

DIN EN ISO 5167-2

ICS 17.120.10

Ersatzvermerk
siehe unten**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**

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

Part 2: Orifice plates (ISO 5167-2:2003);

German version EN ISO 5167-2:2003

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

Partie 2: Diaphragmes (ISO 5167-2:2003);

Version allemande EN ISO 5167-2:2003

Ersatzvermerk

Mit DIN EN ISO 5167-1:2004-01, DIN EN ISO 5167-3:2004-01 und DIN EN ISO 5167-4:2004-01

Ersatz für DIN EN ISO 5167-1:1995-11 und

mit DIN EN ISO 5167-1:2004-01

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

Gesamtumfang 69 Seiten

Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG) im DIN

Die Europäische Norm EN ISO 5167-2:2003 hat den Status einer Deutschen Norm.

Nationales Vorwort

Diese Norm, Teil 2: „Blenden“ 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 5167-2:2003 erstellt, die im ISO/TC 30/SC 2 „Drosselgeräte“ unter Beteiligung deutscher Experten des nationalen Spiegeltgremiums NATG-D.2-GMA 2.41 erarbeitet wurde.

Die Fußnote h in der Tabelle 3, die für die Bedingungen: $Re_D > 2 \times 10^6$, $\beta = 0,6$ und Zwischenabstand $S < 2$ für den Raumkrümmer eine erforderliche Einlauflänge von $95D$ vorschreibt, basiert auf einer einzigen Messung eines Laboratoriums, siehe Literaturstelle [9]. Daraus eine Forderung abzuleiten — zumal diese Einlauflänge für $\beta = 0,6$ aus den übrigen Werten unerklärlicherweise deutlich herausragt — hielt Deutschland in seiner Stellungnahme zum internationalen Norm-Entwurf ISO/DIS 5167-2 für nicht gerechtfertigt und hatte daher eine Fußnote in Form einer Empfehlung vorgeschlagen. Leider wurde dem Vorschlag nicht stattgegeben.

Die Nachweise der Versuche, dass die in 5.3.3, B.2 und B.3 aufgeführten Strömungsumformer in Bezug auf die Blende und beliebige Störungsverursacher die Zulassungsprüfung nach ISO 5167-1 bestanden haben, sind zu kurzfristig dokumentiert und 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 als möglich erscheinen.

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

ISO 4006 siehe DIN EN 24006

ISO 5167-1 siehe DIN EN ISO 5167-1

Änderungen

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

- a) Die speziellen Festlegungen für konzentrisch eingebaute Blenden mit abgeschrägter Kante wurden in Teil 2 übernommen.
- b) Inhalte aus DIN EN ISO 5167-1/A1:1998-06, die speziell die Blende betreffen, wie die neue Gleichung für den Durchflusskoeffizienten C (*Reader-Harris/Gallagher*-Gleichung) und die sich aus der Nutzung dieser Gleichung ergebenden Änderungen gegenüber DIN EN ISO 5167-1:1995-11, wurden in diesen Teil 2 übernommen.
- c) Die Gleichung für die Expansionszahl wurde anhand neuerer Messdaten neu aufgestellt.
- d) Wegen der Änderung des thermodynamischen Entspannungsprozesses über die Blende entfällt zukünftig die Möglichkeit, Expansionszahl und Dichte auf den Minusdruck zu beziehen (die entsprechenden Gleichungen in DIN EN ISO 5167-1:1995-11 waren isentrop abgeleitet).
- e) 5.3 enthält die unpatentierten, Anhang B die patentierten Strömungsgleichrichter/-umformer, die, angewendet auf Blenden, die Zulassungsprüfung nach DIN EN ISO 5167-1 bezüglich Anforderungen und Bedingungen bestanden haben. Die resultierenden Einbaubedingungen unabhängig von dem

Störungsverursacher sind dort angegeben. Alle Gleichrichter/Umformer des Teiles 2 führen nunmehr zu einer Verkürzung der Einlaufstrecken gegenüber Tabelle 3.

- f) Die Tabelle 3 der erforderlichen störungsfreien geraden Rohrstrecken nach Einbaustörungen wurde erheblich geändert.
- g) In der Tabelle 4 wurden die erforderlichen störungsfreien geraden Rohrstrecken zwischen einem Rohrbündelgleichrichter und einer Blende erheblich geändert.
- h) Die oberen Grenzwerte für die Oberflächenrauheit R_a in Tabelle 1 wurden gegenüber Tabelle 3 in DIN EN ISO 5167-1:1995-11 grundlegend geändert. Neu aufgenommen wurde Tabelle 2 mit den unteren Grenzwerten.
- i) Die Grenzwerte für die Exzentrizität wurden zum Teil geändert. Es wird gegenüber Tabelle 3 in DIN EN ISO 5167-1:1995-11 zwischen zwei Werten für die Exzentrizität unterschieden, und zwar in eine Komponente parallel und in eine Komponente senkrecht zur Druckentnahmebohrung.

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 5167-1:2004:01, *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.*

– Leerseite –

Deutsche Fassung

Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll
durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt - Teil 2: Blenden
(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 (ISO 5167-2:2003)

Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils
déprimogènes insérés dans des conduites en charge de
section circulaire - Partie 2: Diaphragmes
(ISO 5167-2:2003)

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

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Messprinzip und Berechnungsverfahren	5
5 Blenden	6
5.1 Beschreibung	6
5.2 Druckentnahmen	9
5.3 Koeffizienten von Blenden und zugehörige Messunsicherheiten	13
5.4 Druckverlust Δp	16
6 Anforderungen an den Einbau	18
6.1 Allgemeines	18
6.2 Mindestlängen störungsfreier gerader Rohrstrecken im Ein- und Auslauf zwischen verschiedenen Einbaustörungen und der Blende	18
6.3 Strömungsumformer und Strömungsgleichrichter	23
6.4 Rundheit und Zylinderform des Rohres	32
6.5 Anordnung von Blende und Fassungsringen	33
6.6 Halterungen und Dichtungen	34
Anhang A (informativ) Tabellen der Durchflusskoeffizienten und Expansionszahlen	35
Anhang B (informativ) Strömungsumformer	58
Literaturhinweise	63
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	65

Vorwort

Dieses Dokument EN ISO 5167-2:2003 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 30 „Durchflussmessung in geschlossenen Leitungen“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 244 „Durchflussmessung 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 5167-1:2003, 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 5167-2:2003 wurde vom CEN als EN ISO 5167-2:2003 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

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

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 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 Drosselgerät 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) Teil 1 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) Dieser Teil 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 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 die geometrischen Formen und Maße sowie die Anwendung (Einbau- und Betriebsbedingungen) von Blenden, die in einer voll durchströmten Rohrleitung zur Bestimmung des Durchflusses eingebaut sind, fest.

Dieser Teil von ISO 5167 enthält grundlegende Informationen für die Durchflussberechnung und ist gemeinsam mit den in ISO 5167-1 festgelegten Anforderungen anzuwenden.

Das in diesem Teil von ISO 5167 behandelte Primärgerät ist eine Blende mit Flansch-Druckentnahmen, Eck-Druckentnahmen oder D - und $D/2$ -Druckentnahmen. Andere Druckentnahmen, wie z. B. Vena-Contracta- und beliebige Druckentnahmen im Rohr, werden im Zusammenhang mit Blenden zwar verwendet, sind jedoch nicht

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.

Gegenstand dieser Norm. Dieser Teil von ISO 5167 gilt nur für eine Strömung, die im gesamten Messquerschnitt im Unterschallbereich liegt und wo das Fluid als einphasig betrachtet werden kann. Dieser Teil von ISO 5167 gilt nicht für Messungen bei pulsierenden Strömungen, für Rohrdurchmesser kleiner als 50 mm oder größer als 1 000 mm und für (rohrbezogene) Reynolds-Zahlen unter 5 000.

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die in ISO 4006 und in ISO 5167-1 angegebenen Begriffe.

4 Messprinzip und Berechnungsverfahren

Das Messprinzip beruht auf dem Einbau einer Blende in eine voll durchströmte Rohrleitung. Das Vorhandensein der Blende erzeugt eine Differenz der statischen Drücke zwischen Blendeneinlauf (Stirnseite) und -auslauf (Rückseite). Der Massendurchfluss q_m kann durch Gleichung (1) bestimmt werden:

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

Die Messunsicherheit des bestimmten Massendurchflusses lässt sich nach dem in ISO 5167-1:2003, Abschnitt 8 beschriebenen Verfahren berechnen.

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

Entsprechend berechnet sich der Wert des Volumendurchflusses, 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.

Wie noch in diesem Teil von ISO 5167 gezeigt wird, ist der Durchflusskoeffizient C abhängig von der Reynolds-Zahl Re , die wiederum eine Funktion von q_m ist und durch Iteration ermittelt werden muss (siehe Anhang A von ISO 5167-1:2003, der einen Leitfaden für die Wahl des Iterationsverfahrens und für eine erste Abschätzung darstellt).

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 infolge Expansion oder Kontraktion der Blende und der Rohrleitung mit der Temperatur und dem Druck des Fluids korrigiert werden und auf die Bedingungen während der Durchflussmessung umgerechnet 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 Blenden

ANMERKUNG 1 Da die verschiedenen Arten der genormten Blenden untereinander ähnlich sind, genügt eine einzige Beschreibung. Die Lage der Druckentnahmen kennzeichnet die Art der genormten Blenden.

ANMERKUNG 2 Die Grenzen für die Anwendung sind in 5.3.1 angegeben.

5.1 Beschreibung

5.1.1 Allgemeines

Bild 1 zeigt eine genormte Blende in Seitenansicht als Schnitt entlang des Rohrquerschnitts.

Die Bezeichnungen im nachstehenden Text beziehen sich auf die Angaben in Bild 1.

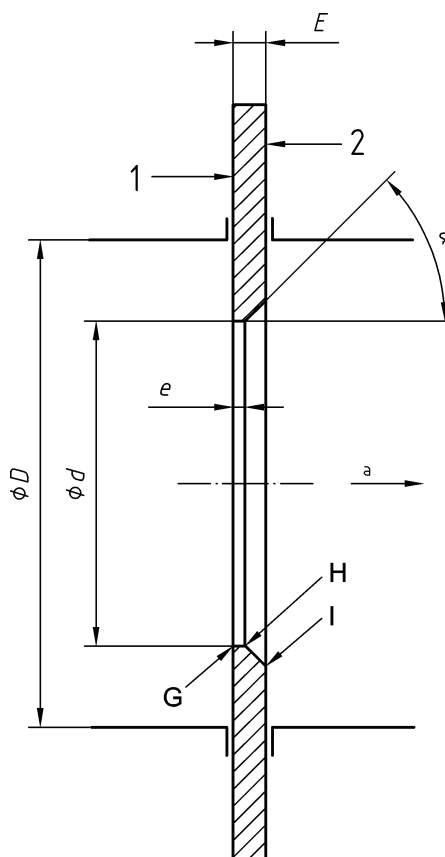
5.1.2 Allgemeine Form

5.1.2.1 Der innerhalb des Rohres liegende Teil der Blende muss kreisförmig und konzentrisch zur Rohrachse sein. Die Stirn- und Rückseite der Blende müssen eben und parallel zueinander sein.

5.1.2.2 Die folgende Beschreibung gilt, wenn nicht anders angegeben ist, nur für den Teil der Blende, der innerhalb des Rohres liegt

5.1.2.3 Bei der Ausführung und beim Einbau der Blende muss darauf geachtet werden, dass plastische oder elastische Verformungen der Blendenscheibe, hervorgerufen durch den Differenzdruck oder durch andere Beanspruchungen, nicht dazu führen, dass die Neigung der in 5.1.3.1 definierten Geraden unter Betriebsbedingungen 1 % überschreitet.

ANMERKUNG Zusätzliche Angaben hierzu finden sich in 8.1.1.3 von ISO/TR 9464:1998.



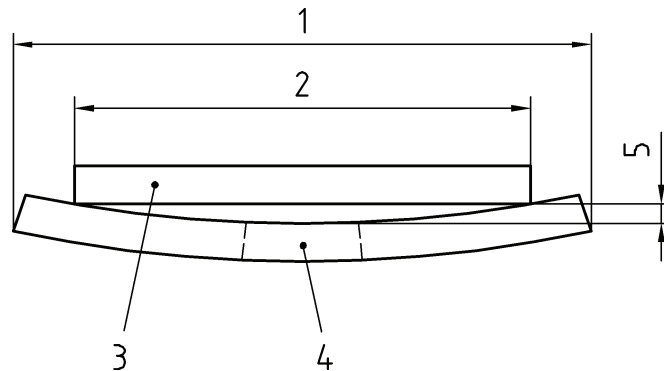
Legende

- 1 Stirnseite A
- 2 Rückseite B
- a Strömungsrichtung

Bild 1 — Genormte Blende

5.1.3 Stirnseite A

5.1.3.1 Die Stirnseite A der Blende muss nach dem Einbau in eine Rohrleitung für einen Differenzdruck 0 eben sein. Für den Fall, dass nachgewiesen werden kann, dass die Blende durch die Art und Weise des Einbaus nicht verformt wird, darf die Ebenheit auch im ausgebauten Zustand geprüft werden. Unter diesen Umständen wird die Blende als eben angesehen, wenn die maximale Lücke zwischen der Blende und einer geraden Kantenlänge D , die über einen beliebigen Durchmesser der Blende gelegt worden ist (siehe Bild 2), kleiner als $0,005 (D - d)/2$ ist, d. h. die Neigung bei der Prüfung der Blende vor dem Einbau in die Messstrecke kleiner als 0,5 % ist. Wie das Bild 2 zeigt, liegt der kritische Bereich unmittelbar im Bereich der Blendenöffnung. Die Einhaltung der Toleranzanforderungen für dieses Maß können durch Fühlerlehren geprüft werden.



Legende

- 1 Außendurchmesser der Blende
- 2 Rohrrinnendurchmesser (D)
- 3 gerade Kante
- 4 Blende
- 5 Abweichung von der Ebenheit (gemessen an Bohrungskante)

Bild 2 — Messung der Ebenheit der Blende

5.1.3.2 Die Stirnseite der Blende muss innerhalb eines zur Blendenöffnung konzentrischen Kreises mit einem Durchmesser von mindestens D einen arithmetischen Mittenrauhwert $Ra < 10^{-4} d$ aufweisen. In jedem Fall darf die Rauheit der Stirnseite der Blende nicht die Kantenschärfe beeinflussen. Wenn die Blende während des Betriebes die genannten Anforderungen nicht einhält, so muss sie innerhalb eines Durchmessers von mindestens D nachträglich poliert oder gesäubert werden.

5.1.3.3 In den Fällen, in denen es möglich ist, ist eine deutliche, nach Einbau der Blende noch sichtbare Markierung anzubringen, welche die richtige Einbaulage der Blende im Hinblick auf die Strömungsrichtung anzeigt.

5.1.4 Rückseite B

5.1.4.1 Die Rückseite B muss eben und parallel zur Stirnseite sein (siehe auch 5.1.5.4).

5.1.4.2 Obwohl es die Herstellung einer Blende vereinfachen kann, wenn beide Seiten die gleichen Oberflächenqualitäten aufweisen, ist es nicht erforderlich, dass die Rückseite die Oberflächenqualität der Stirnseite aufweist (siehe [1], aber auch 5.1.9).

5.1.4.3 Für die Beurteilung der Ebenheit und der Oberflächenqualität der Rückseite genügt die Sichtprüfung.

5.1.5 Dicke E und Länge e

5.1.5.1 Die Länge e der zylindrischen Blendenöffnung muss zwischen $0,005D$ und $0,02D$ liegen.

5.1.5.2 Die Werte von e , gemessen an beliebiger Stelle der Blendenöffnung, dürfen um nicht mehr als $0,001D$ voneinander abweichen.

5.1.5.3 Die Dicke E der Blendenscheibe muss zwischen e und $0,05D$ liegen.

Im Falle $50 \text{ mm} \leq D \leq 64 \text{ mm}$ ist eine Dicke E bis 3,2 mm zulässig.

Die Anforderungen nach 5.1.2.3 müssen erfüllt werden.

5.1.5.4 Im Fall $D \geq 200 \text{ mm}$ dürfen die Werte von E , gemessen an beliebiger Stelle der Blende, um nicht mehr als $0,001D$ voneinander abweichen. Im Fall $D < 200 \text{ mm}$ dürfen die Werte von E , gemessen an beliebiger Stelle der Blende, um nicht mehr als 0,2 mm voneinander abweichen.

5.1.6 Abschrägwinkel α

5.1.6.1 Überschreitet die Dicke E der Blende die Länge e der Blendenöffnung, dann muss die Blende an der Rückseite abgeschrägt werden. Die Oberfläche der Abschrägung muss glatt sein.

5.1.6.2 Der Abschrägwinkel α muss $45^\circ \pm 15^\circ$ betragen.

5.1.7 Kanten G, H und I

5.1.7.1 Die Einlaufkante G darf keinen Grat und keine Rundung aufweisen.

5.1.7.2 Die Einlaufkante G muss scharf sein. Dies gilt als eingehalten, wenn der Kantenradius nicht größer als $0,000\ 4d$ ist.

Für $d \geq 25 \text{ mm}$ ist diese Bedingung im Allgemeinen erfüllt, wenn mit dem bloßen Auge festgestellt wird, dass die Kante keinen Lichtstrahl reflektiert.

Für $d < 25 \text{ mm}$ ist eine Sichtprüfung nicht ausreichend.

Sofern über die Erfüllung dieser Anforderung Zweifel bestehen, muss der Kantenradius gemessen werden.

5.1.7.3 Die Einlaufkante muss rechteckig sein. Dies gilt als eingehalten, wenn der Winkel zwischen der Blendenöffnung und der Stirnseite der Blendenscheibe $90^\circ \pm 0,3^\circ$ beträgt. Die Blendenöffnung ist der Bereich zwischen den Kanten G und H der Blende.

5.1.7.4 Die Auslaufkanten H und I liegen im Ablösungsbereich der Strömung. Deshalb müssen sie nicht den hohen Anforderungen für die Einlaufkante G genügen. Aus diesem Grunde sind kleine Beschädigungen (z. B. eine einzelne Kerbe) noch zu akzeptieren.

5.1.8 Durchmesser der Blendenöffnung d

5.1.8.1 Der Durchmesser der Blendenöffnung d muss stets gleich oder größer als 12,5 mm sein. Das Durchmesserverhältnis $\beta = d/D$ ist stets $\geq 0,10$ und $\leq 0,75$.

Innerhalb dieser Grenzen ist β durch den Anwender auszuwählen.

5.1.8.2 Der Durchmesser d der Blendenöffnung ist der Mittelwert aus mindestens vier Messungen des Durchmessers, annähernd in gleichen Winkelabständen zueinander. Es ist darauf zu achten, dass die Kante und der zylindrische Teil bei diesen Messungen nicht beschädigt werden.

5.1.8.3 Die Blendenöffnung muss zylindrisch sein.

Kein Durchmesser darf um mehr als 0,05 % vom Mittelwert des Durchmessers abweichen. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn keiner der gemessenen Einzeldurchmesser vom Mittelwert des Durchmessers um mehr als oben angegeben abweicht. Die Oberflächenrauheit der zylindrischen Bohrung darf in keinem Fall die Messung der Kantenschärfe beeinträchtigen.

5.1.9 Blenden für wechselnde Strömungsrichtungen

5.1.9.1 Sofern die Blende für Durchflüsse mit wechselnder Strömungsrichtung verwendet wird, gilt Folgendes:

- a) die Blende darf nicht abgeschrägt sein;
- b) beide Seiten der Blende müssen mit der Beschreibung der Stirnseite nach 5.1.3 übereinstimmen;
- c) die Dicke E der Blende muss gleich der Länge e der zylindrischen Blendenöffnung nach 5.1.5 sein; der Wirkdruck muss, um Verformungen zu vermeiden, konsequenterweise begrenzt werden (siehe 5.1.2.3);
- d) die beiden Kanten der Blendenöffnung müssen mit der Beschreibung der Einlaufkante nach 5.1.7 übereinstimmen.

5.1.9.2 Für Blenden mit D - und $D/2$ -Druckentnahmen (siehe 5.2) müssen außerdem je zwei Sätze von Bohrungen für die Plus- und Minus-Druckentnahmen angebracht sein, die je nach Durchflussrichtung sinngemäß zu benutzen sind.

5.1.10 Werkstoff und Herstellung

Die Blende darf aus jedem Material und nach jedem beliebigen Fertigungsverfahren hergestellt werden, sofern sie während der Durchflussmessung mit den vorhergehenden Beschreibungen übereinstimmt.

5.2 Druckentnahmen

5.2.1 Allgemeines

Für jede Blende muss mindestens eine Plus- und eine Minus-Druckentnahme an einer der genormten Stellen als D - und $D/2$ -Druckentnahme, Flansch- oder Eck-Druckentnahme vorhanden sein.

Eine Blende darf mit mehreren Paaren von Druckentnahmen für verschiedene genormte Arten von Blenden ausgerüstet sein. Um jedoch eine gegenseitige Beeinflussung zu verhindern, müssen die verschiedenen Druckentnahmen auf der gleichen Seite der Blende um mindestens 30° versetzt angeordnet sein.

Die Art der genormten Blenden wird durch die Anordnung der Druckentnahmen bestimmt.

5.2.2 Blenden mit D - und $D/2$ -Druckentnahmen oder Blenden mit Flansch-Druckentnahmen

5.2.2.1 Der Abstand l der Druckentnahme ist der Abstand zwischen der Mittellinie der Bohrung für die Druckentnahme und der Ebene der betreffenden Seite der Blende. Beim Anbringen von Druckentnahmen muss die Dicke der Dichtung und des Dichtungsmaterials berücksichtigt werden.

5.2.2.2 Für Blenden mit D - und $D/2$ -Druckentnahmen (siehe Bild 3) ist der Abstand l_1 der Plus-Druckentnahme nominell gleich D und darf ohne Einfluss auf den Durchflusskoeffizienten auch zwischen $0,9D$ und $1,1D$ liegen.

Der Abstand l_2 der Minus-Druckentnahme ist nominell gleich $0,5D$ und darf ohne Einfluss auf den Durchflusskoeffizienten auch zwischen den folgenden Werten liegen:

- zwischen $0,48D$ und $0,52D$ für $\beta \leq 0,6$;
- zwischen $0,49D$ und $0,51D$ für $\beta > 0,6$.

Beide Abstände l_1 und l_2 werden von der Stirnseite der Blende aus gemessen.

5.2.2.3 Für Blenden mit Flansch-Druckentnahmen (siehe Bild 3) ist der Abstand l_1 der Plus-Druckentnahme nominell gleich 25,4 mm, gemessen von der Stirnseite der Blende.

Der Abstand l'_2 der Minus-Druckentnahme, gemessen von der Rückseite der Blende, beträgt nominell 25,4 mm.

Diese Abstände l_1 und l'_2 dürfen zwischen den folgenden Werten liegen, ohne den Durchflusskoeffizienten zu beeinflussen:

- $25,4 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ für $\beta > 0,6$ und $D < 150 \text{ mm}$;
- $25,4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ in allen anderen Fällen, d. h. für $\beta \leq 0,6$ oder für $\beta > 0,6$ und $150 \text{ mm} \leq D \leq 1000 \text{ mm}$.

5.2.2.4 Die Mittellinie der Druckentnahme muss die Mittellinie der Rohrachse möglichst unter einem Winkel von 90° schneiden, muss aber in jedem Fall innerhalb 3° zur Senkrechten liegen.

5.2.2.5 Am Ort ihres Durchtritts aus der Rohrwand muss die Entnahmeöffnung rund sein. Ihre Kante muss mit der Rohrinneinnenseite bündig, frei von Grat und so scharf wie möglich sein. Um Bohrgrat oder Späne sicher zu entfernen, ist eine kleine Abrundung an der inneren Kante zulässig, die jedoch so klein wie möglich sein muss. Falls eine Messung möglich ist, muss der Kantenradius kleiner als ein Zehntel des Durchmessers der Bohrung sein. Es dürfen innerhalb der Bohrung für die Druckentnahme, an der Kante der in die Rohrwand gebohrten Entnahmeöffnung und an der Rohrinneinnenseite nahe der Entnahmeöffnung keine Unregelmäßigkeiten vorhanden sein.

5.2.2.6 Für die Beurteilung der Übereinstimmung der Druckentnahmen mit den Anforderungen nach 5.2.2.4 und 5.2.2.5 genügt eine Sichtprüfung.

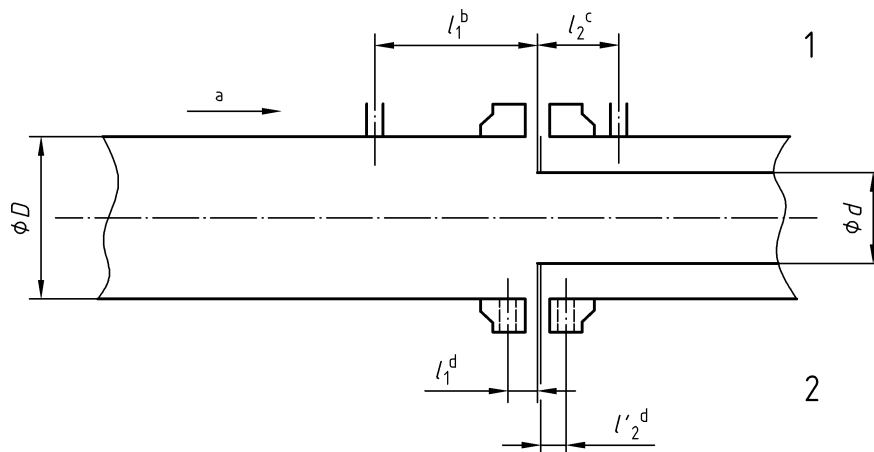
5.2.2.7 Der Durchmesser der Druckentnahmebohrungen muss kleiner als $0,13D$ und kleiner als 13 mm sein.

Für den Minstdurchmesser gibt es keine Einschränkung, er ist praktisch nur durch die Gefahr einer Verstopfung oder durch unzureichende Dynamik der Druckübertragung festgelegt. Die Plus- und Minus-Druckentnahmen müssen den gleichen Durchmesser haben.

5.2.2.8 Gemessen von der Rohrinneinnenseite, müssen die Bohrungen für die Druckentnahmen über eine Länge von mindestens $2,5 \times$ Bohrungsdurchmesser kreisrund und zylindrisch sein.

5.2.2.9 Die Mittellinien der Druckentnahmebohrungen dürfen in jeder beliebigen axialen Ebene liegen.

5.2.2.10 Die Achsen der Plus- und Minus-Druckentnahmen dürfen in verschiedenen axialen Ebenen liegen. In der Regel liegen sie jedoch in derselben axialen Ebene.



Legende

1 D- und $D/2$ -Druckentnahmen

2 Flansch-Druckentnahmen

a Strömungsrichtung

b $l_1 = D \pm 0,1D$

c $l_2 = \begin{cases} 0,5D \pm 0,02D & \text{für } \beta \leq 0,6 \\ 0,5D \pm 0,01D & \text{für } \beta > 0,6 \end{cases}$

d $l_1 = l_2' = \begin{cases} (25,4 \pm 0,5) \text{ mm} & \text{für } \beta > 0,6 \text{ und } D < 150 \text{ mm} \\ (25,4 \pm 1) \text{ mm} & \text{für } \beta \leq 0,6 \\ (25,4 \pm 1) \text{ mm} & \text{für } \beta > 0,6 \text{ und } 150 \text{ mm} \leq D \leq 1000 \text{ mm} \end{cases}$

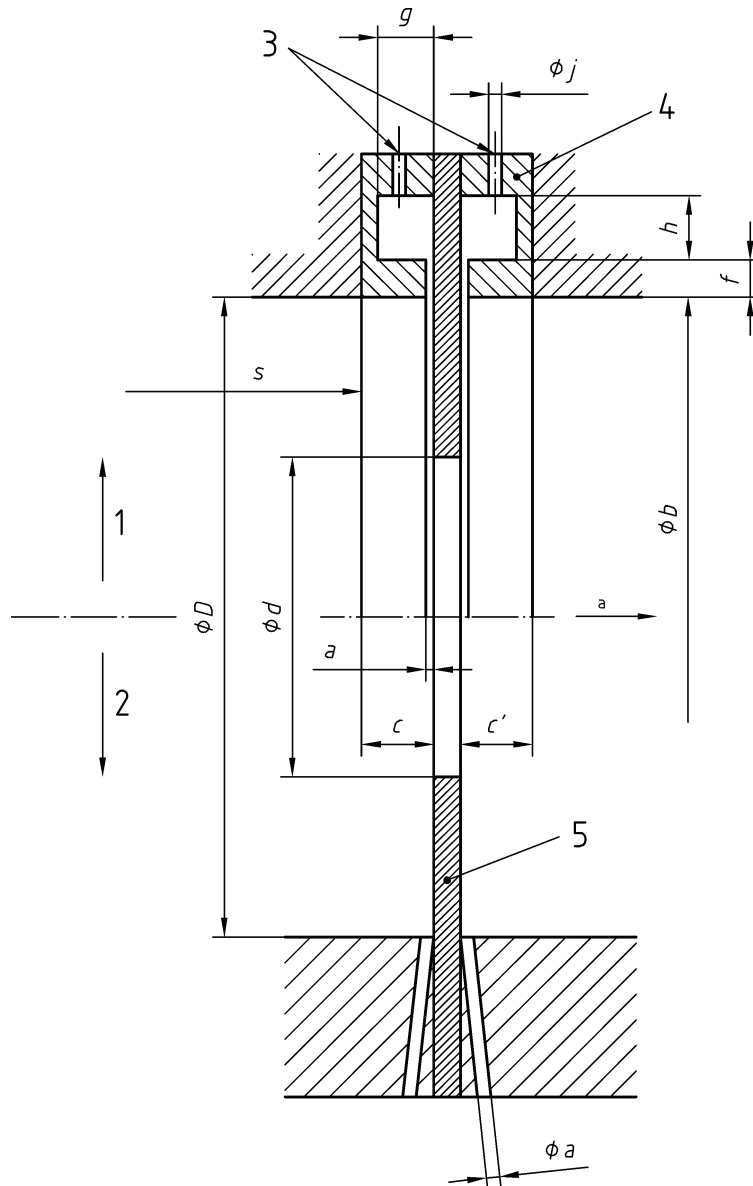
Bild 3 — Lage der Druckentnahmen für Blenden mit D- und $D/2$ -Druckentnahmen sowie Flansch-Druckentnahmen

5.2.3 Blenden mit Eck-Druckentnahmen (siehe Bild 4)

5.2.3.1 Der Abstand zwischen der Mittellinie der Bohrung für die Druckentnahme und der Ebene der betreffenden Blendenseite muss gleich dem halben Bohrungsdurchmesser (bei Einzelanbohrung) oder der Hälfte

Entnahmeweite (bei Ringkammern) sein, sodass die Entnahmeöffnung in der Rohrwand die zugehörige Blenden-seite gerade berührt (siehe auch 5.2.3.5).

5.2.3.2 Die Druckentnahmen dürfen entweder Einzel-Druckentnahmen oder ringförmige Schlitze sein. Beide Formen der Druckentnahme dürfen entweder direkt im Rohr, in den Flanschen oder auch in Fassungsringen angebracht werden, wie dies in Bild 4 dargestellt ist.



Legende

- | | | | |
|-----|---------------------------------------|----------|---|
| 1 | Fassungsring mit ringförmigem Schlitz | f | Schlitztiefe |
| 2 | Einzel-Druckentnahmen | c | Breite des Fassungsringes im Einlauf |
| 3 | Druckentnahmen | c' | Breite des Fassungsringes im Auslauf |
| 4 | Fassungsring | b | Durchmesser des Fassungsringes |
| 5 | Blende | a | Schlitzweite oder Durchmesser der Einzel-Druckentnahme |
| a | Strömungsrichtung | s | Abstand zwischen dem Durchmessersprung stromaufwärts und der Vorderkante des Fassungsringes |
| | | g, h | Maße der Ringkammer |
| | | ϕj | Durchmesser der Druckentnahme aus der Ringkammer |

Bild 4 — Eck-Druckentnahmen

5.2.3.3 Nachfolgend sind der Durchmesser a einer Einzel-Druckentnahme oder die Schlitzweite a angegeben. Der untere Grenzwert für den Durchmesser ist praktisch nur durch die Gefahr einer Verstopfung oder durch unzureichende Dynamik der Druckübertragung bestimmt.

Für saubere Fluide und Dämpfe:

- für $\beta \leq 0,65$: $0,005D \leq a \leq 0,03D$;
- für $\beta > 0,65$: $0,01D \leq a \leq 0,02D$.

Im Falle von $D < 100$ mm ist für a ein Wert bis 2 mm für jeden Wert von β möglich.

Für jeden Wert von β :

- für saubere Fluide: $1 \text{ mm} \leq a \leq 10 \text{ mm}$;
- für Dämpfe bei Ringkammern: $1 \text{ mm} \leq a \leq 10 \text{ mm}$;
- für Dämpfe und verflüssigte Gase bei Einzel-Druckentnahmen: $4 \text{ mm} \leq a \leq 10 \text{ mm}$.

5.2.3.4 Der Ringspalt ist üblicherweise ohne Unterbrechung über den ganzen Umfang mit dem Rohrinne verbunden. Andernfalls muss jede Ringkammer mit dem Rohrinne über mindestens vier Öffnungen verbunden sein, deren Achsen gleiche Winkel zueinander haben und deren Öffnungsfläche mindestens je 12 mm^2 beträgt.

5.2.3.5 Bei Einzel-Druckentnahmen nach Bild 4) müssen deren Mittellinien die Rohrachse unter einem Winkel schneiden, der möglichst 90° erreicht.

Sind mehrere Einzel-Druckentnahmen auf der Plus- und der Minusseite in der gleichen Ebene vorhanden, so müssen deren Mittellinien gleiche Winkelabstände zueinander haben. Die Durchmesser der Bohrungen für die Einzel-Druckentnahmen sind in 5.2.3.3 angegeben.

Gemessen von der Rohrinne, müssen die Bohrungen für die Einzel-Druckentnahmen über eine Länge von mindestens $2,5 \times$ Bohrungsinwenddurchmesser kreisrund und zylindrisch sein.

Die Entnahmebohrungen auf der Plus- und Minusseite müssen den gleichen Durchmesser aufweisen.

5.2.3.6 Um sicherzustellen, dass die Fassungsringe nicht ins Rohr hineinragen, muss deren Innendurchmesser b gleich oder größer als der Rohrdurchmesser D sein. Er darf jedoch einen Wert von $1,04D$ nicht überschreiten. Folgende Bedingung muss zusätzlich erfüllt sein:

$$\frac{b-D}{D} \times \frac{c}{D} \times 100 < \frac{0,1}{0,1 + 2,3\beta^4}$$

Die Breiten c und c' der Fassungsringe auf der Einlauf- und Auslaufseite (siehe Bild 4) dürfen nicht größer als $0,5D$ sein.

Die Schlitztiefe f muss gleich oder größer sein als die doppelte Schlitzweite a . Der Querschnitt der Ringkammer gh muss gleich oder größer sein als die Hälfte der gesamten Fläche des Ringspaltes, der das Rohrinne mit der Ringkammer verbindet.

5.2.3.7 Flächen des Fassungsringes, die mit dem zu messenden Fluid in Berührung kommen, müssen sorgfältig bearbeitet und sauber sein. Deren Oberflächenbeschaffenheit muss den Anforderungen an die Rauheit des Rohres (siehe 5.3.1) entsprechen.

5.2.3.8 Die Bohrungen für die Druckentnahmen, welche die Ringkammern mit den Sekundärgeräten verbinden, müssen rund sein und einen Durchmesser j zwischen 4 mm und 10 mm aufweisen (siehe 5.2.2.5).

5.2.3.9 Die Fassungsringe auf der Einlauf- und Auslaufseite müssen nicht unbedingt symmetrisch zueinander sein, sie müssen aber beide die vorgenannten Anforderungen erfüllen.

5.2.3.10 Der Rohrdurchmesser muss nach 6.4.2 gemessen werden, wobei der Fassungsring als Teil der Blende angesehen werden muss. Dies gilt auch für die nach 6.4.4. angegebene Anforderung für den Abstand des nächsten Durchmessersprungs, sodass die Länge s von der Anströmkante des rückspringenden Fassungsringes aus gemessen werden muss.

5.3 Koeffizienten von Blenden und zugehörige Messunsicherheiten

5.3.1 Anwendungsgrenzen

Nach diesem Teil von ISO 5167 genormte Blenden dürfen nur unter den folgenden Bedingungen angewendet werden.

Blenden mit Eck- oder D - und $D/2$ -Druckentnahmen:

- $d \geq 12,5$ mm;
- $50 \text{ mm} \leq D \leq 1\,000$ mm;
- $0,1 \leq \beta \leq 0,75$;
- $Re_D \geq 5\,000$ für $0,1 \leq \beta \leq 0,56$;
- $Re_D \geq 16\,000 \beta^2$ für $\beta > 0,56$.

Blenden mit Flansch-Druckentnahmen:

- $d \geq 12,5$ mm;
- $50 \text{ mm} \leq D \leq 1\,000$ mm;
- $0,1 \leq \beta \leq 0,75$;

für $Re_D \geq 5\,000$ und $Re_D \geq 170 \beta^2 D$, wobei D in mm angegeben ist.

Wenn die Unsicherheitswerte dieses Teils von ISO 5167 eingehalten werden müssen, muss die Rauheit der Rohrrinnenwand folgenden Bedingungen genügen: Der arithmetische Mittenrauhwert R_a muss einem Wert entsprechen, der sicherstellt, dass $10^4 Ra/D$ niedriger ist als der obere Grenzwert nach Tabelle 1 und höher als der untere Grenzwert nach Tabelle 2. Die Gleichung für den Durchflusskoeffizienten (5.3.2.1) wurde anhand einer Datenbank aufgestellt, deren C -Werte für Messstrecken bekannter Rauheit ermittelt wurden. Die Grenzwerte für Ra/D wurden dabei so gewählt, dass die Abweichung des Durchflusskoeffizienten durch die Verwendung von Rohren abweichender Rauheit nicht so groß ist, dass der Wert für die Unsicherheit nach 5.3.3.1 nicht mehr eingehalten wird. Weitere Angaben zur Rohrrauheit siehe 7.1.5 von ISO 5167-1:2003. Die Grundlagen für die Tabellen 1 und 2 sind in den Literaturhinweisen [2] bis [4] beschrieben.

Tabelle 1 — Oberer Grenzwert von $10^4 Ra/D$

β	Re_D								
	$\leq 10^4$	3×10^4	10^5	3×10^5	10^6	3×10^6	10^7	3×10^7	10^8
$\leq 0,20$	15	15	15	15	15	15	15	15	15
0,30	15	15	15	15	15	15	15	14	13
0,40	15	15	10	7,2	5,2	4,1	3,5	3,1	2,7
0,50	11	7,7	4,9	3,3	2,2	1,6	1,3	1,1	0,9
0,60	5,6	4,0	2,5	1,6	1,0	0,7	0,6	0,5	0,4
$\geq 0,65$	4,2	3,0	1,9	1,2	0,8	0,6	0,4	0,3	0,3

Tabelle 2 — Unterer Grenzwert von $10^4 Ra/D$ (wenn ein solcher erforderlich ist)

β	Re_D			
	$\leq 3 \times 10^6$	10^7	3×10^7	10^8
$\leq 0,50$	0,0	0,0	0,0	0,0
0,60	0,0	0,0	0,003	0,004
$\geq 0,65$	0,0	0,013	0,016	0,012

Die in den Tabellen 1 und 2 genannten Grenzwerte für die Rauheit der Rohre müssen über eine Einlauflänge von $10D$ vor der Blende eingehalten werden. Die Anforderungen gelten dabei für den Blendenhalter und die Rohrleitung stromaufwärts. Die Rohrrauheit hinter der Blende ist nicht von entsprechender Bedeutung.

Beispielsweise gelten in beiden folgenden Fällen die Anforderungen dieses Abschnittes als erfüllt:

- $1 \mu\text{m} \leq Ra \leq 6 \mu\text{m}$, $D \geq 150 \text{ mm}$, $\beta \leq 0,6$ und $Re_D \leq 5 \times 10^7$;
- $1,5 \mu\text{m} \leq Ra \leq 6 \mu\text{m}$, $D \geq 150 \text{ mm}$, $\beta > 0,6$ und $Re_D \leq 1,5 \times 10^7$.

Ist D kleiner 150 mm, so sind der obere und untere Grenzwert von Ra mittels Tabelle 1 und 2 zu ermitteln.

5.3.2 Koeffizienten

5.3.2.1 Durchflusskoeffizient C

Der Durchflusskoeffizient C ist durch die *Reader-Harris/Gallagher*-Gleichung (1998) [5] gegeben:

$$C = 0,596 \, 1 + 0,026 \, 1 \beta^2 - 0,216 \beta^8 + 0,000 \, 521 \left(\frac{10^6 \beta}{Re_D} \right)^{0,7} + (0,018 \, 8 + 0,006 \, 3 A) \beta^{3,5} \left(\frac{10^6}{Re_D} \right)^{0,3} \\ + (0,043 + 0,080 e^{-10 L_1} - 0,123 e^{-7 L_1}) (1 - 0,11 A) \frac{\beta^4}{1 - \beta^4} - 0,031 (M'_2 - 0,8 M'^{1,1}_2) \beta^{1,3} \quad (4)$$

Ist $D < 71,12 \text{ mm}$ (2,8 in), so ist der Gleichung (4) folgendes Glied hinzuzufügen:

$$+ 0,011 (0,75 - \beta) \left(2,8 - \frac{D}{25,4} \right)$$

Dabei ist:

- β ($= d/D$) das Durchmesser Verhältnis; die Durchmesser d und D sind in Millimeter einzusetzen;
- Re_D die Reynolds-Zahl, bezogen auf D ;
- L_1 ($= l_1/D$) das Verhältnis des Abstandes der Druckentnahme im Einlauf von der Stirnseite der Blende zum Rohrdurchmesser;
- L'_2 ($= l'_2/D$) das Verhältnis des Abstandes der Druckentnahme im Auslauf von der Rückseite der Blende zum Rohrdurchmesser (L'_2 deutet den Bezug des Abstandes auf die Rückseite der Blende an, L_2 würde sich auf den Abstand von der Stirnseite der Blende beziehen).

$$M'_2 = \frac{2 L'_2}{1 - \beta}$$

$$A = \left(\frac{19\,000\beta}{Re_D} \right)^{0,8}$$

Sind die Anforderungen nach 5.2.2.2, 5.2.2.3 oder 5.2.3. erfüllt, dann sind für L_1 und L'_2 folgende Werte in die Gleichung einzusetzen:

— für Eck-Druckentnahmen:

$$L_1 = L'_2 = 0;$$

— für D - und $D/2$ -Druckentnahmen:

$$L_1 = 1 \text{ und}$$

$$L'_2 = 0,47;$$

— für Flansch-Druckentnahmen:

$$L_1 = L'_2 = \frac{25,4}{D};$$

wobei D in mm angegeben ist.

Die Gleichung (4) nach *Reader-Harris/Gallagher* (1998), gilt nur für Anordnungen von Druckentnahmen, wie sie in 5.2.2 und 5.2.3 beschrieben sind. Andere Wertepaare für L_1 und L'_2 , die nicht einer der drei genormten Druckentnahmen entsprechen, dürfen nicht in die Gleichung eingesetzt werden.

Die Gleichung (4) und die in 5.3.3 angegebenen Unsicherheiten sind nur dann gültig, wenn die Messungen innerhalb der Anwendungsgrenzen nach 5.3.1 liegen und die allgemeinen Anforderungen an den Einbau der Blendenmessstrecken nach Abschnitt 6 und ISO 5167-1 erfüllt sind.

Werte für C als Funktion von β , Re_D und D sind zur bequemen Handhabung in den Tabellen A.1 bis A.11 angegeben. Diese Werte sind nicht für genaue Interpolationen vorgesehen. Extrapolationen sind nicht zulässig.

5.3.2.2 Expansionszahl ε

Die empirische Gleichung [6] zur Berechnung der Expansionszahl ε von Blenden lautet für alle drei Arten der Druckentnahme:

$$\varepsilon = 1 - \left(0,351 + 0,256\beta^4 + 0,93\beta^8 \right) \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/\kappa} \right] \quad (5)$$

Die Gleichung (5) ist nur innerhalb der in 5.3.1 angegebenen Grenzen anwendbar.

Für die Bestimmung von ε liegen Versuche mit Luft, Dampf und Erdgas vor. Es gibt jedoch keine bekannten Einwände, die Gleichung (5) auf andere Gase und Dämpfe mit bekannten Isentropenexponenten anzuwenden.

Dann ist die Gleichung (5) jedoch nur für $p_2/p_1 \geq 0,75$ anwendbar.

Werte für die Expansionszahl als eine Funktion des Isentropenexponenten, des Druckverhältnisses und des Durchmesser-Verhältnisses sind zur bequemen Handhabung in Tabelle A.12 angegeben. Diese Werte sind nicht für genaue Interpolationen vorgesehen. Extrapolationen sind nicht zulässig.

5.3.3 Unsicherheiten

5.3.3.1 Unsicherheit des Durchflusskoeffizienten C

Wenn β , D , Re_D und Ra/D als fehlerfrei angenommen werden können, beträgt die relative Unsicherheit von C bei allen drei Arten der Druckentnahme:

— $(0,7 - \beta) \%$ für $0,1 \leq \beta < 0,2$;

— $0,5 \%$ für $0,2 \leq \beta \leq 0,6$;

— $(1,667\beta - 0,5) \%$ für $0,6 < \beta \leq 0,75$.

Ist $D < 71,12$ mm (2,8 in), so ist die folgende relative Unsicherheit den vorgenannten Werten arithmetisch hinzuzufügen:

$$+ 0,9 (0,75 - \beta) \left(2,8 - \frac{D}{25,4} \right) \%$$

Für $\beta > 0,5$ und $Re_D < 10\,000$ ist die folgende relative Unsicherheit zu den oben genannten Werten arithmetisch hinzuzufügen:

$$+ 0,5 \%$$

5.3.3.2 Unsicherheit der Expansionszahl ε

Die relative Unsicherheit von ε unter der Annahme, dass β , $\Delta p/p_1$ und κ frei von Fehlern sind, beträgt,

$$3,5 \frac{\Delta p}{\kappa p_1} \%$$

5.4 Druckverlust $\Delta\varpi$

5.4.1 Der bleibende Druckverlust $\Delta\varpi$, den die in diesem Teil von ISO 5167 beschriebenen Blenden verursachen, kann näherungsweise aus dem Wirkdruck Δp mittels Gleichung (7) berechnet werden:

$$\Delta\varpi = \frac{\sqrt{1 - \beta^4(1 - C^2)} - C\beta^2}{\sqrt{1 - \beta^4(1 - C^2)} + C\beta^2} \Delta p \quad (7)$$

Dieser Druckverlust ist die Differenz des statischen Wanddruckes auf der Einlaufseite der Blende an einer Stelle, an der der Einfluss des Staudruckes noch vernachlässigt werden darf (etwa $1D$ vor der Blende), und dem statischen Wanddruck auf der Auslaufseite an einer Stelle, an welcher der Rückgewinn des statischen Druckes durch Strahlaufweitung abgeschlossen ist (etwa $6D$ hinter der Blende). Das Wanddruckprofil für eine Messstrecke mit Blenden ist in Bild 5 dargestellt.

5.4.2 Ein weiterer näherungsweise Wert für $\Delta\varpi/\Delta p$ ist nach folgender Gleichung gegeben:

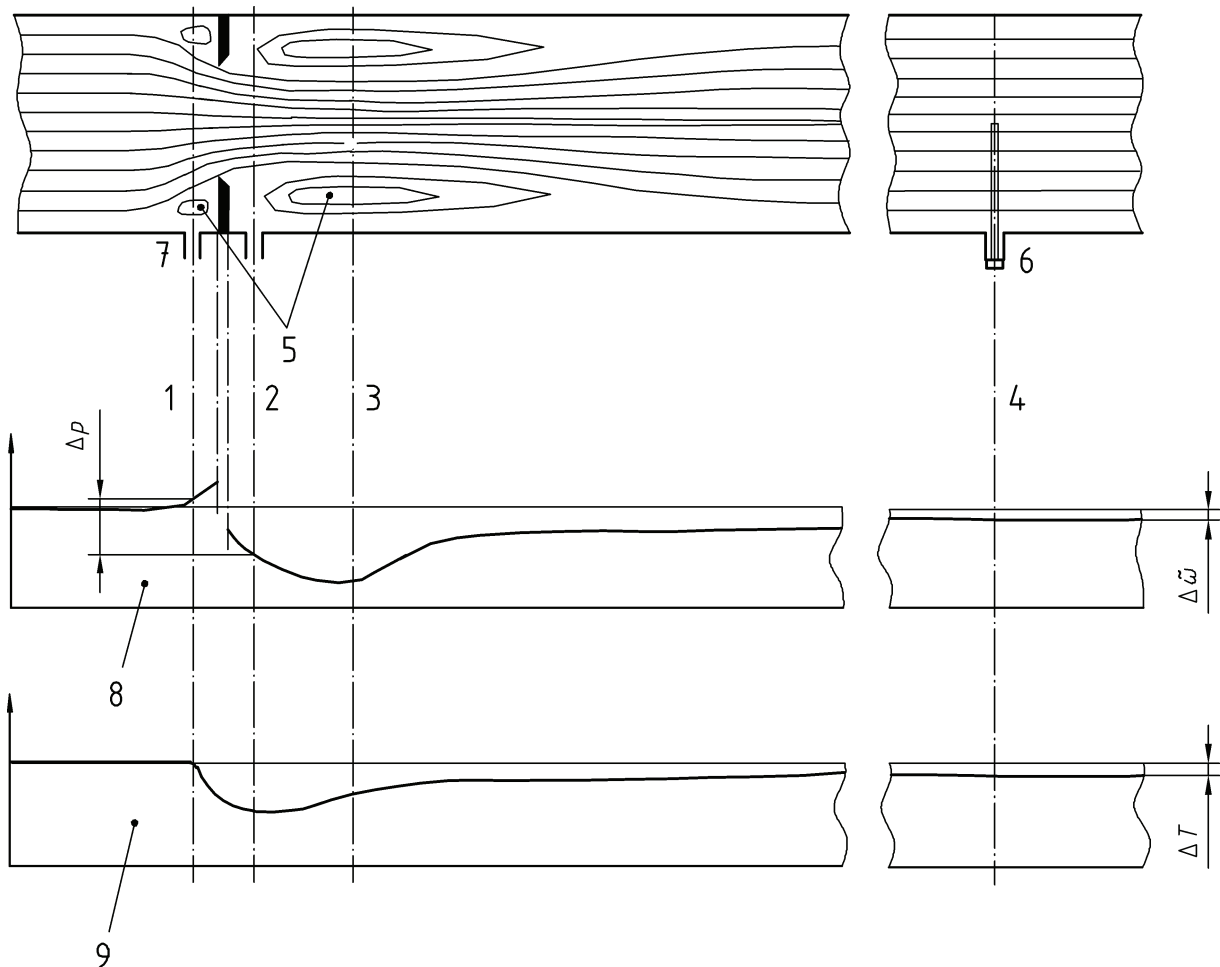
$$\frac{\Delta\varpi}{\Delta p} = 1 - \beta^{1,9}$$

5.4.3 Der Druckverlust-Koeffizient K für die Blende ist nach folgender Gleichung (siehe [7]) gegeben:

$$K = \left(\frac{\sqrt{1 - \beta^4(1 - C^2)}}{C\beta^2} - 1 \right)^2$$

dabei wird K nach folgender Gleichung bestimmt:

$$K = \frac{\Delta \varpi}{\frac{1}{2} \rho_1 V^2}$$



Legende

- 1 Ebene der Plus-Druckentnahme
- 2 Ebene der Minus-Druckentnahme
- 3 Ebene der Vena-Contracta (höchste Geschwindigkeiten)
- 4 Ebene der Anordnung der Temperaturmessung
- 5 Zonen der Rückströmung und Ablösung
- 6 Temperaturfühler
- 7 Druckentnahmestellen
- 8 Wanddruckverlauf
- 9 Verlauf der mittleren Temperatur

Bild 5 — Ungefähre Profile für Strömung, Druck und Temperatur im Bereich einer Messstrecke mit Blende