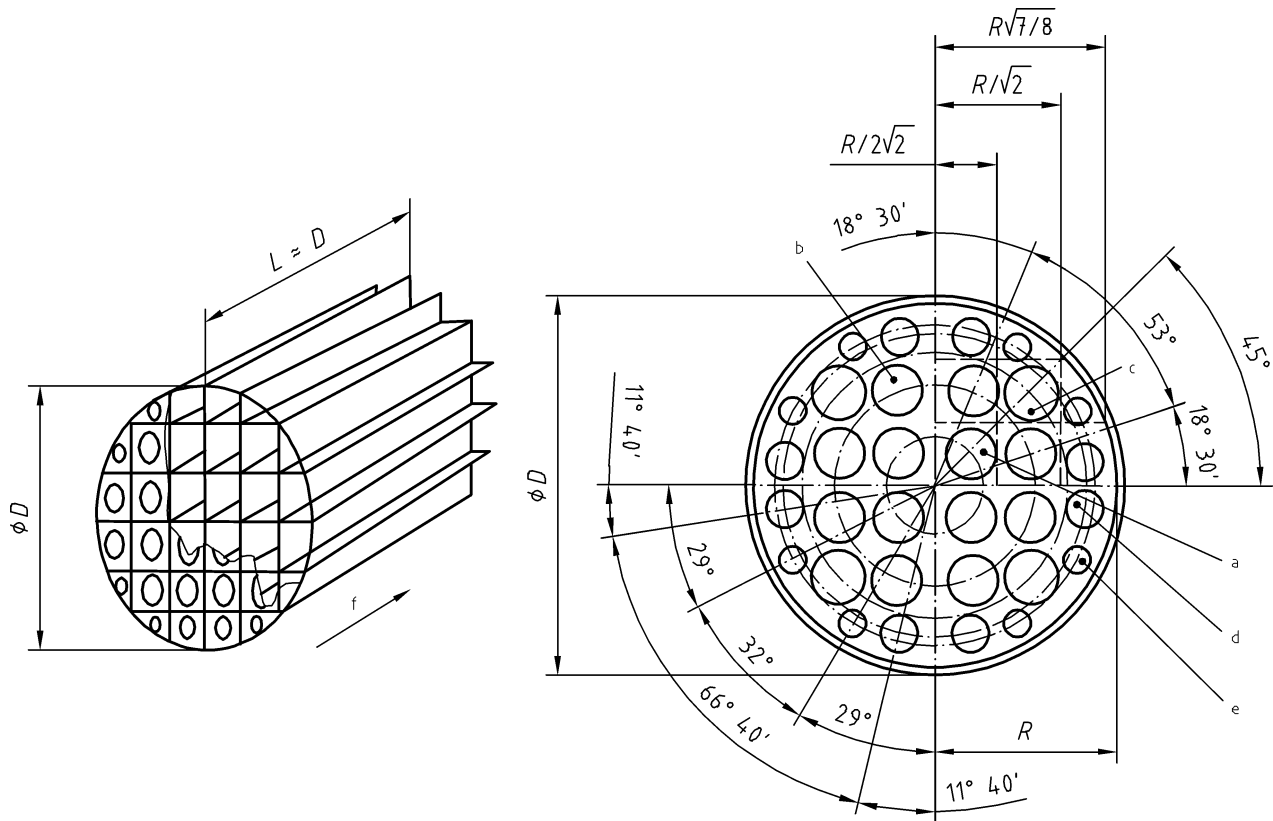
**Legende**

- 1 Lochplatte
a Strömungsrichtung

Bild C.8 — Sprenkle-Strömungsumformer**C.3.2.5 Zanker-Strömungsumformer**

Der *Zanker*-Strömungsumformer besteht aus einer Lochplatte mit Bohrungen bestimmter festgelegter Größen und einer Anzahl von Kanälen (ein Kanal für jede Bohrung), geformt durch sich kreuzende Platten (siehe Bild C.9). Die Platten müssen so dünn wie möglich sein, gleichzeitig aber eine ausreichende Festigkeit aufweisen.

Der Druckverlust-Koeffizient K für den *Zanker*-Strömungsumformer ist annähernd gleich 5.



Legende

- a Bohrungsdurchmesser $0,141D$, Teilkreisdurchmesser $0,25D$, vier Bohrungen
- b Bohrungsdurchmesser $0,139D$, Teilkreisdurchmesser $0,56D$, acht Bohrungen
- c Bohrungsdurchmesser $0,1365D$, Teilkreisdurchmesser $0,75D$, vier Bohrungen
- d Bohrungsdurchmesser $0,11D$, Teilkreisdurchmesser $0,85D$, acht Bohrungen
- e Bohrungsdurchmesser $0,077D$, Teilkreisdurchmesser $0,90D$, acht Bohrungen
- f Strömungsrichtung

Bild C.9 — Zanker-Strömungsumformer

C.3.2.6 Zanker-Lochplatten-Strömungsumformer

Dieser hier beschriebene Zanker-Lochplatten-Strömungsumformer ist eine Weiterentwicklung des Zanker-Strömungsumformers nach C.3.2.5. Er weist die gleiche Verteilung von Bohrungen in einer auf $D/8$ verstärkten Lochplatte auf, besitzt aber keine der Lochplatte nachgeschalteten Honigwaben-Kanäle.

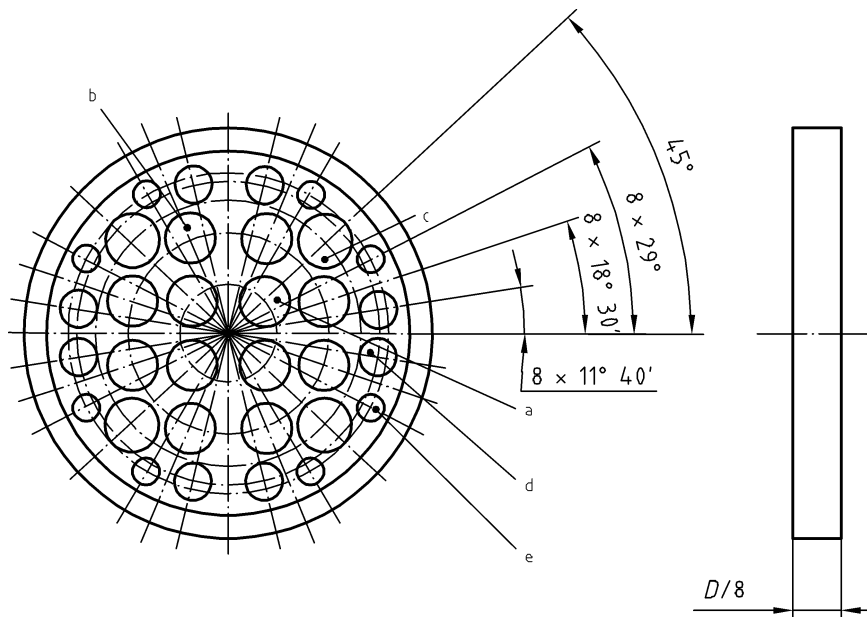
Der Zanker-Lochplatten-Strömungsumformer nach Bild C.10 besteht aus 32 Bohrungen, die in einer kreisrunden Anordnung symmetrisch zueinander angeordnet sind. Die Maße der Bohrungen werden abhängig vom Rohrrinnendurchmesser D festgelegt. Die Lochplatte muss folgende Bohrungen aufweisen:

- a) einen Ring von 4 zentralen Bohrungen mit den Durchmessern $0,141D \pm 0,001D$ auf einem Teilkreisdurchmesser von $0,25D \pm 0,0025D$;
- b) einen Ring von 8 zentralen Bohrungen mit den Durchmessern $0,139D \pm 0,001D$ auf einem Teilkreisdurchmesser von $0,56D \pm 0,0056D$;
- c) einen Ring von 4 zentralen Bohrungen mit den Durchmessern $0,1365D \pm 0,001D$ auf einem Teilkreisdurchmesser von $0,75D \pm 0,0075D$;

- d) einen Ring von 8 zentralen Bohrungen mit den Durchmessern $0,110D \pm 0,001D$ auf einem Teilkreisdurchmesser von $0,85D \pm 0,0085D$;
- e) einen Ring von 8 zentralen Bohrungen mit den Durchmessern $0,077D \pm 0,001D$ auf einem Teilkreisdurchmesser von $0,90D \pm 0,009D$.

Die Grenzabmaße für den Durchmesser jeder Bohrung betragen $\pm 0,1$ mm bei $D < 100$ mm.

Die Plattendicke t_c beträgt $0,12D \leq t_c \leq 0,15D$. Die Flanschdicke hängt von der Anwendung ab. Der Außendurchmesser und die Dichtungsfläche des Flansches hängen von der Ausführung und Anwendung des Flansches ab.



Legende

- a Bohrungsdurchmesser $0,141D$, Teilkreisdurchmesser $0,25D$, 4 Bohrungen
- b Bohrungsdurchmesser $0,139D$, Teilkreisdurchmesser $0,56D$, 8 Bohrungen
- c Bohrungsdurchmesser $0,1365D$, Teilkreisdurchmesser $0,75D$, 4 Bohrungen
- d Bohrungsdurchmesser $0,11D$, Teilkreisdurchmesser $0,85D$, 8 Bohrungen
- e Bohrungsdurchmesser $0,077D$, Teilkreisdurchmesser $0,90D$, 8 Bohrungen

Bild C.10 — Zanker-Lochplatten-Strömungsumformer

Der Druckverlust-Koeffizient K für den Zanker-Lochplatten-Strömungsumformer ist annähernd gleich 3.

Literaturhinweise

- [1] NIAZI, A., and THALAYASINGAM, S., Temperature changes across orifice meters. *In proc. of 19th North Sea Flow Measurement Workshop*, Norway, Paper 13, October 2001.
- [2] STUDZINSKI, W., and BOWEN, J., White paper on *Dynamic Effects on Orifice Measurement* Washington, D. C., American Petroleum Institute, 1997.
- [3] SCHLICHTING, H., *Boundary layer theory*. New York, McGraw-Hill, 1960.
- [4] STUDZINSKI, W., KARNIK, U., LANASA, P., MORROW, T., GOOSON, D., HUSAIN; Z., and GALLAGHER, J., White Paper on *Orifice Meter Installation Configuration with and without Flow Conditioners*. Washington, D. C., American Petroleum Institute, 1997.
- [5] SHEN, J.J.S., *Characterization of Swirling Flow and its Effects on Orifice Metering*. SPE 22865. Richardson, Texas: Society of Petroleum Engineers, 1991.
- [6] READER-HARRIS, M.J., Pipe roughness and Reynolds number limits for the orifice plate discharge coefficient equation. In *Proc. of 2nd Int. Symp. on Fluid Flow Measurement*, Calgary, Canada, Arlington, Virginia: American Gas Association, June 1990, pp 29-43.
- [7] READER-HARRIS, M. J. SATTARY, J. A. and SPEARMAN, E. P., *The orifice plate discharge coefficient equation*. Progress Report No PR 14: EUEC/17 (EEC005). East Kilbride, Glasgow: National Engineering Laboratory Executive Agency, May 1992.
- [8] ISO/TR 3313:1998, *Measurement of fluid flow in closed conduits — Guidelines on the effect of flow pulsating on flow measuring instruments*.
- [9] ISO 4288:1996, *Geometrical Product Specification (GPS) — Surface texture: Profile method — Rules and procedures for the assessment of surface texture*
- [10] ISO/TR 5168:1998, *Measurement of fluid flow — Evaluation of uncertainties*.
- [11] ISO/TR 9464:1998, *Guidelines for the use of ISO 5167-1:1991*.

Anhang ZA (normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

ANMERKUNG Ist eine internationale Publikation durch gemeinsame Abweichungen modifiziert worden, gekennzeichnet durch (mod.), dann gilt die entsprechende EN/HD.

Publikation	Jahr	Titel	EN/HD	Jahr
ISO 4006	1991	<i>Durchflussmessung von Fluiden in geschlossenen Leitungen — Begriffe und Formelzeichen</i>	EN 24006	1993
ISO 5167-2	2003	<i>Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt — Teil 2: Blenden</i>	EN ISO 5167-2	2003
ISO 5167-3	2003	<i>Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt — Teil 3: Düsen und Venturidüsen</i>	EN ISO 5167-3	2003
ISO 5167-4	2003	<i>Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt — Teil 4: Venturirohre</i>	EN ISO 5167-4	2003