

DIN EN ISO 5167-1



ICS 17.120.10

Entwurf

Einsprüche bis 2021-09-30
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 5167-1:2004-01

**Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt –
Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Anforderungen (ISO/DIS 5167-1:2021);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 5167-1:2021**

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/DIS 5167-1:2021);
German and English version prEN ISO 5167-1:2021

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/DIS 5167-1:2021);
Version allemande et anglaise prEN ISO 5167-1:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-07-30 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an natg@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG), 10772 Berlin oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 100 Seiten

DIN-Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 5167-1:2021) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 30 „Measurement of fluid flow in closed conduits“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/SS F05 „Messinstrumente“ erarbeitet, dessen Sekretariat von CCMC gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 152-04-02 AA „Durchfluss und Menge“ im DIN-Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

DIN EN ISO 5167 besteht unter dem allgemeinen Titel *Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt* aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Anforderungen
- Teil 2: Blenden
- Teil 3: Düsen und Venturidüsen
- Teil 4: Venturirohre
- Teil 5: Konus-Durchflussmesser
- Teil 6: Keil-Durchflussmesser

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 4006	siehe	DIN EN 24006
ISO 4288:1996	siehe	DIN EN ISO 4288:1998-04
ISO 5167-2:20xx	siehe	DIN EN ISO 5167-2:—*
ISO 5167-3:20xx	siehe	DIN EN ISO 5167-3:—*
ISO 5167-4:20xx	siehe	DIN EN ISO 5167-4:—*
ISO 5167-5:20xx	siehe	DIN EN ISO 5167-5:2016-10
ISO 5167-6:20xx	siehe	DIN EN ISO 5167-6:2020-02

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

* Das Dokument wird derzeit erarbeitet.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 5167-1:2004-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Einheitlichkeit aller 6 Teile der Reihe ISO 5167 verbessert (einige neu aufgenommene Inhalte sind aus ISO 5167-5 und ISO 5167-6 in das vorliegende Dokument verschoben worden);
- b) Primärgeräte werden als Bestandteil von Drosselgeräten festgelegt;
- c) kurzer Abschnitt über Fehlerdiagnose und CBM (Condition Based Monitoring) hinzugefügt;
- d) Beschränkung der Anwendbarkeit 5%/2°-Regel für ein annehmbares Leitungsprofil aufgenommen;
- e) Angaben zur Berechnung der Messunsicherheit verdeutlicht und Beispiel (in Anhang) aufgenommen;
- f) Anhänge zu Turndown und bleibendem Druckverlust aufgenommen.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 24006, *Durchflussmessung von Fluiden in geschlossenen Leitungen — Begriffe und Formelzeichen*

DIN EN ISO 4288:1998-04, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit (ISO 4288:1996); Deutsche Fassung EN ISO 4288:1997*

DIN EN ISO 5167-2:—^{*}, *Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt — Teil 2: Blenden (ISO/DIS 5167-2:2021); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 5157-2:2021*

DIN EN ISO 5167-3:—^{*}, *Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt — Teil 3: Düsen und Venturidüsen (ISO 5167-3:2020); Deutsche Fassung EN ISO 5167-3:2020*

DIN EN ISO 5167-4:—^{*}, *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*

DIN EN ISO 5167-5:2016-10, *Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt — Teil 5: Konus-Durchflussmesser (ISO 5167-5:2016); Deutsche Fassung EN ISO 5167-5:2016*

DIN EN ISO 5167-6:2020-02, *Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt — Teil 6: Keil-Durchflussmesser (ISO 5167-6:2019); Deutsche Fassung EN ISO 5167-6:2019*

* Das Dokument wird derzeit erarbeitet.

<i>Titel de:</i>	Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt — Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Anforderungen (ISO/DIS 5167-1:2021)
<i>Titel en:</i>	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/DIS 5167-1:2021)
<i>Titel fr:</i>	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/DIS 5167-1:2021)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Symbole und Indizes	13
4.1 Symbole	13
4.2 Indizes	15
5 Grundlage des Mess- und Berechnungsverfahrens	15
5.1 Grundlage des Messverfahrens	15
5.2 Verfahren für die Bestimmung des erforderlichen Durchmesser- verhältnisses für das ausgewählte genormte Primärgerät	16
5.3 Berechnung des Durchflusses	16
5.4 Bestimmung von Dichte, Druck und Temperatur	16
5.4.1 Allgemeines	16
5.4.2 Dichte	17
5.4.3 Statischer Druck	17
5.4.4 Temperatur	18
5.5 Differenzdruck-Durchflusssystem	18
5.5.1 Allgemeines	18
5.5.2 Primärgerät	20
5.5.3 Impulsleitungen und Messaufnehmer	20
5.5.4 Absperrventile und Ventilblöcke der Impulsleitungen	20
5.5.5 Mengenumwerter	20
5.6 Betrachtungen bezüglich der Konstruktion des Differenzdruck-Durchflusssystem	20
5.6.1 Messspanne des Durchflusses und gestapelte Messumformer	20
5.6.2 Kalibrierung des Durchflusssensors	21
5.6.3 Bleibender Druckverlust	21
5.6.4 Diagnostik und Verifizierung des Durchflusssensors	22
5.6.5 Gesamtunsicherheit eines Differenzdruck-Messsystems	23
6 Allgemeine Anforderungen an die Messungen	23
6.1 Primärgerät	23
6.2 Art des Fluids	23
6.3 Strömungsbedingungen	23
7 Anforderungen an den Einbau	24
7.1 Allgemeines	24
7.2 Mindestwerte für gerade Rohrlängen im Ein- und Auslauf	25
7.3 Allgemeine Anforderung an die Strömungsbedingungen am Primärgerät	26
7.3.1 Anforderung	26
7.3.2 Drallfreie Bedingungen	26
7.3.3 Gute Strömungsbedingungen	26
7.4 Strömungsumformer (siehe auch Anhang C)	26
7.4.1 Übereinstimmungsprüfung	26

7.4.2	Besondere Prüfung	28
8	Unsicherheiten bei der Durchflussmessung	28
8.1	Festlegung der Unsicherheit	29
8.2	Praktische Berechnung der Unsicherheit	29
8.2.1	Messunsicherheitskomponenten	29
8.2.2	Praktische Arbeitsgleichung	30
Anhang A (informativ) Iterative Berechnungen		32
Anhang B (informativ) Beispiele für Werte der gleichmäßigen äquivalenten Rohrrauheit k der Rohrwand		35
Anhang C (informativ) Strömungsumformer und Strömungsgleichrichter		36
C.1	Allgemeines	36
C.2	Strömungsgleichrichter	36
C.3	Strömungsumformer	36
C.4	Übereinstimmungsprüfungen	37
Anhang D (informativ) Differenzdruck-Messumformer, Durchflussbereich und Messspanne		38
D.1	Differenzdruck-Messumformer	38
D.2	Messspanne	39
D.3	Einflussfaktoren für den Durchflussbereich von Differenzdruck-Messgeräten	39
D.3.1	Allgemeines	39
D.3.2	Art des Messgeräts	39
D.3.3	Durchmesser Verhältnis	39
D.3.4	Strukturelle Unversehrtheit	40
D.3.5	Bleibender Druckverlust	40
D.3.6	Strömungsbedingungen	40
D.3.7	Wirkdruckbereich	40
D.3.8	Einstellbare Durchflussbereiche	41
D.4	Vergleich von Durchflussmesser-Messspannen	42
Anhang E (informativ) Beispiel für Unsicherheit		44
E.1	Aufbau des Durchflussmessers	44
E.2	Unsicherheit und Empfindlichkeit von Parametern	44
E.2.1	Allgemeines	44
E.2.2	Durchflusskoeffizient C	44
E.2.3	Expansionszahl ε	45
E.2.4	Wirkdruck Δp	45
E.2.5	Blendendurchmesser d	45
E.2.6	Durchmesser des zulaufseitigen Rohres D	45
E.2.7	Massendichte ρ_1	45
E.2.8	Kombinieren der Unsicherheiten	46
Anhang F (informativ) Beispiel für bleibenden Druckverlust		47
Literaturhinweise		49

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 5167-1:2021) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 30 „Measurement of fluid flow in closed conduits“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/SS F05 „Messinstrumente“ erarbeitet, dessen Sekretariat von CCMC gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 5167-1:2003 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 5167-1:2021 wurde von CEN als prEN ISO 5167-1:2021 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

ISO 5167-1 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 30, *Measurement of fluid flow in closed conduits*, Unterkomitee SC 2, *Pressure differential devices* erarbeitet.

Diese dritte Fassung von ISO 5167-1 ersetzt die zweite Fassung (ISO 5167-1:2003), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

Die Übereinstimmung zwischen Teil 1 bis Teil 6 wurde verbessert (einige Themen, die in Teil 5 und Teil 6 neu waren, wurden in Teil 1 verschoben).

Ein Primärelement wird als Teil eines Differenzdruck-Durchflussmesssystems eingeführt.

Ein kurzer Absatz zu Diagnostik und CBM (zustandsorientierte Überwachung, en: Condition Based Monitoring) ist enthalten.

Eine Begrenzung hinsichtlich der Anwendung der 5%-2°-Regel für ein annehmbares Profil wird angemerkt.

Der Text über die Berechnung der Unsicherheit wurde verbessert und in einem Anhang wird ein Beispiel bereitgestellt.

Es sind Anhänge zur Messspanne und zum bleibenden Druckverlust enthalten.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 5167 kann auf der ISO-Internetseite abgerufen werden.

Einleitung

ISO 5167 ist in sechs Teile gegliedert und behandelt die Geometrie und Anwendungsverfahren (Einbau- und Betriebsbedingungen) von Blenden, Düsen, Venturirohren, Konus- und Keil-Durchflussmessern, die in voll durchströmten Leitungen eingesetzt sind, um den Durchfluss der Fluidströmung in der Leitung zu bestimmen. Es werden zudem auch notwendige Informationen für die Berechnung des Durchflusses und der damit verbundenen Unsicherheit gegeben.

ISO 5167 ist nur auf Drosselgeräte anwendbar, in denen die Strömung in allen Messquerschnitten im Unterschallbereich bleibt und das Fluid als einphasig betrachtet werden kann; sie ist jedoch nicht auf die Messung von pulsierenden Strömungen anwendbar. Ferner kann jedes dieser Geräte unkalibriert nur innerhalb festgelegter Grenzen von Rohrweite und Reynoldszahl eingesetzt werden, oder alternativ über seinen jeweiligen kalibrierten Bereich.

ISO 5167 behandelt Geräte, bei denen direkte Kalibrierversuche in ausreichender Anzahl, Qualität und ausreichendem Umfang durchgeführt wurden, damit es bei kohärenten Anwendungssystemen möglich ist, sich auf deren Ergebnisse und Beiwerte zu stützen, die innerhalb bestimmter vorhersagbarer Unsicherheitsgrenzen anzugeben sind. ISO 5167 stellt auch eine Methodik für maßgeschneiderte Kalibrierung von Differenzdruck-Durchflussmessern bereit.

Die in das Rohr eingebauten Geräte werden als Primärgeräte bezeichnet. Die Benennung Primärgerät schließt auch die Druckentnahmen ein. Alle weiteren Messgeräte oder Geräte, die erforderlich sind, um die Messwertbestimmung der Messgeräte zu unterstützen, werden als Sekundärgeräte bezeichnet, und der Mengenumwerter, der diese Messwerte empfängt und die Algorithmen durchführt, ist als Tertiärgerät bekannt. ISO 5167 behandelt Primärgeräte; Sekundärgeräte¹ und Tertiärgeräte werden nur gelegentlich erwähnt.

ISO 5167 ist in die folgenden sechs Teile untergliedert:

- a) ISO 5167-1 enthält allgemeine Begriffe, Symbole, Messprinzipien und Anforderungen sowie Messverfahren und Angaben zur Unsicherheit, die in Verbindung mit ISO 5167, Teil 2 bis Teil 6 zu verwenden sind.
- b) ISO 5167-2 legt Anforderungen an Blenden fest, die mit Eck-Druckentnahmen, D - und $D/2$ -Druckentnahmen² und mit Flansch-Druckentnahmen angewendet werden können.
- c) ISO 5167-3 legt Anforderungen an ISA 1932-Düsen³, Langradiusdüsen und Venturidüsen fest, die sich in der Form und Lage der Druckentnahmen voneinander unterscheiden. Langradiusdüsen mit Entnahmebohrung am Halsteil sind eingeschlossen.
- d) ISO 5167-4 legt klassische Venturirohre⁴ fest.
- e) ISO 5167-5 legt Konus-Durchflussmesser fest.
- f) ISO 5167-6 legt Keil-Durchflussmesser fest.

¹ Siehe ISO 2186:2007, *Fluid flow in closed conduits — Connections for pressure signal transmissions between primary and secondary elements*.

² Blenden mit Vena-Contracta-Druckentnahmen werden in ISO 5167 nicht behandelt.

³ ISA ist die Abkürzung für „International Federation of the National Standardizing Associations“, deren Nachfolger 1946 die ISO wurde.

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

Aspekte der Sicherheit werden in ISO 5167, Teil 1 bis Teil 6 nicht behandelt. Es liegt in der Verantwortung des Anwenders sicherzustellen, dass das System den zutreffenden Sicherheitsvorschriften entspricht.

Zusätzliche Dokumente, die Unterstützung bieten dürfen, schließen folgende ein:

- ISO/TR 3313, *Measurement of fluid flow in closed conduits — Guidelines on the effects of flow pulsations on flow-measurement instruments*
- ISO/TR 9464, *Guidelines for the use of ISO 5167:2003*
- ISO/TR 12767, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices — Guidelines on the effect of departure from the specifications and operating conditions given in ISO 5167*
- ISO/TR 15377, *Measurement of fluid flow by means of pressure-differential devices — Guidelines for the specification of orifice plates, nozzles and Venturi tubes beyond the scope of ISO 5167*

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 5167 legt Begriffe und Symbole fest und gibt die allgemeinen Grundsätze für Mess- und Berechnungsverfahren für den Durchfluss von Fluiden in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt mittels Drosselgeräten (Blenden, Düsen und Venturirohre, Konus-Durchflussmesser und Keil-Durchflussmesser) an. Dieser Teil von ISO 5167 legt auch die allgemeinen Anforderungen an Messverfahren, den Einbau von Drosselgeräten und die Ermittlung der Messunsicherheit der Durchflussmessung fest. Er legt ferner die allgemeinen spezifizierten Grenzen für Rohrweite und Reynolds-Zahl fest, bei denen diese Drosselgeräte anzuwenden sind.

ISO 5167 (alle Teile) gilt nur für Strömungen, die über den gesamten Messquerschnitt im Unterschallbereich bleiben und bei denen das Fluid als einphasig betrachtet werden kann. Sie gilt nicht für die Messung von pulsierenden Strömungen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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, *Measurement of fluid flow in closed conduits — Vocabulary and symbols*

ISO 5167-2:20xx, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 2: Orifice plates*

ISO 5167-3:20xx, *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 5167-4:20xx, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 4: Venturi tubes*

ISO 5167-5:20xx, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 5: Cone meters*

ISO 5167-6:20xx, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 6: Wedge meters*

ISO 5168:2005, *Measurement of fluid flow — Procedures for the evaluation of uncertainties*

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 4006 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

Anmerkung 1 zum Begriff: Die folgenden Definitionen beziehen sich nur auf Benennungen, die in einem bestimmten Sinne angewendet werden oder bei denen es nützlich zu sein scheint, die Bedeutung hervorzuheben.

3.1 Druckmessung

3.1.1

Wand-Druckentnahme

ringförmiger Schlitz oder kreisrunde Bohrung in der Leitungswand, deren Kante mit der Innenwand der Leitung bündig ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Druckentnahme ist gewöhnlich eine kreisrunde Bohrung, in bestimmten Fällen kann sie jedoch auch ein ringförmiger Schlitz sein.

3.1.2

statischer Druck eines Fluids, das durch eine Rohrleitung fließt

p

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

Anmerkung 1 zum Begriff: In ISO 5167 (alle Teile) wird nur der Wert des absoluten statischen Drucks betrachtet.

3.1.3

Wirkdruck

DP, en: differential pressure

Δp

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

Anmerkung 1 zum Begriff: In ISO 5167 (alle Teile) wird die Benennung „Wirkdruck“ nur dann verwendet, wenn sich die Druckentnahmen an den Stellen befinden, die für die jeweiligen Norm-Primärgeräte festgelegt 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

3.1.5

Vena Contracta

Stelle in einem Fluidstrom, an der der Durchmesser des Stroms am geringsten ist

3.2 Primärgeräte

3.2.1

Drosselöffnung

Halsteil

kleinster Öffnungsquerschnitt in einem Primärgerät

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Öffnungen in genormten Primärgeräten sind kreisrund und coaxial zur Rohrachse.

3.2.2

Blende

dünne Scheibe mit bearbeiteter kreisförmiger Öffnung

Anmerkung 1 zum Begriff: Genormte Blenden werden als „dünne Scheibe“ und mit „scharfer rechtwinkliger Kante“ der Drosselöffnung beschrieben, da ihre Dicke im Vergleich zum Durchmesser des Messabschnitts klein ist und weil die Einlaufkante der Drosselöffnung scharf und rechtwinklig ist.

3.2.3

Düse

Gerät, bestehend aus einem sich verengenden Einlauf und einem daran anschließenden zylindrischen Teil, der im allgemeinen als „Halsteil“ bezeichnet wird

3.2.4

Venturidüse

Gerät, bestehend aus einem sich verengenden Einlauf, bei dem es sich um eine genormte ISA-1932-Düse handelt, einem sich anschließenden zylindrischen Teil, der im Allgemeinen als „Halsteil“ bezeichnet wird und der sich wiederum selbst an einen sich konisch erweiternden Auslauf anschließt, der als „Diffusor“ bezeichnet wird

3.2.5

Venturirohr

Gerät, bestehend aus einem sich konisch verengenden Einlauf, einem sich anschließenden zylindrischen Teil, der als „Halsteil“ bezeichnet wird und sich wiederum an einen sich konisch erweiternden Auslauf anschließt, welcher als „Diffusor“ bezeichnet wird

3.2.6

Konus-Durchflussmesser

Gerät, das aus einer konusförmigen Verengung besteht, die in der Mitte des Rohres mit der Konusspitze gegen die Durchflussrichtung gehalten wird

3.2.7

Keil-Durchflussmesser

Gerät, das eine keilförmige Verengung umfasst

3.2.8

Durchmesserverhältnis

β

<eines Primärgerätes, angewendet in einem gegebenen Rohr> Quadratwurzel des Verhältnisses der Fläche des Halsteils des Primärgerätes zur Innenfläche des Messrohres im Einlauf des Primärgerätes

Anmerkung 1 zum Begriff: In Teil 2 und Teil 3 ist das Durchmesserverhältnis das Verhältnis des Durchmessers des Halsteils des Primärgerätes zum Innendurchmesser des Messrohrs im Einlauf des Primärgerätes.

Anmerkung 2 zum Begriff: In Teil 4, bei dem das Primärgerät einen zylindrischen Einlauf aufweist, dessen Durchmesser dem Rohrdurchmesser entspricht, ist das Durchmesserverhältnis das Verhältnis des Halsteil-Durchmessers zum Durchmesser dieses zylindrischen Abschnitts in der Ebene der zulaufseitigen Druckentnahmen.

3.2.9

Fassungsring

Gerät, das genutzt wird, um das Primärelement in der Mitte des Rohrs zu halten und das die Druckentnahmen enthalten darf

3.3 Strömung

3.3.1

Durchfluss

Durchflussrate

q

Masse oder Volumen eines Fluids, welches das Primärgerät je Zeiteinheit durchströmt

3.3.1.1

Massendurchfluss

Massendurchflussrate

q_m

Masse eines Fluids, welches das Primärgerät je Zeiteinheit durchströmt

3.3.1.2

Volumendurchfluss

Volumendurchflussrate

q_V

Volumen eines Fluids, welches das Primärgerät je Zeiteinheit durchströmt

Anmerkung 1 zum Begriff: 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

dimensionsloser Parameter, der das Verhältnis zwischen den Trägheits- und Zähigkeitskräften angibt

3.3.2.1

Reynolds-Zahl, bezogen auf das Rohr

Re_D

dimensionsloser Parameter, der das Verhältnis zwischen den Trägheits- und Zähigkeitskräften im zulaufseitigen Rohr angibt

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

3.3.2.2

Reynolds-Zahl, bezogen auf die Drosselöffnung oder den Halsteil

Re_d

dimensionsloser Parameter, der das Verhältnis zwischen den Trägheits- und Zähigkeitskräften in der Drosselöffnung oder dem Halsteil des Primärgerätes angibt

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

3.3.3

Isentropenexponent

κ

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Isentropenexponent κ erscheint in den verschiedenen Gleichungen für die Expansionszahl ε und schwankt in Abhängigkeit von der Art des Gases und von dessen Temperatur und Druck.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für viele Gase und Dämpfe sind bis jetzt noch keine Werte für κ veröffentlicht worden, vor allem über einen weiten Bereich für Druck und Temperatur. Für die Anwendung von ISO 5167 (alle Teile) kann in solch einem Fall das Verhältnis der spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Druck zur spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Volumen idealer Gase statt des Isentropenexponenten genutzt werden.

3.3.4

Joule-Thomson-Koeffizient

μ_{JT}

Temperatur-Druck-Koeffizient bei konstanter Enthalpie

Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur gegenüber dem Druck bei konstanter Enthalpie

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Joule-Thomson-Koeffizient schwankt in Abhängigkeit von der Art des Gases und dessen Temperatur und Druck und kann berechnet werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein Näherungswert für den Joule-Thomson-Koeffizienten ist für einige natürliche Gase in ISO/TR 9464, 5.1.5.4.4 angegeben.

3.3.5

Durchflusskoeffizient

C

Kennzahl, die für einen inkompressiblen Fluidstrom festgelegt ist, und den Zusammenhang zwischen dem tatsächlichen und dem theoretischen Durchfluss durch ein Gerät darstellt, und die durch die Gleichung für inkompressible Fluide gegeben ist

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Kalibrierungen von genormten Primärgeräten mittels inkompressibler Fluide (Flüssigkeiten) zeigen, dass der Durchflusskoeffizient für ein bestimmtes Primärgerät bei bestimmten Einbauverhältnissen nur von der Reynolds-Zahl abhängt.

Der numerische Wert von C ist bei jedem einzelnen Differenzdruckmesser für verschiedene Einbauverhältnisse gleich, wenn diese geometrisch ähnlich sind und die Strömungen identische Reynolds-Zahlen aufweisen.

Die Gleichungen für die Zahlenwerte von C in ISO 5167 (alle Teile) beruhen auf experimentell ermittelten Daten.

Die Messunsicherheit des Wertes von C kann durch eine Durchflusskalibrierung in einem geeigneten Laboratorium verringert werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Größe $1/\sqrt{1 - \beta^4}$ wird als „Vorgeschwindigkeitsfaktor“ und das Produkt

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

als „Durchflusszahl“ bezeichnet.

3.3.6

Expansionszahl

ε

Kennzahl, die verwendet wird, um die Kompressibilität des Fluids zu berücksichtigen

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kalibrierung eines bestimmten Primärgerätes mit einem kompressiblen Fluid (Gas) zeigt, dass das Verhältnis

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

sowohl vom Wert der Reynolds-Zahl als auch von den Werten des Druckverhältnisses und des Isentropenexponenten des Gases abhängt.

Das für die Darstellung dieser Schwankungen angewandte Verfahren besteht aus der Multiplikation des Durchflusskoeffizienten C des betrachteten Primärgerätes, wie er sich bei direkter Kalibrierung mit Flüssigkeiten für den gleichen Wert der Reynolds-Zahl ergibt, mit der Expansionszahl ε .

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

Dieses Verfahren ist möglich, weil Versuche zeigen, dass ε praktisch von der Reynolds-Zahl unabhängig ist und für ein gegebenes Durchmesser Verhältnis eines gegebenen Primärgerätes nur vom Druckverhältnis und vom Isentropenexponenten abhängt.

Die Zahlenwerte von ε , die für Blenden in ISO 5167-2 und für Konus-Durchflussmesser in ISO 5167-5 angegeben werden, beruhen auf experimentell ermittelten Daten. Für Düsen (siehe ISO 5167-3), Venturirohre (siehe ISO 5167-4) und Keil-Durchflussmesser (siehe ISO 5167-6) basieren sie auf der allgemeinen thermodynamischen Gleichung für isentrope Expansion.

3.3.7

arithmetischer Mittenrauwert

R_a

arithmetischer Mittelwert der Abweichung von der Mittellinie des gemessenen Profils

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Mittellinie ist so definiert, dass die Summe der Quadrate der Abstände zwischen der effektiven Oberfläche und der Mittellinie am geringsten ist. In der Praxis kann R_a mit genormten Einrichtungen für bearbeitete Oberflächen gemessen, jedoch für rauere Rohroberflächen nur geschätzt werden. Siehe auch ISO 4288.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für Rohre kann auch die gleichmäßige äquivalente Rauheit k verwendet werden. Dieser Wert 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

Symbol	Größe	Dimension ^a	SI-Einheit
A_t	Fläche des Halsteils	L^2	m^2
C	Durchflusskoeffizient	dimensionslos	—
$C_{m,p}$	molare Wärmekapazität bei konstantem Druck	$ML^2T^{-2}\Theta^{-1}mol^{-1}$	$J/(mol \cdot K)$
d	Durchmesser der Drosselöffnung (oder des Halsteils) eines Primärgerätes unter Betriebsbedingungen	L	m
D	innerer Rohrdurchmesser stromaufwärts (oder zulaufseitiger Durchmesser eines klassischen Venturirohres) unter Betriebsbedingungen	L	m
H	Enthalpie	$ML^2T^{-2}mol^{-1}$	J/mol
k	gleichmäßige äquivalente Rauheit	L	m

Symbol	Größe	Dimension ^a	SI-Einheit
K	Druckverlust-Koeffizient (Verhältnis des Druckverlustes $\Delta\varpi$ zum dynamischen Druck, $\rho V^2/2$), auch bekannt als Verlustkoeffizient für geringfügige Verluste (en: minor loss coefficient)	dimensionslos	—
l	Abstand der Druckentnahme vom Drosselgerät	L	m
L	relativer Abstand der Druckentnahme vom Drosselgerät: $L = l/D$	dimensionslos	—
p	absoluter statischer Druck des Fluids	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
q_m	Massendurchfluss	MT^{-1}	kg/s
q_V	Volumendurchfluss	L^3T^{-1}	m ³ /s
R	Radius	L	m
R_u	universelle Gaskonstante	$ML^2T^{-2}\Theta^{-1}mol^{-1}$	J/(mol·K)
Ra	arithmetischer Mittenrauwert	L	m
Re	Reynolds-Zahl	dimensionslos	—
Re_d	Reynolds-Zahl des Halsteils	dimensionslos	—
Re_D	Reynolds-Zahl des Rohrs	dimensionslos	—
t	Temperatur des Fluids	Θ	°C
T	absolute (thermodynamische) Temperatur des Fluids	Θ	K
U'	relative Unsicherheit	dimensionslos	—
V	mittlere axiale Geschwindigkeit des Fluids im Rohr	LT^{-1}	m/s
Z	Realgasfaktor	dimensionslos	—
β	Durchmesser Verhältnis: $\beta = d/D$	dimensionslos	—
γ	Verhältnis der spezifischen Wärmekapazitäten ^b	dimensionslos	—
δ	absolute Unsicherheit	c	c
Δp	Wirkdruck: $\Delta p = p_1 - p_2$	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
Δp_c	Druckverlust eines Strömungsumformers/-gleichrichters	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
$\Delta\varpi$	Druckverlust eines Primärgerätes	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
ε	Expansionszahl	dimensionslos	—
κ	Isentropenexponent ^b	dimensionslos	—
λ	Rohrreibungszahl	dimensionslos	—
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: $\nu = \mu/\rho$	L^2T^{-1}	m ² /s
ξ	relativer Druckverlust (Verhältnis Druckverlust zum Wirkdruck)	dimensionslos	—

Symbol	Größe	Dimension ^a	SI-Einheit
ρ	Dichte des Fluids	ML^{-3}	kg/m^3
τ	Druckverhältnis: $\tau = p_2/p_1$	dimensionslos	—
ϕ	Gesamtwinkel des Diffusorteils	dimensionslos	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 Art des Gases ab. ^c Die Dimensionen und Einheiten sind die der zugehörigen Größe.			

4.2 Indizes

Index	Bedeutung
1	in der Ebene der zulaufseitigen Druckentnahme
2	in der Ebene der ausgangseitigen Druckentnahme

5 Grundlage des Mess- und Berechnungsverfahrens

5.1 Grundlage des Messverfahrens

Die Grundlage des Messverfahrens beruht auf dem Einbau eines Primärgerätes in eine von einem Fluid voll durchströmte Rohrleitung. Der Einbau des Primärgerätes führt zu einer Differenz der statischen Drücke zwischen der Zulaufseite und dem Halsteil oder der Ausgangsseite des Gerätes. Der Durchfluss kann aus dem gemessenen Wert dieser Druckdifferenz sowie mit Kenntnis der thermodynamischen Bedingungen, Fluideigenschaften sowie der Geometrie und Eigenschaften des Messgerätes ermittelt werden. Es wird vorausgesetzt, dass ein unkalibrierter Differenzdruckmesser innerhalb des erforderlichen geometrischen Bereichs und des Reynolds-Zahl-Bereiches liegt, damit die Vorhersage des ISO-Durchflusskoeffizienten gültig ist. Es wird vorausgesetzt, dass ein maßgeschneidert kalibrierter Differenzdruckmesser innerhalb seines Kalibrierbereiches verwendet wird.

Der Massendurchfluss kann, da er sich auf den Wirkdruck bezieht, innerhalb der in ISO 5167 festgelegten Grenzen für die Unsicherheit nach Gleichung (1) bestimmt werden:

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

ANMERKUNG Für die praktische Umsetzung wird diese Gleichung jeweils als Gleichung (1) von ISO 5167-2, ISO 5167-3, ISO 5167-4, ISO 5167-5 und ISO 5167-6 erweitert.

Entsprechend kann der Wert des Volumendurchflusses nach Gleichung (2) berechnet werden:

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

Dabei ist ρ die Dichte des Fluids bei der Temperatur und dem Druck, für die das Volumen angegeben wird.

5.2 Verfahren für die Bestimmung des erforderlichen Durchmesserhältnisses für das ausgewählte genormte Primärgerät

Wenn in der Praxis das Durchmesser Verhältnis eines Primärelementes, das in eine gegebene Rohrleitung einzubauen ist, bestimmt wird, dann sind C und ε , die in Gleichung (1) verwendet werden, im Allgemeinen nicht genau bekannt. Daher muss Folgendes von vornherein ausgewählt werden:

- die Art des zu verwendenden Primärgerätes; und
- ein Durchfluss und der entsprechende gewünschte Wert des Wirkdrucks.

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

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

in der das Durchmesser Verhältnis des gewählten Primärgerätes durch Iteration bestimmt werden kann (siehe Anhang A).

Bei einem gegebenen Durchfluss sind die Unsicherheit des Durchflusskoeffizienten und die des vorhergesagten Wirkdrucks direkt miteinander verknüpft, da der Durchflusskoeffizient proportional zum Kehrwert der Quadratwurzel des Wirkdrucks ist. Folglich muss bei der Bestimmung von β sorgfältig darauf geachtet werden, dass der höchste Wirkdruck nicht den oberen Bereichsgrenzwert des Messumformers überschreitet. Dies ist von besonderer Bedeutung, wenn die Unsicherheit des Durchflusskoeffizienten groß ist.

5.3 Berechnung des Durchflusses

Die Berechnung des Durchflusses, die ein rein arithmetischer Prozess ist, erfolgt durch Ersetzen der verschiedenen Terme auf der rechten Seite von Gleichung (1) durch ihre numerischen Werte.

C kann von der Reynolds-Zahl Re abhängen, die wiederum selbst von q_m abhängig ist. In solchen Fällen muss der endgültige Wert von C und damit von q_m durch Iteration ermittelt werden. Siehe Anhang A für einen Leitfaden zur Auswahl des Iterationsverfahrens und der ersten Schätzwerte.

Die in den Gleichungen verwendeten Maße sind die Werte der Maße bei Betriebsbedingungen. Messungen, die unter anderen Bedingungen durchgeführt werden, sollten hinsichtlich möglicher Expansion oder Kontraktion des Primärgerätes und des Rohres aufgrund der Werte der Temperatur und des Drucks des Fluids während der Messung korrigiert werden.

ANMERKUNG Für Korrekturen aufgrund thermischer Expansion oder Kontraktion, siehe ISO/TR 9464, 5.1.6.1.3 und 5.2.6.4.2.

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

5.4 Bestimmung von Dichte, Druck und Temperatur

5.4.1 Allgemeines

Jedes Verfahren zur Bestimmung verlässlicher Werte für die Dichte, den statischen Druck und die Temperatur des Fluids ist zulässig, sofern dadurch die Strömungsverteilung im Messquerschnitt in keiner Weise gestört wird.

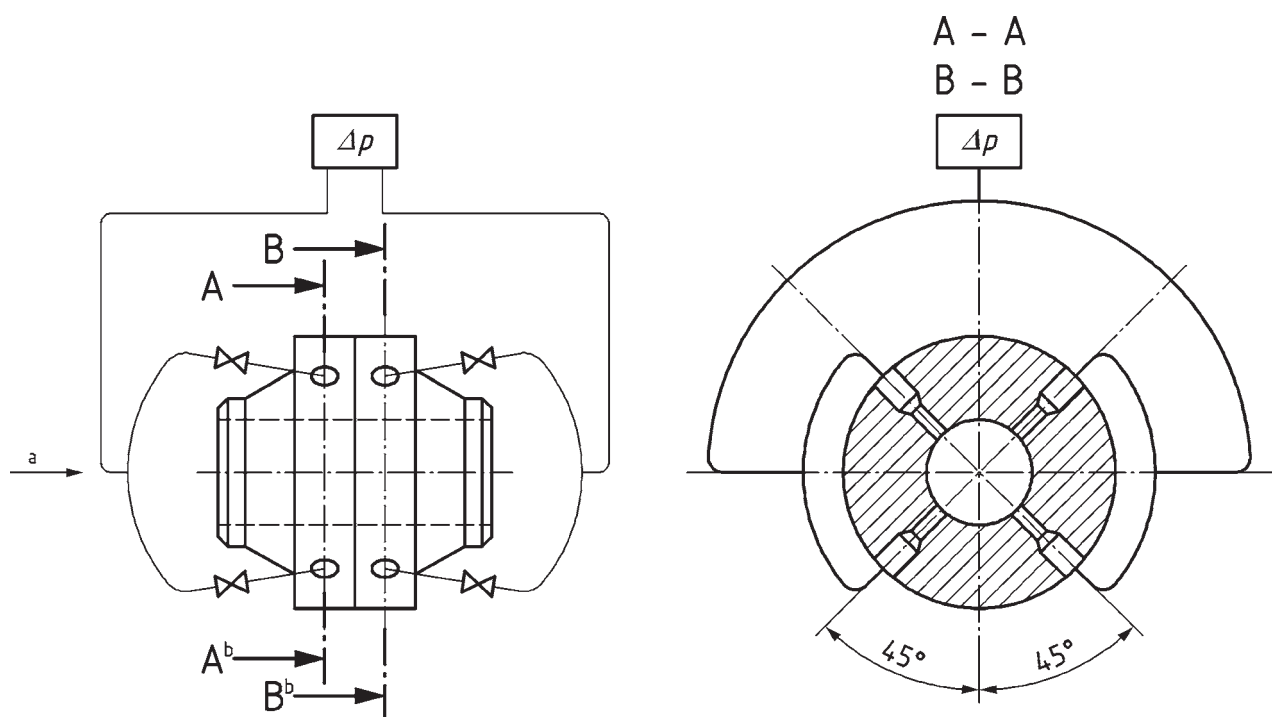
5.4.2 Dichte

Es ist erforderlich, die Dichte des Fluids an der Plus-Druckentnahme zu kennen; sie kann entweder direkt gemessen oder nach einer geeigneten Zustandsgleichung bei Kenntnis des absoluten statischen Drucks, der absoluten Temperatur und der Zusammensetzung des Fluids an dieser Stelle berechnet werden.

ANMERKUNG ISO/TR 9464:2008, 6.4.2 stellt ein Verfahren für die Korrektur der hinter einem Gerät gemessenen Dichte auf Bedingungen vor dem Gerät bereit.

5.4.3 Statischer Druck

Der statische Druck des Fluids muss mit einer Einzel-Druckentnahme in der Rohrwand oder mit mehreren solcher miteinander verbundenen Druckentnahmen oder mit Druckentnahmen in einem Fassungsring für den Fall, dass Fassungsring-Druckentnahmen für die Messung des Wirkdruckes in dieser Entnahmeebene für das jeweilige Primärgerät zulässig sind, gemessen werden.



a Strömung

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

Bild 1 — „Triple-T“-Anordnung

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

Es ist zulässig, an einer Druckentnahme gleichzeitig (ein) Differenzdruck-Messgerät(e) und (ein) Messgerät(e) für den statischen Druck anzuschließen, vorausgesetzt, diese Verbindungen führen nicht zu einer Verfälschung des Wirkdruckmesswertes.

5.4.4 Temperatur

5.4.4.1 Die Temperaturmessung erfordert besondere Sorgfalt. Die Schutzhülse oder Aussparung für das Thermometer muss so wenig Platz wie möglich beanspruchen, um zu vermeiden, dass sie die Querschnittsfläche des Rohres verringert. Temperaturmessfühler sollten über eine angemessene Eintauchtiefe verfügen, um sicherzustellen, dass die Fluidtemperatur genau gemessen wird. Außer wenn ein Konus-Durchflussmesser verwendet wird, muss die Temperatur des Fluids bevorzugt hinter dem Primärgerät gemessen werden, um eine Störung des Strömungsprofils, welche das Primärgerät beeinträchtigt, zu vermeiden.

Wenn sich die Schutzhülse oder Aussparung für das Thermometer hinter dem Primärgerät befindet, muss der Abstand zwischen dieser und dem Primärgerät mindestens $5D$ betragen (und darf höchstens $15D$ betragen, wenn das Fluid ein Gas ist). Im Fall eines Venturirohres wird dieser Abstand von der Ebene der Druckentnahme im Halsteil gemessen, und die Schutzhülse für das Thermometer muss ebenfalls mindestens $2D$ stromabwärts vom Auslaufende des Diffusor-Abschnitts angeordnet werden.

Wenn sich die Schutzhülse oder Aussparung für das Thermometer vor dem Primärgerät befindet, muss diese in Übereinstimmung mit den im zutreffenden Teil von ISO 5167, der das Primärgerät beschreibt, angegebenen Werten angeordnet werden.

Innerhalb der Anwendungsgrenzen dieses Teils von ISO 5167 darf im Allgemeinen davon ausgegangen werden, dass die Fluid-Temperaturen stromabwärts und stromaufwärts an den Differenzdruckentnahmen gleich sind. Falls das Fluid jedoch ein nicht ideales Gas ist, die geringste Messunsicherheit erforderlich ist, und zwischen der Plus-Druckentnahme und dem stromabwärts angeordneten Thermometerschacht ein großer Druckverlust auftritt, ist es erforderlich, die Temperatur in der Ebene der Plus-Druckentnahme aus der stromabwärts gemessenen Temperatur unter der Annahme zu berechnen, dass zwischen den beiden Stellen eine isenthalpe Expansion vorliegt. Zur Durchführung der Berechnung sollte der Druckverlust $\Delta\varpi$ anhand der in anderen Teilen von ISO 5167 angegebenen Gleichungen in Abhängigkeit vom jeweiligen Primärgerät berechnet werden. Dann kann die zugehörige Absenkung der Temperatur zwischen der Plus-Druckentnahme und dem Ort für die Messung der Temperatur stromabwärts, ΔT , unter Anwendung des in 3.3.4 beschriebenen Joule-Thomson-Koeffizienten μ_{JT} ermittelt werden:

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

ANMERKUNG 1 Versuche [1] haben gezeigt, dass dies für Blenden eine geeignetes Verfahren ist. Es wird begründetermaßen weithin davon ausgegangen, dass das Verfahren bei allen Differenzdruck-Messgeräten funktioniert.

ANMERKUNG 2 Obwohl zwischen der Plus-Druckentnahme und dem Temperaturmesspunkt stromabwärts von einer isenthalpen Expansion ausgegangen wird, steht dies nicht im Widerspruch zu einer isentropen Expansion zwischen der Plus-Druckentnahme und der Vena-Contracta-Stelle oder Druckentnahme im Halsteil.

ANMERKUNG 3 Eine Temperaturmessung bei einer Gasgeschwindigkeit im Rohr von mehr als etwa 50 m/s kann zu einer zusätzlichen Unsicherheit in Verbindung mit dem Temperaturreckgewinnungsfaktor (en: temperature recovery factor) führen.

5.4.4.2 Die Temperatur des Primärgerätes und die des Fluids im Einlauf zum Primärgerät werden als gleich angenommen (siehe 7.1.7).

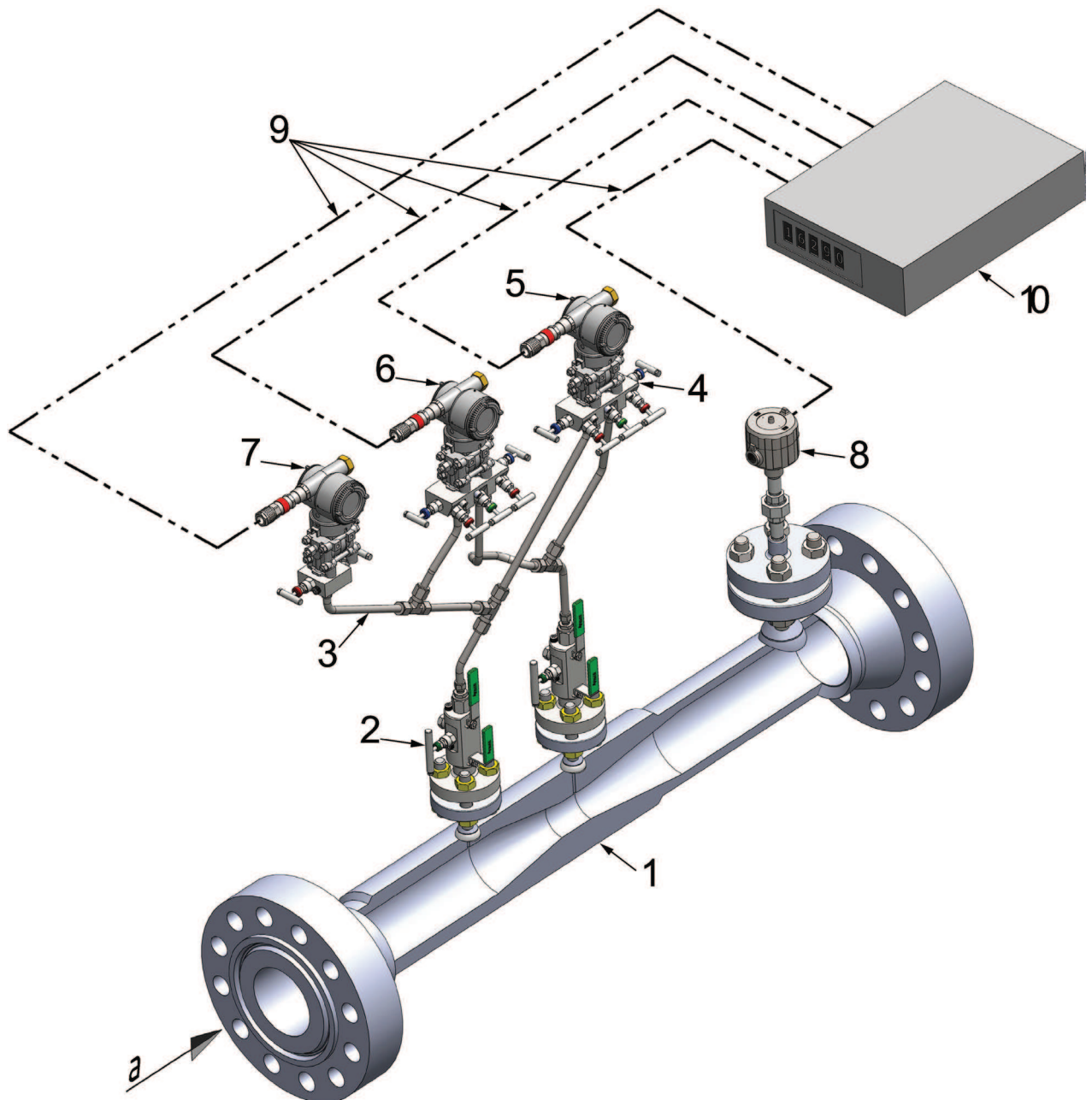
5.5 Differenzdruck-Durchflusssystem

5.5.1 Allgemeines

Ein vollständiges Differenzdruck-Messsystem umfasst mehrere typische Bauteile, wie in Bild 2 angegeben. Alternative Anordnungen sind gleichermaßen zulässig.

Das Primärgerät wird entweder, wie dargestellt, direkt in die Rohrleitung montiert, oder darf beispielsweise im Falle einer Blende in eine Fassung eingebaut werden, in der die Differenzdruckentnahmen angeordnet sind. Einige Ausführungen von Blendenfassungen ermöglichen die einfache Entnahme der Blende für Inspektionen oder die Änderung der Größe der Blendenbohrung, ohne dass es dafür erforderlich ist, den Durchfluss zu stoppen und das System drucklos zu machen.

Die Verbindung mehrerer Druckentnahmen miteinander muss der Beschreibung in 5.4.3 entsprechen.



Legende

- | | | | |
|---|---|----|--|
| 1 | Primärgerät | 6 | Differenzdruck-Messumformer – geringer Bereich |
| 2 | Absperrventile | 7 | Druckaufnehmer |
| 3 | Impulsleitungen | 8 | Thermoelement oder Temperaturgeber |
| 4 | Ventilblock | 9 | Messgerät-Kommunikationskabel |
| 5 | Differenzdruck-Messumformer – hoher Bereich | 10 | Mengenumberter |

^a Strömung

Bild 2 — Differenzdruck-Durchflusssmesssystem

5.5.2 Primärgerät

In ISO 5167-2 bis ISO 5167-6 sind die Geometrie und Eigenschaften des Durchflussmessers einer Auswahl von Primärgeräten festgelegt.

Obwohl jedes Primärgerät für eine bestimmte Anwendung zufriedenstellend funktionieren kann, sollte die Wahl des für eine bestimmte Installation und einen bestimmten Bereich von Prozessbedingungen am besten geeigneten Primärgerätes auf der Grundlage einer fundierten technischen Beurteilung erfolgen.

5.5.3 Impulsleitungen und Messaufnehmer

Impulsleitungen werden verwendet, um den durch die Strömung durch das Primärgerät erzeugten Wirkdruck an den Differenzdruck-Messumformer zu übertragen, welcher wiederum den gemessenen Wert des Wirkdrucks an den Mengenumwerter überträgt.

Impulsleitungen übertragen auch den statischen Druck an der Plus-Druckentnahme zum Druckaufnehmer, der wiederum den an der Zulaufseite gemessenen Druckwert an den Mengenumwerter überträgt. Impulsleitungen sollten nur für die Messung des Drucks und des Wirkdrucks verwendet werden. Sie dürfen nicht ununterbrochen zum Ablassen, Entlüften oder zur Probenahme verwendet werden, da während üblicher Messvorgänge keine Strömung in der Impulsleitung vorhanden sein darf.

Die Lage und Ausrichtung der Druckaufnehmer und Differenzdruck-Messumformer hängen vom gemessenen Fluid ab. ISO 2186 beschreibt ausführlich die Anforderungen an den Anschluss der Impulsleitungen an den Differenzdruck-Messumformer für Fluide sowohl bei horizontalen als auch vertikalen Rohrleitungsinstallationen.

Ein Thermoelement oder Temperaturgeber stellt die gemessene Temperatur für den Mengenumwerter bereit.

Für die Messung von mehr als einem Prozessparameter darf ein multivariabler Messumformer verwendet werden.

5.5.4 Absperrventile und Ventilblöcke der Impulsleitungen

Absperrventile ermöglichen die Trennung des Differenzdruck-Messumformers und Druckaufnehmers von der Hauptprozessleitung zu Instandhaltungszwecken, und der Ventilblock wird verwendet, damit es möglich ist, den Differenzdruck-Messumformer für Überprüfungen bei einem Wirkdruck von Null, zur Entlüftung und für Instandhaltungszwecke zu trennen und einen Druckausgleich durchzuführen.

5.5.5 Mengenumwerter

Die Berechnung der Durchflussraten eines Differenzdruck-Durchflusssystems erfolgt im Allgemeinen in einem digitalen Mengenumwerter. Dies darf ein gesondertes „Mengenumwerter“-Gerät oder ein Teil eines integrierten Steuersystems sein. Zusätzliche Berechnungen einschließlich Summierung, Diagnostik und Kommunikation mit anderen dezentralen Systemen dürfen durchgeführt werden.

5.6 Betrachtungen bezüglich der Konstruktion des Differenzdruck-Durchflusssystems

5.6.1 Messspanne des Durchflusses und gestapelte Messumformer

Der Durchflussbereich eines Durchflussmessers wird häufig als „Messspanne“ (en: turndown) beschrieben, siehe Anhang D.

Es ist üblich, zwei oder mehr Differenzdruck-Messumformer verschiedener kalibrierter Bereiche über das Primärgerät anzuschließen, um einen größeren Durchflussbereich zu messen; dies ist als „Stapeln“ der Messumformer bekannt. Der Anschluss kann am gleichen Druckentnahmepaar oder an zusätzlichen Druckentnahmepaaren erfolgen, die um den Umfang des Primärgerätes herum angeordnet sind.

Bei einigen Installationen dürfen die Differenzdruck-Messumformer unter Verwendung gemeinsamer oder gesonderter Druckentnahmen in den gleichen Ebenen zu Redundanz- oder Verifizierungszwecken dupliziert werden.

Der Mengenumwerter muss so konfiguriert werden, dass bei der Durchführung der Durchflussberechnungen der jeweilige im Bereich liegende Messumformer ausgewählt wird. Die verbundene Unsicherheit sollte unter Verwendung des Messumformers im Betrieb berechnet werden.

5.6.2 Kalibrierung des Durchflussmessers

Wenn ein Anwender eines Durchflusssystems nach ISO 5167 eine geringere Unsicherheit des Durchflusskoeffizienten verlangt als in dem entsprechenden Teil für dieses Primärelement angegeben, oder wenn sich die Geometrie von der in dem betreffenden Teil unterscheidet, muss der Durchflussmesser in Übereinstimmung mit Abschnitt 7 des zutreffenden Teils von ISO 5167 kalibriert werden.

Der Zweck der Durchflusskalibrierung ist die Ermittlung des Durchflusskoeffizienten eines einzelnen Durchflussmessers und der mit diesem verbundenen Unsicherheit. Die Kalibrierdaten des Messgeräts dürfen nicht zwischen verschiedenen Durchflussmessern übertragen werden, selbst wenn diese die gleiche Nenngeometrie aufweisen.

Wenn sich die Geometrie des Durchflusssystems von der in dem zutreffenden Teil von ISO 5167 unterscheidet, ist es möglicherweise erforderlich, die Gleichung für die Dehnbarkeit zu verifizieren.

Die Kalibrierdaten des Messgeräts können verwendet werden, um eine Anpassung des in dem verbundenen Mengenumwerter verwendeten Werts des Durchflusskoeffizienten vorzunehmen. Mögliche Verfahren für die Anwendung des angepassten Durchflusskoeffizienten schließen folgende ein:

- aktualisierter gemittelter Einzelwert;
- Mehrpunktlinearisierungs-Algorithmus (stückweise lineare Interpolation);
- polynomialer Algorithmus.

Ein kalibrierter Durchflussmesser darf ausschließlich innerhalb des kalibrierten Reynoldszahl-Bereiches verwendet werden. Die Unsicherheit außerhalb des kalibrierten Bereiches ist unbestimmt.

ANMERKUNG Bei Gasanwendungen (die nicht unter Umgebungsprozessbedingungen erfolgen) ist es unwahrscheinlich, dass eine Kalibrierung mit Wasser bei Umgebungstemperatur den Reynoldszahl-Bereich während des Betriebs ergibt. Der Reynoldszahl-Bereich während des Betriebs sollte verwendet werden, um die Festlegung der Wahl der Prüfeinrichtung zu unterstützen.

5.6.3 Bleibender Druckverlust

Der bleibende Druckverlust eines Messsystems ist der Druckverlust, der durch dessen Einsetzen in eine Rohrleitungsinstallation hervorgerufen wird. Üblicherweise wird davon ausgegangen, dass der Druck von einer Druckentnahme D vor dem Messsystem bis zu einer zweiten Druckentnahme $6D$ hinter dem Messsystem gemessen wird. Der bleibende Druckverlust ist geringer als der Wirkdruck des Primärelementes, was auf eine Druckerholung innerhalb des Durchflussmessers zurückzuführen ist.

Der bleibende Druckverlust jedes Messsystems schließt die Wirkungen aufgrund aller Elemente des Messsystems ein, die im Vergleich zu einem geraden Rohr, das stromaufwärts (und stromabwärts) den Nenndurchmesser aufweist, zu einem Unterschied im Durchfluss führen. Alle Elemente, die in die Strömung hineinragen (einschließlich Primärelemente, Strömungsumformer und Thermometerschächte), oder eine anderweitige Strömungsablenkung hervorrufen (einschließlich Flanschverbindungen, Druckentnahmen, Änderungen des Rohrdurchmessers und sonstige Einbaustörungen) führen zu einer Änderung des Drucks.

Der bleibende Druckverlust über das Primärgerät wird in den folgenden Abschnitten/Unterabschnitten beurteilt:

- Blenden ISO 5167-2:20XX, 5.4;
- Düsen ISO 5167-3:20XX, 5.1.8, 5.2.8, 5.3.8 und 5.4.6;
- Venturirohre ISO 5167-4:20XX, 5.9;
- Konus-Durchflussmesser ISO 5167-5:20XX, 5.9;
- Keil-Durchflussmesser ISO 5167-6:20XX, 5.9.

Im Falle des Venturirohres und der Venturidüse wird der Druckverlust, der von einem geraden Rohr verursacht worden wäre, wenn das Venturirohr oder die Venturidüse nicht eingebaut worden wären, berechnet [3] und vom gemessenen Druckverlust subtrahiert, damit sich die Werte in ISO 5167-3:20XX, 5.4.6 und ISO 5167-4:20XX, 5.9 ergeben. Dieses Verfahren wird angewendet, weil der für das Rohr berechnete Druckverlust bei diesen Primärelementen einen wesentlichen Anteil am gemessenen Druckverlust ausmacht.

Es sollte beachtet werden, dass der bleibende Druckverlust eines Messsystems nur einen Teil des Gesamtdruckverlustes über eine vollständige Rohrleitungsinstallation darstellt, d. h. der bleibende Druckverlust des Messsystems kann im Vergleich zu großen Rohr-Druckverlusten gering sein.

Ein Beispiel für eine Berechnung des bleibenden Druckverlustes eines Messsystems ist in Anhang F angegeben.

Der bleibende Druckverlust muss auch als Teil der „Dimensionierung“ des Primärelements (einschließlich der Art des Durchflussmessers, Größe und β) berücksichtigt werden. Durch eine Dimensionierung des Durchflussmessers so, dass dieser unter einem bestimmten Höchstdruckverlust bleibt, kann sich die Durchfluss-Messspanne des Durchflussmessers für die Bedingungen, die der Durchflussmesser während des Betriebs erkennt, verringern.

5.6.4 Diagnostik und Verifizierung des Durchflussmessers

Differenzdruck-Durchflussmesser dürfen Diagnostiksysteme mit zusätzlicher Funktionalität enthalten, um die Durchflussmessung sicherzustellen, um mögliche Probleme mit der Installation aufzuzeigen oder um auf fehlerhafte Messwerte aufgrund von ungünstigen Bedingungen (z. B. Hydrate) hinzuweisen. Diese dürfen Folgendes einschließen:

- interne Diagnoseparameter in digitalen Differenzdruck-Messumformern;
- Vergleich mehrerer Messumformer miteinander bezüglich der gleichen Messung;
- Vergleich von Kombinationen von Messungen über den Durchflussmesser;
- Analyse des axialen Druckprofils;
- interne oder externe Verfahren zur Datenvalidierung und zum Datenabgleich (DVR, en: data validation and reconciliation), einschließlich zeitbasierte oder statistische Beurteilung von Parametern.

Daten zu Sekundärvariablen von digitalen Differenzdruck-Messumformern können auch zusätzliche Daten für die Verwendung in Diagnosesystemen liefern.

Verifizierungssysteme können durch Diagnoseprüfungen unterstützt werden, um vorausschauende Instandhaltung des Durchflusssystems und der damit verbundenen Anlagen zu erleichtern. Einige Branchen gehen von Programmen der routinemäßig geplanten Instandhaltung der Durchflussmessgeräte, d. h. regelmäßige Instandhaltungsprüfungen unabhängig vom Zustand des Systems, zu zustandsorientierten Überwachungsprogrammen (CBM, en: condition based monitoring) über, d. h. Durchführung von Instandhaltung nur dann, wenn dies erforderlich ist.

5.6.5 Gesamtunsicherheit eines Differenzdruck-Messsystems

Die Berechnung der Gesamtunsicherheit eines Differenzdruck-Messsystems muss in Übereinstimmung mit der in ISO-5168 und ISO/IEC Guide 98-3 (GUM) enthaltenen Leitlinie erfolgen. Unterabschnitt 8.2 dieses Dokuments enthält entsprechende Angaben zur praktischen Berechnung der Unsicherheit. Ein unterstützendes Beispiel ist in Anhang E angegeben.

6 Allgemeine Anforderungen an die Messungen

6.1 Primärgerät

6.1.1 Das Primärgerät muss entsprechend ISO 5167 hergestellt, eingebaut und verwendet werden.

Liegen die Produktionsmerkmale oder Anwendungsbedingungen der Primärgeräte außerhalb der Grenzen, die im zutreffenden Teil von ISO 5167 angegeben sind, kann eine gesonderte Kalibrierung des Primärgerätes unter den tatsächlichen Nutzungsbedingungen erforderlich sein.

Des Weiteren kann bei einem Primärgerät, dessen Merkmale und Strömungsbedingungen innerhalb der im zutreffenden Teil von ISO 5167 angegebenen Grenzen liegen, eine weitere Verringerung seiner Unsicherheit mittels einer Durchflusskalibrierung erreicht werden.

6.1.2 Der Zustand des Primärgerätes und der Differenzdruck-Messumformer muss regelmäßig überprüft werden, so dass die Übereinstimmung mit dem zutreffenden Teil von ISO 5167 aufrechterhalten wird.

6.1.3 Das Primärgerät muss aus einem Werkstoff bestehen, dessen Wärmeausdehnungskoeffizient bekannt ist.

6.2 Art des Fluids

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

6.2.2 Das Fluid muss so beschaffen sein, dass es als physikalisch und thermisch homogen und einphasig betrachtet werden kann.

6.3 Strömungsbedingungen

6.3.1 ISO 5167 (alle Teile) 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 geringfügig und langsam mit der Zeit ändern.

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

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

Dabei ist

$\overline{\Delta p}$ der zeitliche Mittelwert des Wirkdruckes;

$\Delta p'$ die Schwankungskomponente des Wirkdruckes;

$\Delta p'_{rms}$ der quadratische Mittelwert von $\Delta p'$.

$\Delta p'_{rms}$ kann nur mit schnell ansprechenden Differenzdruckaufnehmern genau gemessen werden, wobei darüber hinaus das gesamte Sekundärsystem den in ISO/TR 3313 festgelegten Ausführungsempfehlungen entsprechen sollte. Üblicherweise ist es jedoch nicht erforderlich zu überprüfen, ob diese Bedingung erfüllt ist.

6.3.2 ISO 5167 ist nur anwendbar, wenn über das Primärgerät keine Phasenänderung auftritt. Wenn die thermodynamischen Bedingungen im Messsystem nahe an der Phasengrenze sind, führt eine Vergrößerung des Halsteils des Primärelements zu einer Verringerung des Wirkdruckes, was möglicherweise eine Phasenänderung verhindert.

Bei Flüssigkeiten darf der Druck 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 das Gas in einem Zustand in der Nähe des Taupunktes ist; die Temperatur im Halsteil darf unter der Annahme einer isentropen Expansion, ausgehend von den stromaufwärts vorliegenden Bedingungen berechnet werden (es ist möglicherweise erforderlich, die Temperatur stromaufwärts nach der Gleichung in 5.4.4.1 zu berechnen); die Temperatur und der Druck im Halsteil sollten so sein, dass das Fluid im einphasigen Bereich ist.

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

7 Anforderungen an den Einbau

7.1 Allgemeines

7.1.1 Das Messverfahren gilt nur für Fluide, die durch eine Rohrleitung mit Kreisquerschnitt strömen.

7.1.2 Das Rohr muss im Messabschnitt voll durchströmt werden.

7.1.3 Das Primärgerät muss zwischen zwei geraden Rohrabschnitten mit kreisförmigem Querschnitt und konstantem Durchmesser sowie festgelegten Mindestlängen eingebaut werden, in denen sich keine Hindernisse oder Rohrabzweigungen befinden, ausgenommen solchen, wie sie in Abschnitt 6 des für dieses Primärgerät zutreffenden Teils von ISO 5167 festgelegt sind.

Das Rohr gilt als gerade, wenn die über dessen gesamte Länge gemessene Abweichung von einer geraden Linie 0,4 % nicht überschreitet. Üblicherweise reicht eine Sichtprüfung aus. Flansche sind in den geraden Rohrabschnitten stromauf- und stromabwärts vom Primärgerät zulässig. Die Flansche müssen so ausgerichtet sein, dass sie keine Abweichung von einer geraden Linie hervorrufen, die größer als 0,4 % ist. Die entsprechend der vorstehenden Anforderung mindestens für eine bestimmte Installation benötigten geraden Rohrlängen schwanken je nach Art und Spezifikation des Primärgerätes und in Abhängigkeit von der Art der beteiligten Rohrformstücke.

7.1.4 Der Querschnitt des Rohres muss über die gesamte erforderliche Mindestlänge des geraden Rohres kreisrund sein. Der Querschnitt darf als kreisrund angesehen werden, wenn dies bei einer Sichtprüfung so wahrgenommen wird. Als Orientierungshilfe kann die Rundheit der Außenseite des Rohres dienen, abgesehen vom Bereich in unmittelbarer Nähe des Primärgerätes ($2D$), in dem, je nach Art des verwendeten Primärgerätes, besondere Anforderungen erfüllt werden müssen.

Längsnahtgeschweißte Rohre dürfen dann benutzt werden, wenn sichergestellt ist, dass die innere Schweißraupe auf der gesamten Länge des Rohres, die für die Erfüllung der Einbauanforderungen an das verwendete Primärgerät erforderlich ist, parallel zur Rohrachse liegt. Jegliche Schweißraupe darf nicht höher sein als der für das Hineinragen in das Rohr erlaubte Durchmessersprung. Die Längsnaht darf außer im Fall der Verwendung eines Ringspalts nicht innerhalb eines Sektors von $\pm 30^\circ$, bezogen auf die Mitte einer beliebigen Druckentnahme, die in Verbindung mit dem Primärgerät zu benutzen ist, liegen. Bei Verwendung eines Ringspalts 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.

Der annehmbare Wert der Rauheit des Rohres hängt von dem Primärgerät ab. In jedem Fall gibt es Grenzen für den Wert des arithmetischen Mittenrauwertes R_a .

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 Rauheitsmessungen müssen zur Bestimmung der Rauheit der inneren Oberfläche des Rohres durchgeführt werden. Die Rauheit kann sich, wie in 6.1.2 angegeben, mit der Zeit verändern, und dies sollte bei der Festlegung der Reinigungsintervalle des Rohres oder der Intervalle für die Prüfung des Wertes von R_a berücksichtigt werden.

Ein Näherungswert für R_a kann unter der Annahme erhalten werden, dass R_a gleich k/π ist, wobei k die gleichmäßige äquivalente Rohrrauheit nach dem Moody-Diagramm (Rohrwidestands-Diagramm) ist (siehe [3]). Der Wert von k ist durch eine Druckverlustprüfung einer Probenrohrlänge unter Anwendung der Colebrook-White-Gleichung (siehe 7.4.1.5) zur Berechnung des Wertes von k aus dem gemessenen Wert des Reibungsfaktors direkt gegeben. Näherungswerte für k für unterschiedliche Werkstoffe können auch den verschiedenen Tabellen in der als Referenz angegebenen Literatur entnommen werden, und Tabelle B.1 enthält Werte für k für eine Auswahl an Werkstoffen.

7.1.6 Das Rohr darf Ablassbohrungen und/oder Entlüftungsbohrungen zur Beseitigung von festen Ablagerungen und mitgerissenen Fluiden haben. Jedoch darf das Ablass- oder Entlüftungssystem nicht in die Rohrleitung hineinragen, und während des Vorgangs der Durchflussmessung dürfen weder die Ablassbohrungen noch die Entlüftungsbohrungen durchströmt werden.

Ablass- und Entlüftungsbohrungen sollten nicht in der Nähe des Primärgerätes angeordnet werden. Wenn diese Bedingungen nicht erfüllt werden können, muss der Durchmesser dieser Bohrungen kleiner sein als $0,08D$, und die Bohrungen müssen so angeordnet werden, dass der Mindestabstand, gemessen auf einer geraden Linie von jeder dieser Bohrungen zu einer Druckentnahme des Primärgerätes, die auf der gleichen Seite wie die Bohrungen liegt, größer ist 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 Eine Isolierung des Durchflussmessers kann erforderlich sein, wenn Temperaturunterschiede zwischen der Umgebungstemperatur und der Temperatur des strömenden Fluids auftreten, die in Anbetracht der geforderten Messunsicherheit erheblich sind. Dies trifft besonders für den Fall zu, wenn Fluide nahe an ihrem kritischen Punkt gemessen werden, wo kleine Temperaturänderungen zu großen Änderungen der Dichte führen. Dies kann für geringe Durchflüsse von Bedeutung sein, wenn Auswirkungen des Wärmeübergangs gestörte Temperaturprofile verursachen können, beispielsweise durch die Bildung von Temperaturschichten von oben nach unten. Außerdem kann es auch zu einer Änderung des Mittelwertes der Temperatur von der Einlauf- zur Auslaufseite des laufenden Durchflussmessers kommen.

7.2 Mindestwerte für gerade Rohrlängen im Ein- und Auslauf

7.2.1 Das Primärgerät muss im Idealfall in die Rohrleitung an einer Position eingebaut werden, an der die Strömungsbedingungen stromaufwärts unmittelbar vor dem Primärgerät, annähernd denen einer drallfreien, voll entwickelten Strömung durch das Rohr entsprechen. Bedingungen, die diese Anforderung erfüllen, sind in 7.3 festgelegt.

In der Praxis muss das Primärgerät so in die Rohrleitung an einer Position eingebaut werden, dass die Strömungsbedingungen stromaufwärts unmittelbar vor dem Primärgerät für das betreffende Primärgerät annehmbar sind. Bedingungen, die diese Anforderung erfüllen, werden durch die Mindestlängen geschaffen, die in ISO 5167-2:20XX, ISO 5167-3:20XX, ISO 5167-4:2XXX, ISO 5167-5:20XX oder ISO 5167-6:20XX, Abschnitt 6, angegeben sind.

7.2.2 Ein Strömungsumformer nach 7.4 lässt jedoch die Verwendung wesentlich kürzerer Rohrlängen stromaufwärts zu. Ein derartiger Strömungsumformer muss stromaufwärts des Primärgerätes eingebaut werden, wenn die zur Verfügung stehende gerade Rohrlänge nicht ausreicht, um den gewünschten Grad an Unsicherheit zu erreichen.

7.3 Allgemeine Anforderung an die Strömungsbedingungen am Primärgerät

7.3.1 Anforderung

Wenn die in ISO 5167-2:20XX, ISO 5167-3:20XX, ISO 5167-4:20XX, ISO 5167-5:20XX oder ISO 5167-6:20XX, Abschnitt 6, festgelegten Bedingungen nicht erfüllt werden können, bleibt der zutreffende Teil von ISO 5167 gültig, sofern nachgewiesen werden kann, dass die Strömungsbedingungen am Primärgerät über den gesamten Bereich der Reynolds-Zahlen während des Vorgangs der Durchflussmessung einer drallfreien, voll entwickelten Strömung entsprechen.

ANMERKUNG Wenn 7.3.2 und 7.3.3 erfüllt werden, dann sind die Strömungsbedingungen für Primärgeräte mit ausreichend niedrigem Wert von β annehmbar. Ausgehend von den begrenzten zur Verfügung stehenden Daten wird erkannt, dass Primärgeräte mit kleinerem β -Wert weniger anfällig für Änderungen des Geschwindigkeitsprofils sind.

7.3.2 Drallfreie Bedingungen

Drallfreie Bedingungen können angenommen werden, wenn der Drallwinkel an allen Punkten des Rohrquerschnittes kleiner als 2° ist.

7.3.3 Gute Strömungsbedingungen

Von guten Geschwindigkeitsprofil-Bedingungen kann ausgegangen 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 bei drallfreier Strömung an der gleichen radialen Position des Rohrquerschnitts, am Ende einer sehr langen (mehr als $100D$) geraden Rohrlänge eines ähnlichen Rohres (voll entwickelte Strömung) erreicht werden würde.

7.4 Strömungsumformer (siehe auch Anhang C)

7.4.1 Übereinstimmungsprüfung

7.4.1.1 Unter der Voraussetzung, dass ein Strömungsumformer die Übereinstimmungsprüfung nach 7.4.1.2 bis 7.4.1.6 für ein bestimmtes Primärgerät bestanden hat, darf der Strömungsumformer mit der gleichen Art Primärgerät stromabwärts jeglicher Einbaustörungen in der Einlaufstrecke bei allen Durchmesser-Verhältnissen bis 0,67 verwendet werden. Sofern der Abstand zwischen dem Strömungsumformer und dem Primärgerät sowie der Abstand zwischen den Einbaustörungen stromaufwärts und dem Strömungsumformer den Anforderungen nach 7.4.1.6 entsprechen, und die gerade Rohrlänge im Auslauf mit den Anforderungen an das jeweilige Primärgerät (ISO 5167-2:20XX, Tabelle 3, Spalte 14, ISO 5167-3:20XX, Tabelle 3, Spalte 12, ISO 5167-4:20XX, Text in Tabelle 1, ISO 5167-5:20XX, 6.2.1 oder ISO 5167-6:20XX, 6.2) übereinstimmt, ist es nicht erforderlich, die Unsicherheit des Durchflusskoeffizienten zur Berücksichtigung der Einbausituation zu erhöhen.

7.4.1.2 Bei Verwendung eines Primärgerätes mit einem Durchmesser-Verhältnis von 0,67 muss die Abweichung des Durchflusskoeffizienten gegenüber dem, der bei einem langen geraden Rohr erhalten wird, weniger als 0,23 % betragen, wenn der Strömungsumformer in jeder der folgenden Situationen eingebaut wird:

- a) bei guten 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 $30D$ stromabwärts ein solcher von mindestens 20° erzeugt werden). Der Drall darf durch einen Drallerzeuger oder mit anderen Mitteln erzeugt werden. Ein Beispiel für einen Drallerzeuger ist der nicht patentierte Chevron-Drallerzeuger, der in Bild C.1 dargestellt ist.

Stromaufwärts der Einbaustörungen nach b) und c) muss eine ausreichend lange gerade Rohrlänge vorhanden sein, so dass das Primärgerät nicht durch etwaige Einbaustörungen stromaufwärts der in b) oder c) festgelegten beeinträchtigt wird.