

**Durchflußmessung von Fluiden mit Drosselgeräten**

Teil 1: Blenden, Düsen und Venturirohre in voll durchströmten

Leitungen mit Kreisquerschnitt

(ISO 5167-1 : 1991) Deutsche Fassung EN ISO 5167-1 : 1995

**DIN****EN ISO 5167-1**

ICS 17.120.10

Ersatz für DIN 1952 : 1982-07

Deskriptoren: Durchflußmessung, Fluid, Drosselgerät, Leitung, Kreisquerschnitt

Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices –  
Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section  
conduits running full (ISO 5167-1 : 1991)

German version EN ISO 5167-1 : 1995

Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes –  
Partie 1: Diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi insérés dans des conduites  
en charge de section circulaire (ISO 5167-1 : 1991)

Version allemande EN ISO 5167-1 : 1995

**Die Europäische Norm EN ISO 5167-1 : 1995 hat den Status einer Deutschen Norm.****Nationales Vorwort**

Die Internationale Norm ISO 5167-1 : 1991 "Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices; Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full" des Technischen Komitees ISO/TC 30 "Durchflußmessung in geschlossenen Leitungen" wurde durch den Beschluß der CEN/TC 244-Mitglieder unverändert als Europäische Norm DIN EN ISO 5167-1 übernommen und ersetzt DIN 1952, Ausgabe Juli 1982, und den Entwurf DIN ISO 5167-1, Ausgabe September 1992.

DIN EN ISO 5167-1 stellt in Form und Inhalt eine Weiterentwicklung der in DIN 1952 niedergelegten VDI-Durchflußmeßregeln dar. Aus den nachstehenden Gründen konnte Deutschland der Internationalen Norm ISO 5167-1 : 1991 und damit einer Übernahme als Europäische Norm nicht zustimmen:

- In ISO 5167-1 : 1991 ist an der bisherigen Gleichung für den Durchflußkoeffizienten  $C$  festgehalten worden, obwohl die in einer EG/API-Ringmessung ermittelten Ergebnisse zu einer Änderung dieser Gleichung hätten führen müssen. Neue Erkenntnisse hinsichtlich einer besser korrelierten Bestimmung dieses Koeffizienten wurden nicht berücksichtigt. So ist es weiterhin möglich, daß trotz Einhaltung der Bedingungen der Norm allein durch verschiedene Rohrrauheiten beträchtliche Unterschiede im Durchfluß auftreten können.
- Die in Tabelle 2 von ISO 5167-1 : 1991 für klassische Venturirohre geforderten Längen für gerade, störungsfreie Einlaufstrecken sind zu kurz. Durch vom VDI geförderte Messungen konnte belegt werden, daß die vorgeschriebenen Längen bei Vorgabe der genannten Unsicherheiten etwa um den Faktor 4 verlängert werden müssen.
- Der Anwendungsbereich für Blenden wurde von  $Re_{D, \max} = 10^8$  auf  $Re_{D, \max} = \infty$  erweitert. Tatsächlich war die Gleichung für  $C$  – bei der von fabrikneuen Rohren ohne Innenbeschichtung ausgegangen wird – auch vorher schon in Reynoldszahlbereiche extrapoliert worden, für die noch keine Messungen vorlagen. Jetzt vorliegende Messungen mit glatten Rohren zeigen bereits im Bereich  $Re_{D, \max} 10^7$  bis  $10^8$  starke Abweichungen zur Gleichung für  $C$ . Bei weiterer Extrapolation müssen – insbesondere bei glatten Rohren und bei vorhandener Rohrrauheit aufgrund längeren Betriebes – noch größere Abweichungen befürchtet werden.
- Der Grenzwert für die visuelle Beurteilung der Kantenschärfe von Blenden mittels Lichtreflex wurde von  $d = 125$  mm auf  $d = 25$  mm herabgesetzt. Tatsächlich wird für  $r_x = 0,0004 d$  ein Lichtreflex aus 25 cm Betrachtungsabstand erst bei  $d \geq 125$  mm sichtbar.
- Für die Expansionszahl für Blenden wurde eine Gleichung für die auf die Minusseite bezogene Expansionszahl  $\varepsilon_2$  neu aufgenommen. Diese Gleichung setzt isentrope Entspannungen voraus; isentrope Entspannung wird aber nicht durchgängig in der Norm gefordert.

Ein weiterer Grund eine Übernahme der Internationalen Norm ISO 5167-1 : 1991 als Europäische Norm abzulehnen, war die Tatsache, daß die vorgenannte Norm im ISO/TC 30/SC 2 bereits wieder überarbeitet wird.

Fortsetzung Seite 2  
und 51 Seiten EN

Normenausschuß Primäre Meßgeräte und -einrichtungen (NPM) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

ISO 5167-1 : 1991 enthält im Anhang D einen Druckfehler.

In der Tabelle muß die Aufgabe Genauigkeitskriterien für  $d$  wie folgt dargestellt werden:

$$\left| \frac{A_2 - XC\varepsilon_1}{A_2} \right| < 1 \times 10^{-n}$$

Die Mitarbeiter des Unterausschusses VDI/VDE-GMA 2.5.1 "Drosselgeräte" im NPM 2 "Durchfluß und Menge" im NA Gastech-  
nik (NAGas), NA Wasserwesen (NAW) und VDI/VDE-Gesellschaft Meß- und Automatisierungstechnik (GMA) werden  
versuchen, bei der Überarbeitung der Internationalen Norm ISO 5167-1 : 1991 die Folgeausgabe so zu gestalten, daß  
Deutschland dem Ergebnis auf internationaler und europäischer Normungsebene zustimmen kann.

Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen wird im folgenden auf die entsprechende Deutsche Norm hin-  
gewiesen:

ISO 4006 siehe DIN EN 24006

### Änderungen

Gegenüber DIN 1952 : 1982-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Die Durchflußzahl  $\alpha$  und der Vorgeswindigkeitsfaktor  $E$  werden nicht mehr verwendet. Dadurch entfallen die Gleichungen für  $\delta$  und  $E$  sowie die Zahlenwerte für  $\alpha$  im Anhang A, statt dessen wird in allen Gleichungen ausschließlich der Durchflußkoeffizient  $C$  verwendet.
- b) Tabelle 2, Gesichtspunkte zur Auswahl des Drosselgerätes, wurde gestrichen.
- c) Zusätzlich wurden die Strömungsgleichrichter Bauart D: "ACMA" Gleichrichter und Bauart E: "Etoile" Gleichrichter auf-  
genommen.
- d) Tabelle 6, Anhaltswerte der äquivalenten Rohrrauheit  $k$ , wurde ohne Änderungen als Anhang aufgenommen.
- e)  $Re_{D, \max}$  wurde für Blenden von  $10^8$  auf  $Re_{D, \max} = \infty$  erweitert.
- f) Für die Expansionszahl sind jetzt Gleichungen für  $\varepsilon_1$  (stromaufwärts) und  $\varepsilon_2$  (stromabwärts) angegeben.
- g) Im Anhang A, Tabellen A.1 bis A.16 (Durchflußkoeffizienten und Expansionszahlen) wurden für geänderte Abstufun-  
gen zusätzliche Werte aufgenommen.
- h) Der Anhang D "Iterative Berechnungen" wurde neu in die Norm aufgenommen.

### Frühere Ausgaben

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

### Nationaler Anhang NA (informativ)

#### Literaturhinweise

DIN EN 24006

Durchflußmessung von Fluiden in geschlossenen Leitungen – Begriffe und Formelzeichen (ISO 4006 : 1991); Deutsche  
Fassung EN 24006 : 1993

### Internationale Patentklassifikation

G 01 F 001/44

ICS 17.120.10

Deskriptoren: Durchfluß von Fluiden, Durchfluß in geschlossenen Leitungen, Strömungsmessung, Blenden, Düsen, Venturirohre

**Deutsche Fassung**

**Durchflußmessung von Fluiden mit Drosselgeräten**

Teil 1: Blenden, Düsen und Venturirohre in voll durchströmten  
Leitungen mit Kreisquerschnitt  
(ISO 5167-1 : 1991)

Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices — Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full (ISO 5167-1 : 1991)

Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes — Partie 1: Diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi insérés dans des conduites en charge de section circulaire (ISO 5167-1 : 1991)

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 1995-08-31 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 Zentralsekretariat 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 Zentralsekretariat 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, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien und dem Vereinigten Königreich.

**CEN**

**EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG**

European Committee for Standardization

Comité Européen de Normalisation

**Zentralsekretariat: rue de Stassart 36, B-1050 Brüssel**

## Inhalt

|                                                                                                                                                 | Seite |                                                                                                                                                        | Seite |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>1 Anwendungsbereich</b> .....                                                                                                                | 3     | <b>8 Blenden</b> .....                                                                                                                                 | 14    |
| <b>2 Normative Verweisungen</b> .....                                                                                                           | 3     | 8.1 Beschreibung .....                                                                                                                                 | 14    |
| <b>3 Begriffe</b> .....                                                                                                                         | 3     | 8.2 Druckentnahmen .....                                                                                                                               | 15    |
| <b>4 Formelzeichen und Indizes</b> .....                                                                                                        | 5     | 8.3 Durchflußkoeffizienten von Blenden und<br>zugehörige Unsicherheiten .....                                                                          | 17    |
| 4.1 Formelzeichen .....                                                                                                                         | 5     | 8.4 Druckverlust $\Delta\bar{w}$ .....                                                                                                                 | 19    |
| 4.2 Indizes .....                                                                                                                               | 6     | <b>9 Düsen</b> .....                                                                                                                                   | 19    |
| <b>5 Meßprinzip und Berechnungsverfahren</b> .....                                                                                              | 6     | 9.1 ISA-1932-Düse .....                                                                                                                                | 19    |
| 5.1 Meßprinzip .....                                                                                                                            | 6     | 9.2 Langradius-Düsen .....                                                                                                                             | 21    |
| 5.2 Verfahren für die Bestimmung des<br>Durchmesserhältnisses für ein<br>ausgesuchtes genormtes Drosselgerät .....                              | 6     | <b>10 Venturirohre</b> .....                                                                                                                           | 22    |
| 5.3 Berechnung des Durchflusses .....                                                                                                           | 6     | 10.1 Klassische Venturirohre .....                                                                                                                     | 22    |
| 5.4 Bestimmung der Dichte .....                                                                                                                 | 6     | 10.2 Venturidüsen .....                                                                                                                                | 27    |
| <b>6 Allgemeine Anforderungen an die Messungen</b> ...                                                                                          | 7     | <b>11 Unsicherheiten der Durchflußmessung</b> .....                                                                                                    | 28    |
| 6.1 Drosselgerät .....                                                                                                                          | 7     | 11.1 Definition der Unsicherheit .....                                                                                                                 | 29    |
| 6.2 Art des Fluids .....                                                                                                                        | 7     | 11.2 Praktische Berechnung der Unsicherheit .....                                                                                                      | 29    |
| 6.3 Strömungszustände .....                                                                                                                     | 7     | <b>Anhang A</b> (informativ) Tabellen der Durchfluß-<br>koeffizienten und Expansionszahlen .....                                                       | 30    |
| <b>7 Anforderungen an den Einbau</b> .....                                                                                                      | 7     | <b>Anhang B</b> (informativ) Verwendung von klassischen<br>Venturirohren außerhalb des<br>Anwendungsbereiches dieses Teiles<br>von ISO 5167 .....      | 46    |
| 7.1 Allgemeines .....                                                                                                                           | 7     | <b>Anhang C</b> (informativ) Druckverlust in einem<br>klassischen Venturirohr .....                                                                    | 48    |
| 7.2 Erforderliche störungsfreie gerade Rohrstrecken<br>im Ein- und Auslauf zwischen verschiedenen<br>Einbaustörungen und dem Drosselgerät ..... | 8     | <b>Anhang D</b> (informativ) Iterative Berechnungen .....                                                                                              | 49    |
| 7.3 Strömungsgleichrichter .....                                                                                                                | 8     | <b>Anhang E</b> (informativ) Beispiele für Werte der<br>äquivalenten Rohrrauheit $k$ .....                                                             | 51    |
| 7.4 Allgemeine Anforderungen an die Strömungs-<br>verhältnisse am Drosselgerät .....                                                            | 12    | <b>Anhang ZA</b> (normativ) Normative Verweisungen<br>auf internationale Publikationen<br>mit ihren entsprechenden<br>europäischen Publikationen ..... | 51    |
| 7.5 Zusätzliche Anforderungen an den Einbau<br>von Blenden, Düsen und Venturidüsen .....                                                        | 12    |                                                                                                                                                        |       |
| 7.6 Zusätzliche Anforderungen an den Einbau<br>von klassischen Venturirohren .....                                                              | 14    |                                                                                                                                                        |       |

## Vorwort

Diese Europäische Norm wurde durch CEN von der Arbeit des Technischen Komitees ISO/TC 30, "Measurement of fluid flow inclosed conduits", der "International Standardization Organization" (ISO) übernommen.

Diese Europäische Norm muß den Status einer nationalen Norm erhalten; entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis März 1996, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 1996 zurückgezogen werden.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind folgende Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen:

Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien und das Vereinigte Königreich.

## Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm ISO 5167-1 : 1991 wurde von CEN als Europäische Norm ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

ANMERKUNG: Die normativen Verweisungen auf internationale Publikationen sind im Anhang ZA (normativ) aufgeführt.

## 1 Anwendungsbereich

In diesem Teil von ISO 5167 werden die Maße und die Anwendung (Einbau und Betriebsbedingungen) von Blenden, Düsen und Venturirohren, die in einer voll gefüllten Rohrleitung zur Bestimmung des Durchflusses eingebaut sind, beschrieben. Außerdem werden die Berechnungsgrundlagen für den Durchfluß und die damit verbundene Meßunsicherheit angegeben.

Die Norm gilt nur für Drosselgeräte, in denen die Strömung innerhalb der gesamten Meßstrecke im Unterschallbereich liegt, stationär ist oder sich nur langsam mit der Zeit ändert und in denen das Fluid einphasig ist. Zusätzlich kann jedes Gerät nur in festgelegten Grenzen für den Rohrdurchmesser und die Reynoldszahl benutzt werden. Daher gilt dieser Teil von ISO 5167 weder für Rohrdurchmesser, die kleiner als 50 mm oder größer als 1 200 mm sind, noch für Reynoldszahlen unter 3 150.

In dieser Norm werden nur Gerätearten behandelt, für die Kalibrierungen in genügender Anzahl und Genauigkeit vorliegen, so daß deren Resultate auf ähnliche Anordnungen innerhalb bestimmter Grenzen der Meßunsicherheit übertragbar sind.

Die Geräte, die in die Rohrleitung eingebaut werden, heißen "Drossel-" oder auch "Primärgeräte". Die Benennung Primärgeräte schließt die Druckentnahmen ein. Alle weiteren Geräte, die für die Messung erforderlich sind, heißen "Sekundärgeräte". In diesem Teil von ISO 5167 werden nur Drosselgeräte behandelt; Sekundärgeräte<sup>1)</sup> werden nur gelegentlich erwähnt.

Folgende Arten von Drosselgeräten werden in diesem Teil von ISO 5167 behandelt:

- a) Blenden, die mit Eck-Druckentnahmen,  $D$  und  $D/2$ -Druckentnahmen<sup>2)</sup> und mit Flansch-Druckentnahmen angewendet werden,
- b) ISA-1932-Düsen<sup>3)</sup> und Langradius-Düsen, die sich sowohl in der Form als auch in der Lage der Druckentnahmen voneinander unterscheiden,
- c) klassische Venturirohre<sup>4)</sup> und Venturidüsen, die sich sowohl in der Form als auch in der Lage der Druckentnahmen voneinander unterscheiden.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Normen enthalten Festlegungen, die durch Bezugnahme zum Bestandteil dieses Teiles von ISO 5167 werden. Die angegebenen Ausgaben sind die beim Erscheinen dieses Teiles von ISO 5167 gültigen. Da Normen von Zeit zu Zeit überarbeitet werden, wird dem Anwender dieser Norm empfohlen, immer auf die jeweils neueste Fassung der zitierten Norm zurückzugreifen. IEC- und ISO-Mitglieder haben Verzeichnisse der jeweils gültigen Ausgabe der Internationalen Normen.

|                 |                                                                                            |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| ISO 468 : 1982  | Surface roughness – Parameters, their values and general rules for specifying requirements |
| ISO 4006 : 1991 | Measurement of fluid flow in closed conduits – Vocabulary and symbols                      |
| ISO 5168-5)     | Measurement of fluid flow Evaluation of uncertainties                                      |

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Teiles von ISO 5167 gelten die Begriffe nach ISO 4006.

Definitionen werden in den folgenden Abschnitten nur für Begriffe gegeben, die in einem bestimmten Sinne gebraucht werden, oder bei denen es nützlich ist, ihre Bedeutung zu wiederholen.

## 3.1 Druckmessung

**3.1.1 Wand-Druckentnahme:** Bohrungen oder ringförmige Schlitze in der Leitungswand zur Wirkdruckentnahme, deren Kanten mit der Innenwand der Leitung bündig sind. Die Öffnung ist gewöhnlich kreisrund. In bestimmten Fällen kann sie aber auch ein ringförmiger Schlitz sein.

**3.1.2 Statischer Druck  $p$  eines Fluids, das durch eine gerade Rohrleitung fließt:** Druck, der durch Anschluß eines Druckmeßgerätes an eine Druckentnahme gemessen werden kann. In diesem Teil von ISO 5167 wird nur der absolute Druck benutzt.

**3.1.3 Wirkdruck  $\Delta p$ :** Differenz der (statischen) Drücke zwischen den Druckentnahmen im Einlauf und Auslauf eines Drosselgerätes (oder im Halsteil eines Venturirohres), das in eine gerade, durchströmte Rohrleitung eingebaut ist, wobei Höhenunterschiede zwischen den Druckentnahmen im Ein- und Auslauf berücksichtigt sind. In diesem Teil von ISO 5167 wird der Ausdruck "Wirkdruck" nur dann verwendet, wenn sich die Druckentnahmen an den Stellen befinden, die in der Norm für die verschiedenen Drosselgeräte vorgeschrieben sind.

**3.1.4 Druckverhältnis  $\tau$ :** Verhältnis des absoluten (statischen) Druckes an der Druckentnahme im Auslauf zu dem absoluten (statischen) Druck an der Druckentnahme im Einlauf.

## 3.2 Drosselgeräte

**3.2.1 Drosselöffnung:** Kleinster Öffnungsquerschnitt in einem Drosselgerät.

Genormte Drosselöffnungen sind kreisrund und coaxial zur Rohrachse.

**3.2.2 Blende:** Dünne Scheibe mit kreisförmiger Öffnung. Genormte Blenden sind dünne Scheiben mit scharfer rechtwinkliger Kante der Drosselöffnung. Ihre Dicke ist klein gegenüber dem Rohrdurchmesser, und die Einlaufkante der Drosselöffnung ist scharf und rechtwinklig.

**3.2.3 Düse:** Drosselgerät, bestehend aus einem sich verengenden Einlauf und einem anschließenden zylindrischen Teil, dem Halsteil.

**3.2.4 Venturirohr:** Drosselgerät, bestehend aus einem sich verengenden Einlauf, einem anschließenden zylindrischen Teil – allgemein Halsteil genannt – und dem "Diffusor", einem sich konisch erweiternden Auslauf.

Das Gerät wird "Venturidüse" genannt, wenn das sich verengende Einlaufteil eine ISA-1932-Düse ist. Ist das sich verengende Einlaufteil konisch, so wird das Gerät "klassisches Venturirohr" genannt.

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", dem Vorgänger der ISO vor 1946.

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

5) Z. Z. im Druck (Überarbeitung von ISO 5168 : 1978)

**3.2.5 Durchmesser Verhältnis  $\beta$  eines Drosselgerätes, eingebaut in einer gegebenen Rohrleitung:** Verhältnis des Durchmessers der Drosselöffnung zum Innendurchmesser der Rohrleitung im Einlauf zum Drosselgerät.

Hat das Drosselgerät einen Einlaufzylinder, dessen Durchmesser dem Rohrdurchmesser äquivalent ist (wie beim klassischen Venturirohr), dann ist das Durchmesser Verhältnis der Quotient aus dem Durchmesser der Drosselöffnung zum Durchmesser des Einlaufzylinders in der Ebene der Plus-Druckentnahmen.

### 3.3 Strömung

**3.3.1 Durchfluß durch ein Primärgerät  $q$ :** Masse oder Volumen eines Fluids, das eine Drosselöffnung (oder ein Halsteil) durchströmt, dividiert durch die Zeit. In allen Fällen muß angegeben werden, ob es sich um den Massendurchfluß  $q_m$  (Masse, dividiert durch die Zeit) oder um den Volumendurchfluß  $q_v$  (Volumen, dividiert durch die Zeit) handelt.

**3.3.2 Reynoldszahl  $Re$ :** Kenngröße der Dimension 1, die das Verhältnis zwischen Trägheits- und Viskositätskräften ausdrückt.

Die Reynoldszahl dieses Teiles von ISO 5167 bezieht sich

- entweder auf die Bedingungen des Fluids und den Rohrdurchmesser stromaufwärts vom Drosselgerät, d. h.

$$Re_D = \frac{U_1 D}{\nu_1} = \frac{4 q_m}{\pi \mu_1 D}$$

- oder auf die Drosselöffnung, d. h.

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

**3.3.3 Isentropenexponent  $\kappa$ :** Verhältnis der relativen Druckschwankungen zu entsprechenden relativen Schwankungen der Dichte unter elementaren, umkehrbar adiabatischen (isentropischen) Umwandlungsbedingungen.

Der Isentropenexponent  $\kappa$  erscheint in den verschiedenen Gleichungen für die Expansionszahl  $\varepsilon$  und hängt von der Art des Gases, dessen Temperatur und Druck ab.

Für viele Gase und Dämpfe sind bis jetzt noch keine  $\kappa$ -Werte veröffentlicht worden. In diesen Fällen kann bei der Anwendung dieses Teiles von ISO 5167 statt des Isentropenexponenten das Verhältnis der spezifischen Wärmen idealer Gase zur Berechnung des Durchflusses benutzt werden.

**3.3.4 Durchflußkoeffizient  $C$ :** Kenngröße, die für ein inkompressibles Fluid den Zusammenhang zwischen dem tatsächlichen und dem theoretischen Durchfluß durch das Meßgerät darstellt und durch folgende Gleichung definiert wird:

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

Kalibrierung von genormten Drosselgeräten mit inkompressiblen Fluiden (Flüssigkeiten) zeigen, daß der Durchflußkoeffizient für ein bestimmtes Drosselgerät bei bestimmten Einbauverhältnissen nur von der Reynoldszahl abhängt.

Der Durchflußkoeffizient  $C$  hat für verschiedene Einbauverhältnisse den gleichen Zahlenwert, wenn diese geometrisch ähnlich sind und die Strömungen die gleiche Reynoldszahl aufweisen.

Die Gleichungen für die Zahlenwerte von  $C$  in diesem Teil von ISO 5167 beruhen auf experimentell ermittelten Werten.

ANMERKUNG 1: Die Größe  $1/\sqrt{1 - \beta^4}$  wird "Vorgeschwindigkeitsfaktor" und das Produkt

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

"Durchflußzahl" genannt.

**3.3.5 Expansionszahl  $\varepsilon$ :** Kenngröße, die die Kompressibilität des Fluids berücksichtigt. Sie wird durch folgende Gleichung definiert:

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

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

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

sowohl von der Reynoldszahl als auch vom relativen Wirkdruck und dem Isentropenexponenten des Gases abhängt.

Die Abhängigkeit wird dadurch dargestellt, daß der Durchflußkoeffizient  $C$  des betrachteten Drosselgerätes, wie er sich bei der direkten Kalibrierung mit einer Flüssigkeit bei gleicher Reynoldszahl ergibt, mit der Expansionszahl  $\varepsilon$  multipliziert wird.

Die Expansionszahl  $\varepsilon$  ist gleich eins, wenn das Fluid inkompressibel ist und kleiner als eins, wenn es kompressibel ist.

Die Gültigkeit des Verfahrens ist durch Versuche bestätigt die zeigen, daß die Expansionszahl  $\varepsilon$  praktisch von der Reynoldszahl unabhängig ist und für ein gegebenes Durchmesser Verhältnis und Drosselgerät nur vom relativen Wirkdruck und vom Isentropenexponenten abhängt.

Die Zahlenwerte von  $\varepsilon$ , die für Blenden in diesem Teil von ISO 5167 angegeben werden, sind experimentell ermittelt worden. Für Düsen und Venturirohre basieren sie auf allgemeinen thermodynamischen Energiegleichungen.

**3.3.6 Arithmetischer Mittenrauhwert  $R_a$ :** Arithmetischer Mittelwert der absoluten Beträge der Abstände des Rauheitsprofils von der mittleren Linie innerhalb der Rauheitsmeßstrecke. Letztere ist so definiert, daß die Summe der Quadrate der Abstände der Oberfläche von der Mittellinie ein Minimum ist.  $R_a$  kann für bearbeitete Oberflächen mit genormten Einrichtungen gemessen, für raue Rohre aber nur geschätzt werden (siehe auch ISO 468).

Für Rohre wird die äquivalente Rohrrauheit  $k$  benutzt. Sie kann experimentell bestimmt (siehe 8.3.1) oder aus Tabellen (siehe Anhang E) entnommen werden.

## 4 Formelzeichen und Indizes

### 4.1 Formelzeichen

| Formelzeichen    | Größe                                                                                                                                | Dimension 1)     | SI-Einheit        |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|
| $C$              | Durchflußkoeffizient                                                                                                                 | 1                | —                 |
| $d$              | Durchmesser der Drosselöffnung unter Betriebsbedingungen                                                                             | L                | m                 |
| $D$              | Innerer Rohrdurchmesser stromaufwärts (bzw. Durchmesser des Einlaufzylinders beim klassischen Venturirohr) unter Betriebsbedingungen | L                | m                 |
| $e$              | Relative Unsicherheit                                                                                                                | 1                | —                 |
| $k$              | Äquivalente Rohrrauheit                                                                                                              | L                | m                 |
| $l$              | Abstand der Druckentnahme vom Drosselgerät                                                                                           | L                | m                 |
| $L$              | Relativer Abstand der Druckentnahme vom Drosselgerät<br>$L = \frac{l}{D}$                                                            | 1                | —                 |
| $p$              | Absoluter statischer Druck des Fluids                                                                                                | $ML^{-1} T^{-2}$ | Pa                |
| $q_m$            | Massendurchfluß                                                                                                                      | $MT^{-1}$        | kg/s              |
| $q_V$            | Volumendurchfluß                                                                                                                     | $L^3 T^{-1}$     | m <sup>3</sup> /s |
| $R$              | Radius                                                                                                                               | L                | m                 |
| $R_a$            | Arithmetischer Mittenrauhwert                                                                                                        | L                | m                 |
| $Re$             | Reynoldszahl                                                                                                                         | 1                | —                 |
| $Re_D$           | Reynoldszahl, bezogen auf $D$                                                                                                        | 1                | —                 |
| $Re_d$           | Reynoldszahl, bezogen auf $d$                                                                                                        | 1                | —                 |
| $t$              | Temperatur des Fluids                                                                                                                | $\theta$         | °C                |
| $U$              | Mittlere axiale Geschwindigkeit des Fluids in der Rohrleitung                                                                        | $LT^{-1}$        | m/s               |
| $\beta$          | Durchmesserverhältnis<br>$\beta = \frac{d}{D}$                                                                                       | 1                | —                 |
| $\gamma$         | Verhältnis der spezifischen Wärmen 2)                                                                                                | 1                | —                 |
| $\delta$         | Absolute Unsicherheit                                                                                                                | 3)               | 3)                |
| $\Delta p$       | Wirkdruck                                                                                                                            | $ML^{-1} T^{-2}$ | Pa                |
| $\Delta \bar{w}$ | Druckverlust                                                                                                                         | $ML^{-1} T^{-2}$ | Pa                |
| $\varepsilon$    | Expansionszahl                                                                                                                       | 1                | —                 |
| $\kappa$         | Isentropenexponent 2)                                                                                                                | 1                | —                 |
| $\mu$            | Dynamische Viskosität des Fluids                                                                                                     | $ML^{-1} T^{-2}$ | Pa · s            |
| $\nu$            | Kinematische Viskosität des Fluids<br>$\nu = \frac{\mu}{\rho}$                                                                       | $L^2 T^{-1}$     | m <sup>2</sup> /s |
| $\xi$            | Relativer Druckverlust                                                                                                               | 1                | —                 |
| $\rho$           | Dichte des Fluids                                                                                                                    | $ML^{-3}$        | kg/m <sup>3</sup> |
| $\tau$           | Druckverhältnis<br>$\tau = \frac{p_2}{p_1}$                                                                                          | 1                | —                 |
| $\varphi$        | Gesamtwinkel des Diffusors                                                                                                           | 1                | rad               |

1)  $M$  = Masse,  $L$  = Länge,  $T$  = Zeit,  $\theta$  = Temperatur

2)  $\gamma$  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 den Isentropenexponenten gleich groß (siehe 3.3.3). Diese Werte hängen von der Zusammensetzung des Gases ab.

3) Die Dimensionen und Einheiten sind gleich der zugehörigen Größe.

## 4.2 Indizes

| Indizes | Bedeutung     |
|---------|---------------|
| 1       | Stromaufwärts |
| 2       | Stromabwärts  |

## 5 Meßprinzip und Berechnungsverfahren

### 5.1 Meßprinzip

Das Meßprinzip beruht auf dem Einbau eines Drosselgerätes (z. B. eine Blende, eine Düse oder ein Venturirohr) in eine voll durchströmte Rohrleitung. Der Einbau des Drosselgerätes erzeugt eine Differenz der statischen Drücke zwischen dem Einlauf und dem Drosselquerschnitt bzw. dem Auslauf. Der Durchfluß kann aus dem gemessenen Wirkdruck, aus den Stoffwerten des Fluids und aus den Betriebsbedingungen bestimmt werden. Dabei wird vorausgesetzt, daß dieses Drosselgerät einem unter gleichen Betriebsbedingungen kalibrierten Gerät geometrisch ähnlich ist, d. h., daß es mit diesem Teil von ISO 5167 übereinstimmt. Der Massendurchfluß, bezogen auf den Wirkdruck, wird innerhalb der in diesem Teil von ISO 5167 festgelegten Grenzen für die Unsicherheit durch eine der folgenden Gleichungen bestimmt:

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon_1 \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p q_1} \quad (1)$$

oder

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon_2 \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p q_2} \quad (2)$$

wobei  $q_2$  und  $\varepsilon_2$  auf die Bedingungen stromabwärts bezogen sind.

Dabei ist zu beachten, daß

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \sqrt{1 + \frac{\Delta p}{p_2}} \text{ ist.}$$

Entsprechend kann der Volumendurchfluß aus

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} \quad (3)$$

berechnet werden, hierin ist  $\rho$  die Dichte des Fluids bei der Temperatur und dem Druck, auf die das Volumen bezogen wird.

### 5.2 Verfahren für die Bestimmung des Durchmesser-Verhältnisses für ein ausgesuchtes genormtes Drosselgerät

Ist in der Praxis das Durchmesser-Verhältnis eines Drosselgerätes zu bestimmen, das in eine gegebene Rohrleitung einzubauen ist, dann sind  $C$  und  $\varepsilon$ , die in die Grundgleichungen (1) und (2) eingehen, im allgemeinen nicht bekannt. Daher müssen zunächst

- die Art des zu verwendenden Drosselgerätes und
- ein numerischer Wert für den Durchfluß und für den dazugehörigen Wirkdruck

festgelegt werden.

Die zusammengehörigen Werte  $q_m$  und  $\Delta p$  müssen dann in die Grundgleichung der Form

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

eingesetzt werden. Darin können  $\rho$  und  $\varepsilon$  entweder für die Bedingungen stromaufwärts oder stromabwärts eingesetzt

werden ( $q_1$  und  $\varepsilon_1$  oder  $q_2$  und  $\varepsilon_2$ ), wobei das Durchmesser-Verhältnis durch Iteration bestimmt werden kann (siehe Anhang D).

### 5.3 Berechnung des Durchflusses

Die Tabellen A.1 bis A.16 dienen der praktischen Handhabung: Tabellen A.1 bis A.13 enthalten die Werte von  $C$  als Funktion von  $\beta$ ,  $Re_D$  und  $D$  für Blenden und Düsen, die Tabellen A.14 und A.15 enthalten für Blenden, Düsen und Venturirohre die Expansionszahlen  $\varepsilon_1$ , und aus Tabelle A.16 sind die Werte des Durchflußkoeffizienten der Venturidüse zu entnehmen. Diese Angaben sind nicht für eine genaue Interpolation gedacht. Extrapolationen sind nicht zulässig. Die Berechnung des Durchflusses als reiner arithmetischer Vorgang ist aus den Grundgleichungen (1) oder (2) zu bestimmen.

ANMERKUNG 2: Ausgenommen für den Fall des Venturirohres kann  $C$  von der Reynoldszahl  $Re$  abhängen, die wiederum eine Funktion von  $q_m$  ist. In diesem Fall wird der endgültige Wert von  $C$ , und damit von  $q_m$ , durch Iteration ermittelt. Der Anhang D stellt einen Leitfaden zur Auswahl des Iterationsverfahrens und der ersten Annahmen dar.

ANMERKUNG 3:  $\Delta p$  entspricht dem in 3.1.3 definierten Wirkdruck.

ANMERKUNG 4: Die Durchmesser  $d$  und  $D$  in den Gleichungen sind Durchmesserwerte unter Betriebsbedingungen. Messungen, die unter anderen Bedingungen durchgeführt werden, sollten jede mögliche Ausdehnung des Drosselgerätes und der Rohrleitung mit der Temperatur und dem Druck des Fluids während der Messung berücksichtigen und korrigieren.

ANMERKUNG 5: Für die Messung muß die Dichte und die Viskosität des Fluids bei Betriebsbedingungen bekannt sein.

### 5.4 Bestimmung der Dichte

Die Dichte des Fluids in der Ebene der Plus-Druckentnahme oder in der Ebene der Minus-Druckentnahme muß bekannt sein. Sie kann entweder direkt gemessen oder aus dem Druck, der Temperatur und den charakteristischen Eigenschaften des Fluids in dieser Ebene berechnet werden. Die Meßergebnisse an der Plus-Druckentnahme ergeben besonders folgerichtige Ergebnisse.

5.4.1 Der statische Druck des Fluids muß in der Ebene der Minus-Druckentnahme oder Plus-Druckentnahme entweder mit einer Einzelanbohrung in der Rohrwand (wie in 8.2.1 beschrieben) oder mit einer Druckentnahme in einem Fassungsring gemessen werden (siehe Bild 6).

5.4.1.1 Die Entnahme des statischen Druckes sollte vorzugsweise getrennt von den Druckentnahmen des Wirkdruckes erfolgen, es sei denn, der Plus- und Minusdruck werden getrennt gemessen.

Es dürfen jedoch an der Druckentnahme gleichzeitig ein Meßgerät für den Differenzdruck und ein Meßgerät für den statischen Druck angeschlossen werden, wenn dadurch mit Sicherheit keine Verfälschung des Wirkdruckes eintritt.

5.4.1.2 Der statische Druck, der für die nachfolgenden Berechnungen benutzt wird, ist auf das Niveau der Mitte des Meßquerschnittes zu beziehen. Dieser Druck kann sich von dem an der Wand unterscheiden.

5.4.2 Die Temperatur des Fluids sollte möglichst stromabwärts vom Drosselgerät gemessen werden. Die Thermometertasche muß so dünn wie möglich sein. Der Abstand zwischen ihr und dem Drosselgerät muß mindestens  $5D$  (für das Fluid Gas höchstens  $15D$ ) betragen, wenn sie strom-

abwärts angeordnet ist. Der Abstand muß mit den Werten der Tabelle 1, Spalten 10 und 11, übereinstimmen, wenn die Thermometertasche stromaufwärts angeordnet ist.

Innerhalb der Anwendungsgrenzen dieses Teiles von ISO 5167 wird im allgemeinen angenommen, daß die Temperaturen an den Druckentnahmen stromaufwärts und stromabwärts gleich sind.

Ist das zu messende Fluid ein Gas, so kann seine Temperatur stromaufwärts aus dem stromabwärts gemessenen Wert (im Abstand von  $5D$  bis  $15D$  nach dem Drosselgerät) bestimmt werden.

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

**5.4.4** Die Temperatur des Drosselgerätes und die des Fluids im Einlauf zum Drosselgerät können als gleich angesehen werden (siehe 7.1.9).

## 6 Allgemeine Anforderungen an die Messungen

Um die Bedingungen dieses Teiles von ISO 5167 einzuhalten, müssen die nachstehenden Anforderungen eingehalten werden.

### 6.1 Drosselgerät

**6.1.1** Das Drosselgerät muß entsprechend diesem Teil von ISO 5167 hergestellt, eingebaut und angewendet werden.

Entsprechen Herstellung und Anwendung der Drosselgeräte nicht den Gültigkeitsgrenzen dieses Teiles von ISO 5167, so ist eine Kalibrierung des Drosselgerätes unter den tatsächlichen Betriebsbedingungen erforderlich.

**6.1.2** Die Beschaffenheit des Drosselgerätes soll nach jeder Messung oder nach jeder Serie von Messungen oder in hinreichend kurzen Zeitintervallen überprüft werden, um eine Übereinstimmung mit diesem Teil von ISO 5167 sicherzustellen.

Zu beachten ist, daß auch anscheinend neutrale Fluide Ablagerungen oder Verkrustungen auf dem Drosselgerät hervorrufen können. Die dadurch verursachten Änderungen des Durchflukoeffizienten können mit der Zeit zu Werten für die Unsicherheit führen, die außerhalb der Angaben dieses Teiles von ISO 5167 liegen.

**6.1.3** Das Drosselgerät muß aus einem Werkstoff bestehen, dessen Ausdehnungskoeffizient bekannt ist, es sei denn, daß Änderungen der Maße durch Temperaturänderungen des zu messenden Fluids vernachlässigbar sind.

### 6.2 Art des Fluids

**6.2.1** Das Fluid darf entweder kompressibel (Gas) oder inkompressibel (Flüssigkeit) sein.

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

**6.2.3** Um die Messung durchführen zu können, müssen die Dichte und die Viskosität des Fluids im Betriebszustand bekannt sein.

### 6.3 Strömungszustände

**6.3.1** Der Durchfluß muß konstant sein oder sich nur sehr langsam mit der Zeit ändern. Dieser Teil von ISO 5167 behandelt nicht die Messung pulsierender Strömung nach ISO/TR 3313<sup>6)</sup>.

**6.3.2** Die in diesem Teil von ISO 5167 festgelegten Unsicherheiten sind nur gültig, wenn die Strömung des Fluids durch das Drosselgerät keine Änderung der Phase hervorruft. Die Erweiterung der Bohrung oder des Halsteils eines Drosselgerätes führt zur Reduzierung des Wirkdruckes und verhindert damit eine Phasenänderung. Zur Bestimmung, ob eine Phasenänderung eintritt, muß bei Flüssigkeiten eine isotherme und bei Gasen eine isentrope Expansion angenommen werden.

**6.3.3** Bei Gasen muß das Druckverhältnis, wie in 3.1.4 angegeben, gleich oder größer als 0,75 sein.

## 7 Anforderungen an den Einbau

### 7.1 Allgemeines

**7.1.1** Das Meßverfahren ist nur auf Fluide anwendbar, die durch eine Rohrleitung mit Kreisquerschnitt strömen.

**7.1.2** Die Rohrleitung muß im Bereich der Meßstrecke voll durchströmt werden.

**7.1.3** Das Drosselgerät muß an einer Stelle der Rohrleitung eingebaut sein, an der die Strömung im Einlauf ein hinreichend voll ausgebildetes Geschwindigkeitsprofil aufweist und frei von Drall ist (siehe 7.4). Diese Strömungsverhältnisse liegen vor, wenn der Einbau den Anforderungen dieses Abschnittes entspricht.

**7.1.4** Das Drosselgerät muß zwischen zwei geraden zylindrischen Rohrstrecken eingebaut sein, in denen sich keine Hindernisse oder Rohrabzweigungen (einerlei, ob diese Abzweigungen während der Messung durchströmt werden oder nicht) – außer den in diesem Teil von ISO 5167 spezifizierten – befinden.

Die Rohrstrecken gelten als gerade, wenn dies durch bloßen Augenschein festgestellt wird. Die erforderlichen geraden Rohrstrecken hängen von der Art der Einbaustörung, von der Art des Drosselgerätes und vom Durchmesser Verhältnis ab. Sie sind in den Tabellen 1 und 2 angegeben.

**7.1.5** Der Querschnitt des Rohres muß längs der erforderlichen geraden Rohrstrecke kreisrund sein. Der Querschnitt gilt als kreisrund, wenn dies durch bloßen Augenschein festgestellt wird. Hierzu genügt die Beurteilung der Rundheit der Außenseite des Rohres. Abgesehen vom Bereich in unmittelbarer Nähe des Drosselgerätes, in dem – je nach Art des Drosselgerätes besondere Anforderungen gelten (siehe 7.5.1 und 7.6.1).

Längsnahtgeschweißte Rohre dürfen dann benutzt werden, wenn sichergestellt ist, daß die innere Schweißnaht auf der gesamten Länge des Rohres parallel zur Rohrachse liegt und den speziellen Anforderungen des verwendeten Drosselgerätes entspricht. Die Längsnaht darf nicht innerhalb eines Sektors von  $\pm 30^\circ$  – bezogen auf die Mitte einer Druckentnahme – liegen.

**7.1.6** Der innere Durchmesser  $D$  der Rohrstrecke muß innerhalb der für die betroffene Drosselgeräteart angegebenen Grenzwerte liegen.

**7.1.7** Die Innenwand der Rohrstrecke muß auf einer Länge von  $10D$  vor und  $4D$  hinter dem Drosselgerät sauber, frei von Narben, Ablagerungen oder Verkrustungen sein.

**7.1.8** Die Rohrstrecke darf Entleerungsbohrungen und/oder Entlüftungsbohrungen zur Beseitigung von festen Ablagerungen und Fluiden haben, die nicht dem zu messenden Fluid entsprechen. Während der Durchflußmessung müssen diese Bohrungen verschlossen sein.

<sup>6)</sup> ISO/TR 3313: 1974 Messung von pulsierenden Strömen in einem Rohr mit Blenden, Düsen und Venturirohren insbesondere bei sinusförmigem oder bei periodisch intermittierendem rechteckigen Schwingungsverlauf.

Die Entleerungs- und Entlüftungsbohrungen dürfen nicht in der Nähe der Drosselgeräte angeordnet sein, mit Ausnahme von solchen Fällen, wo dies unvermeidlich ist. In diesen Fällen muß der Durchmesser der Bohrung kleiner sein als  $0,08 D$  mit einem geraden Abstand von diesen Bohrungen zu der auf der gleichen Seite des Drosselgerätes angeordneten Druckentnahme, der immer größer sein muß als  $0,5 D$ . Die Entleerungs- und Entlüftungsbohrungen müssen gegenüber den Mittelachsen der Rohrstrecke bzw. gegenüber der Mittellinie einer Druckentnahme um mindestens  $30^\circ$  versetzt angeordnet sein.

**7.1.9** Die Rohrleitung und die Flansche müssen wenigstens über die gesamte erforderliche gerade Rohrstrecke thermisch isoliert sein. Eine Isolierung ist nicht erforderlich, wenn die Temperaturdifferenz des Fluids über diese Rohrstrecke einen durch die geforderte Genauigkeit festgelegten Grenzwert nicht überschreitet.

## **7.2 Erforderliche störungsfreie gerade Rohrstrecken im Ein- und Auslauf zwischen verschiedenen Einbaustörungen und dem Drosselgerät**

**7.2.1** Die erforderlichen geraden Rohrstrecken sind in den Tabellen 1 und 2 angegeben.

Die Gründe, weshalb die erforderlichen geraden Rohrstrecken beim klassischen Venturirohr kürzer sind als die in Tabelle 2 für Blenden, Düsen und Venturidüsen angegebenen, liegen u. a. darin, daß

- a) sie aus verschiedenen Versuchen nach unterschiedlichen Auswertekriterien ermittelt worden sind;
- b) der sich verengende Teil des klassischen Venturirohres in der Drosselöffnung des Drosselgerätes ein gleichmäßigeres Geschwindigkeitsprofil erzeugt. Untersuchungen haben gezeigt, daß bei gleichen Durchmesserhältnissen die erforderlichen geraden Rohrstrecken stromaufwärts des klassischen Venturirohres kürzer sein können als die für die Blenden, Düsen und Venturidüsen geforderten Längen.

**7.2.2** Die geraden Rohrstrecken nach den Tabellen 1 und 2 sind Mindestwerte. Die Verwendung größerer Längen ist immer empfehlenswert. Besonders bei Forschungsarbeiten wird empfohlen, die Werte der Tabellen 1 und 2 für "0 %-Zusatzunsicherheit" <sup>7)</sup> zu verdoppeln.

**7.2.3** Entsprechen die geraden Rohrlängen den Werten in den Tabellen 1 und 2 für "0 %-Zusatzunsicherheit" <sup>7)</sup> oder sie sind länger, dann gelten für diese Einbauverhältnisse die Unsicherheiten der Durchflußkoeffizienten ohne Zuschläge.

**7.2.4** Sind die geraden Rohrstrecken im Ein- oder Auslauf kürzer als die angegebenen Werte für "0 %-Zusatzunsicherheit" <sup>7)</sup>, jedoch gleich oder größer als die angegebenen Werte für "0,5 %-Zusatzunsicherheit" <sup>8)</sup>, so ist eine Zusatzunsicherheit im Betrag von 0,5 % arithmetisch zur Unsicherheit des Durchflußkoeffizienten zu addieren.

**7.2.5** Sind die geraden Rohrstrecken kürzer als die angegebenen Werte für "0,5 %-Zusatzunsicherheit" <sup>8)</sup> nach den Tabellen 1 und 2, so enthält dieser Teil von ISO 5167 keine Information über Angaben, welche zusätzlichen Unsicherheiten zu berücksichtigen sind. Dies gilt auch für den Fall, daß die geraden Rohrstrecken im Einlauf und Auslauf kürzer als die für "0 %-Zusatzunsicherheit" <sup>7)</sup> sind.

**7.2.6** Die in den Tabellen 1 und 2 erwähnten Absperrarmaturen müssen voll geöffnet sein. Stellglieder zur Durchflußbeeinflussung sind möglichst hinter dem Drosselgerät einzubauen. Einzelstehende Absperrarmaturen, die vor dem Drosselgerät angeordnet sind, müssen voll geöffnet und möglichst Schieber sein.

**7.2.7** Hinter einer einfachen Strömungsumlenkung (Krümmer, T-Stück) sollen Einzel-Druckentnahmen möglichst senkrecht zur Krümmerebene bzw. zur Ebene des T-Stückes angeordnet sein.

**7.2.8** Die in den Tabellen 1 und 2 angegebenen Werte wurden experimentell mit einer sehr langen geraden Rohrstrecke vor der jeweiligen Einbaustörung ermittelt, so daß davor ein genügend ausgebildetes drallfreies Geschwindigkeitsprofil angenommen werden durfte. Gewöhnlich gibt es solche Verhältnisse nicht. Die folgenden Bemerkungen können als Hinweis für den üblichen Einbau dienen.

a) Ist das Drosselgerät in einer Leitung eingebaut, die aus einem Großraum entweder direkt oder über eine Einbaustörung kommt, so darf die Gesamtlänge der Rohrleitung vom Großraum bis zum Drosselgerät nicht kürzer als  $30 D$  <sup>9)</sup> sein. Ist eine Einbaustörung vorhanden, so müssen außerdem zwischen ihr und dem Drosselgerät die geraden Rohrstrecken nach den Tabellen 1 oder 2 eingehalten sein.

b) Falls mehrere Einbaustörungen — keine  $90^\circ$ -Krümmer <sup>10)</sup> — in Reihe vor dem Drosselgerät angeordnet sind, muß die folgende Regel angewendet werden: Zwischen der Einbaustörung (1), die dem Drosselgerät am nächsten liegt und dem Drosselgerät muß mindestens die gerade Rohrstrecke, die für das tatsächliche Durchmesser Verhältnis  $\beta$  für diese Einbaustörung (1) in den Tabellen 1 oder 2 angegeben ist, vorhanden sein. Zusätzlich muß jedoch zwischen dieser Einbaustörung (1) und der nächsten vorangehenden Einbaustörung (2) eine gerade Rohrstrecke von mindestens der halben Länge vorhanden sein, die sich nach den Tabellen 1 oder 2 für die Einbaustörung (2) bei einem Durchmesser Verhältnis  $\beta = 0,7$  ergibt, und zwar unabhängig vom tatsächlichen Durchmesser Verhältnis  $\beta$ . Diese Anforderung gilt nicht, wenn die Einbaustörung (2) eine abrupte symmetrische Durchmesser Verringerung ist, dieser Fall ist durch a) abgedeckt.

Falls eine der geraden Rohrstrecken einem eingeklammerten Wert entspricht, so muß eine "0,5 %-Zusatzunsicherheit" zur Unsicherheit des Durchflußkoeffizienten addiert werden.

## **7.3 Strömungsgleichrichter**

Der Einsatz von Strömungsgleichrichtern mit Bauarten nach 7.3.2 und den Bildern 1 bis 3 wird empfohlen, um Drosselgeräte hinter Störungen einbauen zu können, die nicht in den Tabellen 1 oder 2 angegeben sind. Bei großen Öffnungsverhältnissen ermöglicht der Einsatz eines Strömungsgleichrichters unter Umständen eine Verkürzung der in Tabelle 1 angegebenen geraden Rohrstrecke vor dem Drosselgerät.

Die Verwendung eines Strömungsgleichrichters nach 7.3.1 bedingt keine zusätzliche Unsicherheit für den Durchflußkoeffizienten.

### **7.3.1 Einbau**

Alle Strömungsgleichrichter müssen auf der Einlaufseite in der geraden Rohrstrecke zwischen dem Drosselgerät und der dem Drosselgerät am nächsten liegenden Einbaustörung eingebaut werden. Die gerade Rohrstrecke zwischen Störung und Strömungsgleichrichter muß mindestens  $20 D$ ,

<sup>7)</sup> Nicht eingeklammerte Werte in den Tabellen 1 und 2.

<sup>8)</sup> Eingeklammerte Werte in den Tabellen 1 und 2.

<sup>9)</sup> Da es für das klassische Venturirohr keine Versuchsergebnisse gibt, werden hierfür die Anforderungen für Blenden und Düsen übernommen.

<sup>10)</sup> Im Fall mehrerer  $90^\circ$ -Krümmer ist ein Bezug auf die Tabellen 1 und 2 möglich, unabhängig von dem Abstand zweier aufeinanderfolgender Krümmer.

Tabelle 1: Erforderliche störungsfreie gerade Rohrstrecken für Blenden, Düsen und Venturidüsen

Werte, angegeben als ein Vielfaches von  $D$ 

| Durch-<br>messer-<br>verhältnis<br>$\beta$                                                                                                                                                                                                                                  | Einlaufseite des Drosselgerätes                                                  |                                                                    |                                                                        |                                                                                  |                                                                             |                            |                              |                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                | Auslaufseite<br>des<br>Drossel-<br>gerätes |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--|
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | Einfacher<br>90°-Krümmer<br>oder T-Stück<br>(Strömung<br>nur von<br>einer Seite) | Zwei oder<br>mehrere<br>90°-Krümmer<br>in der<br>gleichen<br>Ebene | Zwei oder<br>mehrere<br>90°-Krümmer<br>in ver-<br>schiedenen<br>Ebenen | Reduzierstück<br>von<br>$2D$ zu $D$<br>über eine<br>Länge von<br>$1,5D$ bis $3D$ | Diffusor<br>von<br>$0,5D$ bis $D$<br>über eine<br>Länge von<br>$D$ bis $2D$ | Ventil<br>voll<br>geöffnet | Schieber<br>voll<br>geöffnet | Abrupte<br>symmetrische<br>Durchmesser-<br>Verringerung<br>mit einem<br>Durchmesser-<br>verhältnis<br>$\geq 0,5$ | Thermometer-<br>schutzrohr*)<br>mit einem<br>Durchmesser<br>$\leq 0,03D$ | Thermometer-<br>schutzrohr*)<br>mit einem<br>Durchmesser<br>zwischen<br>$0,03D$ und<br>$0,13D$ | Armaturen<br>(Spalten<br>2 bis 8)          |  |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                           | 2                                                                                | 3                                                                  | 4                                                                      | 5                                                                                | 6                                                                           | 7                          | 8                            | 9                                                                                                                | 10                                                                       | 11                                                                                             | 12                                         |  |
| 0,20                                                                                                                                                                                                                                                                        | 10 (6)                                                                           | 14 (7)                                                             | 34 (17)                                                                | 5                                                                                | 16 (8)                                                                      | 18 (9)                     | 12 (6)                       | 30 (15)                                                                                                          | 5 (3)                                                                    | 20 (10)                                                                                        | 4 (2)                                      |  |
| 0,25                                                                                                                                                                                                                                                                        | 10 (6)                                                                           | 14 (7)                                                             | 34 (17)                                                                | 5                                                                                | 16 (8)                                                                      | 18 (9)                     | 12 (6)                       |                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                | 4 (2)                                      |  |
| 0,30                                                                                                                                                                                                                                                                        | 10 (6)                                                                           | 16 (8)                                                             | 34 (17)                                                                | 5                                                                                | 16 (8)                                                                      | 18 (9)                     | 12 (6)                       |                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                | 5 (2,5)                                    |  |
| 0,35                                                                                                                                                                                                                                                                        | 12 (6)                                                                           | 16 (8)                                                             | 36 (18)                                                                | 5                                                                                | 16 (8)                                                                      | 18 (9)                     | 12 (6)                       |                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                | 5 (2,5)                                    |  |
| 0,40                                                                                                                                                                                                                                                                        | 14 (7)                                                                           | 18 (9)                                                             | 36 (18)                                                                | 5                                                                                | 16 (8)                                                                      | 20 (10)                    | 12 (6)                       |                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                | 6 (3)                                      |  |
| 0,45                                                                                                                                                                                                                                                                        | 14 (7)                                                                           | 18 (9)                                                             | 38 (19)                                                                | 5                                                                                | 17 (9)                                                                      | 20 (10)                    | 12 (6)                       | 30 (15)                                                                                                          | 5 (3)                                                                    | 20 (10)                                                                                        | 6 (3)                                      |  |
| 0,50                                                                                                                                                                                                                                                                        | 14 (7)                                                                           | 20 (10)                                                            | 40 (20)                                                                | 6 (5)                                                                            | 18 (9)                                                                      | 22 (11)                    | 12 (6)                       |                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                | 6 (3)                                      |  |
| 0,55                                                                                                                                                                                                                                                                        | 16 (8)                                                                           | 22 (11)                                                            | 44 (22)                                                                | 8 (5)                                                                            | 20 (10)                                                                     | 24 (12)                    | 14 (7)                       |                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                | 6 (3)                                      |  |
| 0,60                                                                                                                                                                                                                                                                        | 18 (9)                                                                           | 26 (13)                                                            | 48 (24)                                                                | 9 (5)                                                                            | 22 (11)                                                                     | 26 (13)                    | 14 (7)                       |                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                | 7 (3,5)                                    |  |
| 0,65                                                                                                                                                                                                                                                                        | 22 (11)                                                                          | 32 (16)                                                            | 54 (27)                                                                | 11 (6)                                                                           | 25 (13)                                                                     | 28 (14)                    | 16 (8)                       | 30 (15)                                                                                                          | 5 (3)                                                                    | 20 (10)                                                                                        | 7 (3,5)                                    |  |
| 0,70                                                                                                                                                                                                                                                                        | 28 (14)                                                                          | 36 (18)                                                            | 62 (31)                                                                | 14 (7)                                                                           | 30 (15)                                                                     | 32 (16)                    | 20 (10)                      |                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                | 7 (3,5)                                    |  |
| 0,75                                                                                                                                                                                                                                                                        | 36 (18)                                                                          | 42 (21)                                                            | 70 (35)                                                                | 22 (11)                                                                          | 38 (19)                                                                     | 36 (18)                    | 24 (12)                      |                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                | 8 (4)                                      |  |
| 0,80                                                                                                                                                                                                                                                                        | 46 (23)                                                                          | 50 (25)                                                            | 80 (40)                                                                | 30 (15)                                                                          | 54 (27)                                                                     | 44 (22)                    | 30 (15)                      |                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                | 8 (4)                                      |  |
| *) Der Einbau von Thermometer-Schutzrohren ändert nicht die erforderlichen Mindestwerte für die geraden Rohrstrecken der anderen Armaturen.                                                                                                                                 |                                                                                  |                                                                    |                                                                        |                                                                                  |                                                                             |                            |                              |                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                |                                            |  |
| ANMERKUNG 1: Die Mindestwerte für die geraden Rohrstrecken sind die Längen, die bei verschiedenen Einbaustörungen im Einlauf und Auslauf zwischen der Störung und dem Drosselgerät vorzusehen sind. Alle Längen sind von der Anströmseite des Drosselgerätes aus zu messen. |                                                                                  |                                                                    |                                                                        |                                                                                  |                                                                             |                            |                              |                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                |                                            |  |
| ANMERKUNG 2: Die Werte ohne Klammern gelten für "0%-Zusatzunsicherheit" (siehe 7.2.3).                                                                                                                                                                                      |                                                                                  |                                                                    |                                                                        |                                                                                  |                                                                             |                            |                              |                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                |                                            |  |
| ANMERKUNG 3: Die Werte in Klammern gelten für "0,5%-Zusatzunsicherheit" (siehe 7.2.4).                                                                                                                                                                                      |                                                                                  |                                                                    |                                                                        |                                                                                  |                                                                             |                            |                              |                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                |                                            |  |

**Tabelle 2: Erforderliche störungsfreie gerade Rohrstrecken für klassische Venturirohre**

Werte, angegeben als ein Vielfaches von  $D$

| Durchmesser-<br>verhältnis<br>$\beta$ | Einfacher<br>90°-Krümmer<br>(*) | Zwei oder mehrere<br>90°-Krümmer<br>in der gleichen<br>Ebene*) | Zwei oder mehrere<br>90°-Krümmer<br>in verschiedenen<br>Ebenen**) **) | Reduzierstück<br>von $3D$ zu $D$<br>über eine Länge<br>von $3,5D$ | Diffusor<br>von $0,75D$ bis $D$<br>über eine Länge<br>von $D$ | Schieber<br>voll<br>geöffnet |
|---------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 0,30                                  | 0,5 ***)                        | 1,5                                                            | (0,5)                                                                 | 0,5 ***)                                                          | 1,5                                                           | 1,5                          |
| 0,35                                  | 0,5 ***)                        | 1,5                                                            | (0,5)                                                                 | 1,5                                                               | (0,5)                                                         | 2,5                          |
| 0,40                                  | 0,5 ***)                        | 1,5                                                            | (0,5)                                                                 | 2,5                                                               | (0,5)                                                         | 2,5                          |
| 0,45                                  | 1,0                             | (0,5)                                                          | (0,5)                                                                 | 4,5                                                               | (0,5)                                                         | 3,5                          |
| 0,50                                  | 1,5                             | (0,5)                                                          | (1,5)                                                                 | 5,5                                                               | (0,5)                                                         | 3,5                          |
| 0,55                                  | 2,5                             | (0,5)                                                          | (1,5)                                                                 | 6,5                                                               | (0,5)                                                         | 4,5                          |
| 0,60                                  | 3,0                             | (1,0)                                                          | (2,5)                                                                 | 8,5                                                               | (0,5)                                                         | 4,5                          |
| 0,65                                  | 4,0                             | (1,5)                                                          | (2,5)                                                                 | 9,5                                                               | (1,5)                                                         | 3,5                          |
| 0,70                                  | 4,0                             | (2,0)                                                          | (2,5)                                                                 | 10,5                                                              | (2,5)                                                         | 5,5                          |
| 0,75                                  | 4,5                             | (3,0)                                                          | (3,5)                                                                 | 11,5                                                              | (4,5)                                                         | 5,5                          |

\*) Der Radius der Mittelachse des Krümmers muß gleich oder größer als der Rohrdurchmesser sein.

\*\*) Da der Einfluß solcher Störungen auch nach  $40D$  noch wirksam sein kann, können in der Tabelle nur Werte in Klammern angegeben werden.

\*\*\*) Da keine Armatur in einem geringeren Abstand als  $0,5D$  vor der Plus-Druckentnahme angeordnet werden kann, ist hier nur die "0 %-Zusatzunsicherheit" möglich.

ANMERKUNG 1: Die Mindestwerte für die geraden Rohrstrecken sind die Längen, die bei verschiedenen Einbaustörungen im Einlauf zwischen Störung und klassischem Venturirohr vorzusehen sind. Alle geraden Rohrstrecken müssen von der Plus-Druckentnahme des klassischen Venturirohres aus gemessen werden. Die Rohrrauheit darf zumindest im Bereich der Rohrstrecken dieser Tabelle nicht die eines handelsüblich glatten Rohres überschreiten (ungefähr  $k/D \leq 10^{-3}$ ).

ANMERKUNG 2: Die Werte ohne Klammern gelten für "0 %-Zusatzunsicherheit" (siehe 7.2.3).

ANMERKUNG 3: Die Werte in Klammern gelten für "0,5 %-Zusatzunsicherheit" (siehe 7.2.4).

ANMERKUNG 4: Einbaustörungen (wie in dieser Tabelle angegeben) in den Auslaufängen in einem Abstand von mindestens dem Vierfachen des Durchmessers der Drosselöffnung hinter der Minus-Druckentnahme beeinflussen die Genauigkeit der Messung nicht.

die zwischen Strömungsgleichrichter und Drosselgerät mindestens  $22D$  lang sein, es sei denn, die Bedingungen nach 7.1.3 sind erfüllt. Diese Längen sind jeweils von der Einlaufkante bzw. Auslaufkante des Strömungsgleichrichters aus gemessen. Strömungsgleichrichter sind nur dann voll wirksam, wenn sie so eingebaut werden, daß nur noch kleinste Spalte am Umfang der Widerstandselemente vorhanden sind. Eine Nebenströmung würde die Wirksamkeit beeinträchtigen.

Werden korrekt gebaute Strömungsgleichrichter mit geraden Rohrstrecken nach den vorgenannten Bedingungen verwendet, so können sie für jedes ankommende Geschwindigkeitsprofil eingesetzt werden.

### 7.3.2 Bauarten von Strömungsgleichrichtern

Die fünf genormten Bauarten von Strömungsgleichrichtern sind in den Bildern 1 bis 3 dargestellt. Die Auswahl eines Strömungsgleichrichters hängt vom zulässigen Druckverlust und von der Art der zu korrigierenden Geschwindigkeitsverteilung der Strömung ab. Die nachstehend beschriebenen Strömungsgleichrichter erzeugen einen ungefähren Druckverlust von

|                                                                 |                         |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Bauart A:                                                       | $5\varrho_1 U_1^2/2$    |
| Bauart B mit abgeschrägten Bohrungen auf der Anströmseite:      | $11\varrho_1 U_1^2/2$   |
| Bauart B ohne Abschrägungen der Bohrungen auf der Anströmseite: | $14\varrho_1 U_1^2/2$   |
| Bauart C:                                                       | $5\varrho_1 U_1^2/2$    |
| Bauart D:                                                       | $0,25\varrho_1 U_1^2/2$ |
| Bauart E:                                                       | $0,25\varrho_1 U_1^2/2$ |

Für die Bauarten A, B und C kann der Druckverlust als Funktion des Verhältnisses der Gesamtfläche der Bohrungen zu der Gesamtfläche des Rohres veränderlich sein.

#### 7.3.2.1 Bauart A: "Zanker"-Strömungsgleichrichter

Dieser Strömungsgleichrichter besteht aus einer Lochplatte mit Bohrungen bestimmter Größe und anschließenden Kanälen (einem je Bohrung) aus sich kreuzenden Platten (siehe Bild 1).

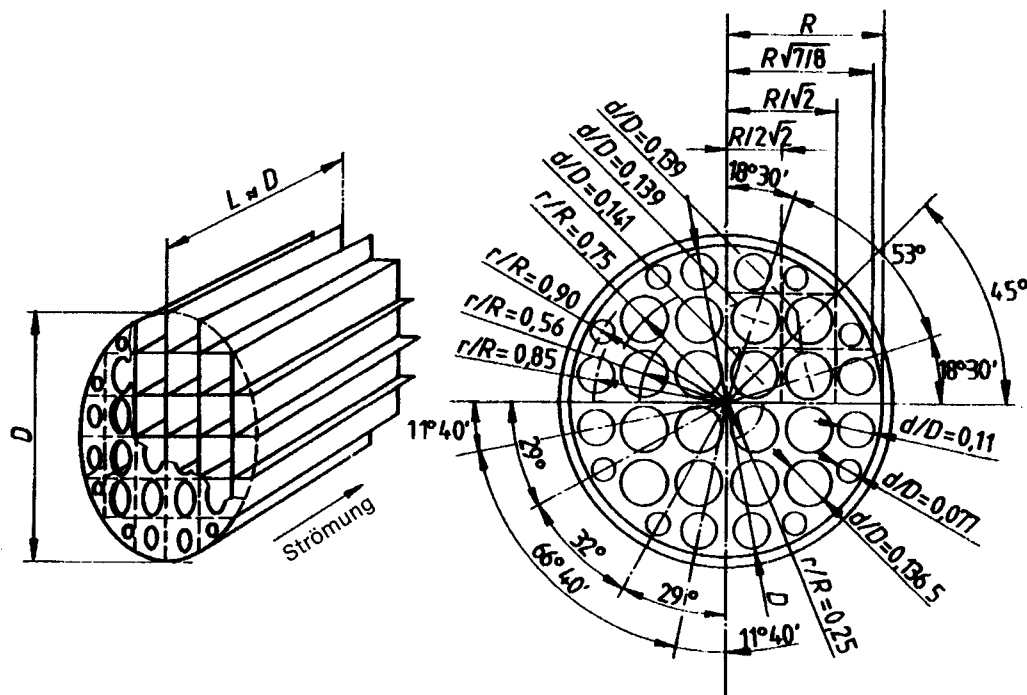


Bild 1: Bauart A: "Zanker"-Strömungsgleichrichter

Diese Platten müssen so dünn wie möglich ausgeführt sein, gleichzeitig aber eine ausreichende Festigkeit aufweisen.

#### 7.3.2.2 Bauart B: "Sprenkle"-Strömungsgleichrichter

Dieser Strömungsgleichrichter besteht aus drei Lochplatten, die in Abständen von je einem Rohrdurchmesser hintereinander angeordnet sind. Die Bohrungen werden zweckmäßigerweise auf der Anströmseite abgeschrägt. Die Gesamtfläche der Bohrungen jeder Platte muß größer als 40 % des Rohrquerschnittes sein. Das Verhältnis von Plattendicke zum Bohrungsdurchmesser muß mindestens 1 sein; der Durchmesser der Bohrung muß gleich oder kleiner  $0,05D$  sein (siehe Bild 2).

Die drei Lochplatten müssen durch an der Peripherie der Bohrungen angeordnete Stäbe miteinander verbunden sein. Diese müssen die erforderliche Festigkeit aufweisen, sollen jedoch im Querschnitt so klein wie möglich gehalten sein.

#### 7.3.2.3 Bauart C: Rohrbündel-Strömungsgleichrichter

Der Rohrbündel-Strömungsgleichrichter besteht aus Rohren, die sich parallel und tangential selbst stützen und als Bündel fest in die Rohrleitung eingebaut werden (siehe Bild 2). Hierbei ist es wichtig, daß die Rohre untereinander und zur Rohrachse parallel sind, damit – falls dies nicht erfüllt ist – der Strömungsgleichrichter nicht selbst eine Einbaustörung darstellt.

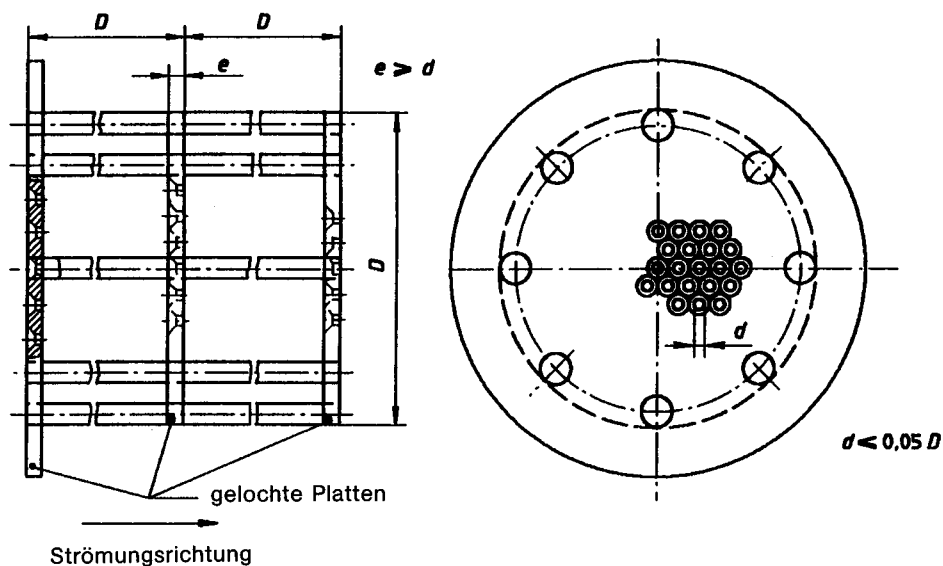
Der Strömungsgleichrichter besteht aus mindestens 19 Rohren. Ihre Länge muß gleich oder größer  $10d$  sein. Alle Rohre müssen untereinander und mit der Rohrleitung fest verbunden sein.

#### 7.3.2.4 Bauart D: AMCA-Strömungsgleichrichter

Der AMCA-Strömungsgleichrichter ähnelt einer Honigwabe mit quadratischen Durchgängen, deren Maße aus Bild 3 zu entnehmen sind. Die Bleche müssen so dünn wie möglich sein, gleichzeitig jedoch ausreichende Festigkeit aufweisen.

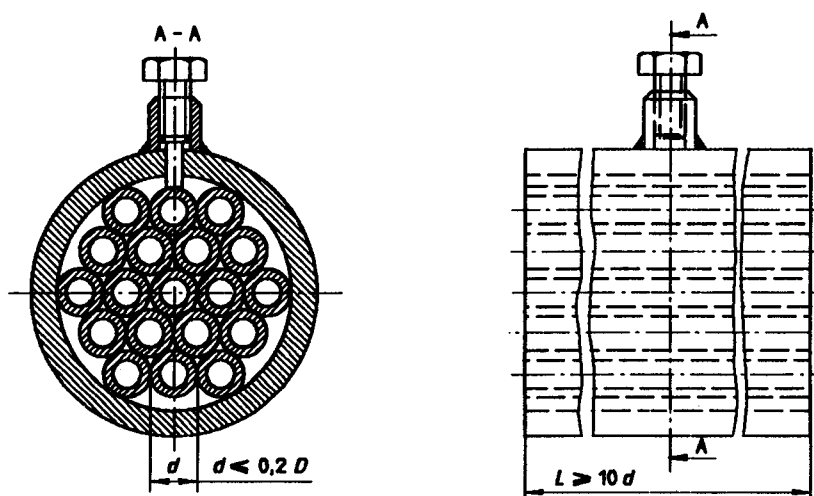
#### 7.3.2.5 Bauart E: "Étoile"-Strömungsgleichrichter

Der "Étoile"-Strömungsgleichrichter besteht aus acht radialen Schaufeln mit gleichmäßigem ringförmigen Abstand voneinander und einer Länge  $2D$  (siehe Bild 3). Sie müssen so dünn wie möglich sein, gleichzeitig jedoch ausreichende Festigkeit aufweisen.



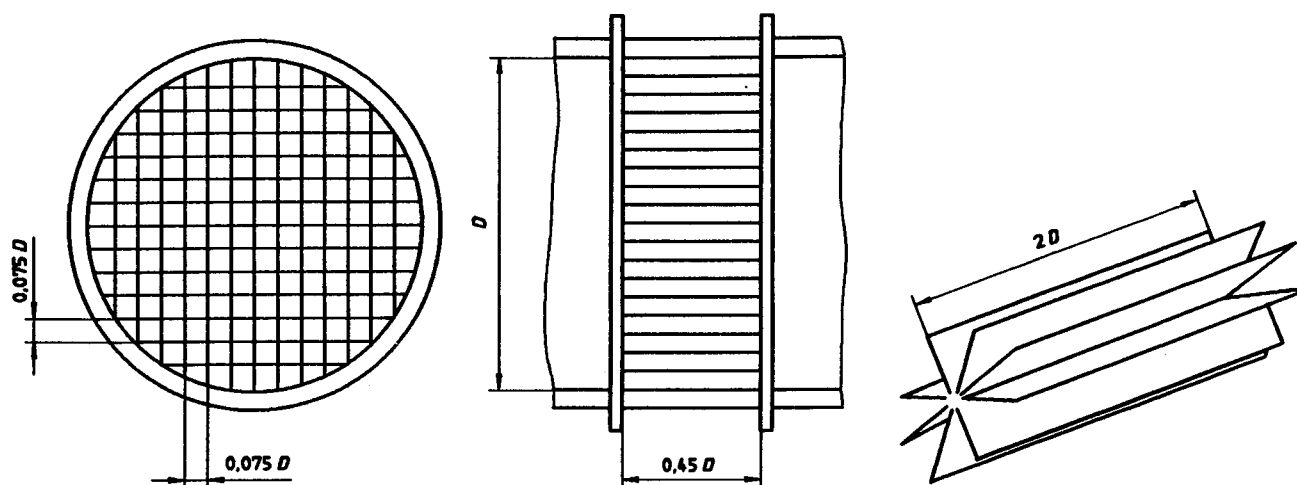
ANMERKUNG: Um den Druckverlust zu verringern, können die Löcher an der Eintrittskante mit einem Winkel von 45° abgeschrägt sein.

Bauart B: "Sprenkle"-Strömungsgleichrichter



Bauart C: Rohrbündel-Strömungsgleichrichter

Bild 2: Strömungsgleichrichter der Bauarten B und C



Bauart D: AMCA-Strömungsgleichrichter

Bauart E: Étoile-Strömungsgleichrichter

Bild 3: Strömungsgleichrichter der Bauarten D und E

## 7.4 Allgemeine Anforderungen an die Strömungsverhältnisse am Drosselgerät

Falls die vorgeschriebenen Einbaubedingungen nach den Tabellen 1 und 2 oder nach 7.3 nicht erfüllt sind, ist dieser Teil von ISO 5167 anwendbar, wenn die Strömungsverhältnisse unmittelbar vor dem Drosselgerät den Angaben nach 7.1.3 entsprechen.

Die Strömung gilt als drallfrei, wenn der Drallwinkel im ganzen Rohrquerschnitt kleiner als  $2^\circ$  ist.

Das Geschwindigkeitsprofil gilt als ungestört, wenn für jeden Punkt des Rohrquerschnittes das Verhältnis der örtlichen zur maximalen Axial-Geschwindigkeit innerhalb von  $\pm 5\%$  mit dem Verhältnis übereinstimmt, das sich bei drallfreier Strömung am Ende einer sehr langen (über  $100D$ ) geraden vergleichbaren Rohrstrecke ergibt (voll entwickelte Strömung).

## 7.5 Zusätzliche Anforderungen an den Einbau von Blenden, Düsen und Venturidüsen

### 7.5.1 Rundheit des Rohres

In unmittelbarer Nähe des Drosselgerätes müssen folgende Anforderungen eingehalten sein.

**7.5.1.1** Die unmittelbar vor dem Drosselgerät (oder dem Fassungsring, falls vorhanden) liegende Rohrstrecke muß auf einer Länge von  $2D$  zylindrisch sein. Das Rohr gilt als zylindrisch, wenn kein Durchmesser in beliebiger Ebene um mehr als  $0,3\%$  vom Wert  $D$  abweicht, der als Mittelwert aus den Messungen nach 7.5.1.2 bestimmt ist.

**7.5.1.2** Der Wert des Durchmessers  $D$  der Rohrleitung ist der Mittelwert des lichten Durchmessers auf einer Länge von  $0,5D$  vor der Plus-Druckentnahme. Dieser mittlere lichte Durchmesser ist das arithmetische Mittel von mindestens zwölf, davon je vier gleichmäßig auf den Durchmesser in mindestens drei Querschnitten auf einer Länge  $0,5D$  verteilten Messungen. Die drei Querschnitte sind so zu verteilen, daß sich zwei in einem Abstand  $0$  und  $0,5D$  vor der Plus-Druckentnahme befinden und einer in der Ebene der Schweißung, sofern es sich um eine Schweißkonstruktion handelt. Wenn Fassungsringe (siehe Bild 6a)) verwendet werden, ist das Maß  $0,5D$  vom Anfang des Fassungsringes aus zu messen.

**7.5.1.3** Die Rohrstrecke im Bereich von mehr als  $2D$  vor dem Drosselgerät bis zur nächsten Einbaustörung darf aus einem oder mehreren Rohrstücken bestehen.

Falls ein Durchmessersprung zwischen zwei Rohrstücken auftritt, der die Anforderungen bezüglich der Zylindrizität von  $0,3\%$  des Mittelwertes von  $D$  nach 7.5.1.2 nicht überschreitet, ist keine zusätzliche Unsicherheit des Durchfließkoeffizienten zu berücksichtigen.

**7.5.1.4** Eine Zusatz-Unsicherheit von  $0,2\%$  muß arithmetisch zur Unsicherheit des Durchfließkoeffizienten addiert werden, falls der Durchmessersprung  $\Delta D$  zwischen zwei Rohrstücken größer ist als in 7.5.1.3 festgelegt, die nachstehenden Bedingungen jedoch erfüllt sind:

$$\frac{\Delta D}{D} \leq 0,002 \left( \frac{\frac{s}{D} + 0,4}{0,1 + 2,3\beta^4} \right)$$

und

$$\frac{\Delta D}{D} \leq 0,05$$

wobei  $s$  der Abstand des Durchmessersprunges von der Plus-Druckentnahme oder vom Fassungsring ist.

**7.5.1.5** Überschreitet der Durchmessersprung die in den vorangegangenen Abschnitten genannten Grenzwerte, so entsprechen die Einbauverhältnisse nicht den Festlegungen dieses Teiles von ISO 5167.

**7.5.1.6** Kein Durchmesser der geraden Rohrstrecke im Auslauf innerhalb der Länge von  $2D$ , von der Einstromseite des Drosselgerätes an gerechnet, darf um mehr als  $\pm 3\%$  vom mittleren Durchmesser  $D$  des Einlaufrohres abweichen. Es genügt, einen einzelnen Durchmesser der geraden Auslaufstrecke zu überprüfen. Diese Anforderung gilt nicht für verkürzte Venturirohre und solche, die den Anforderungen nach 7.6.1.3 entsprechen.

### 7.5.2 Anordnung von Drosselgerät und Fassungsringen

**7.5.2.1** Das Drosselgerät muß so in die Rohrleitung eingebaut sein, daß die Strömung von der Einlauf- zur Auslaufseite erfolgt.

**7.5.2.2** Das Drosselgerät muß innerhalb einer maximalen Abweichung von  $1^\circ$  senkrecht zur Rohrachse angeordnet sein.

**7.5.2.3** Das Drosselgerät muß in der Rohrleitung und – sofern vorhanden – in den Fassungsringen zentriert sein. Die Exzentrizität  $e_x$  zwischen der Achse des Drosselgerätes und den Achsen des Einlauf- und Auslaufrohres muß gleich oder kleiner

$$\frac{0,002\,5D}{0,1 + 2,3\beta^4}$$

sein.

Für den Fall

$$\frac{0,002\,5D}{0,1 + 2,3\beta^4} < e_x \leq \frac{0,005\,D}{0,1 + 2,3\beta^4}$$

muß eine Zusatzunsicherheit im Betrag von  $0,3\%$  zur Unsicherheit des Durchfließkoeffizienten  $C$  arithmetisch addiert werden.

Für den Fall, daß

$$e_x > \frac{0,005\,D}{0,1 + 2,3\beta^4}$$

ist, macht dieser Teil von ISO 5167 keine Aussage über die Größe der weiteren zusätzlich zu berücksichtigenden Unsicherheit.

**7.5.2.4** Werden Fassungsringe verwendet, müssen sie so zentriert sein, daß sie an keiner Stelle in das Rohr hineinragen.

### 7.5.3 Halterungen und Dichtungen

**7.5.3.1** Die Halterungen und Dichtungen müssen so ausgeführt sein, daß die normgerechte Einbaulage des Drosselgerätes im Betrieb erhalten bleibt.

Beim Einbau eines Drosselgerätes zwischen Flanschen muß gegebenenfalls für eine freie thermische Ausdehnung gesorgt sein, um ein Verwerfen oder Verziehen des Drosselgerätes zu vermeiden.

**7.5.3.2** Dichtungen müssen so hergestellt und montiert werden, daß sie an keiner Stelle in das Rohrinne hineinragen oder Druck-Entnahmebohrungen bzw. Schlitz bei Eck-Druckentnahmen verdecken. Sie sollen so dünn wie möglich sein und sich an den in 8.2 für Blenden festgelegten Angaben orientieren.

**7.5.3.3** Dichtungen zwischen Drosselgerät und Ringkammer dürfen nicht in diese hineinragen.

## 7.6 Zusätzliche Anforderungen an den Einbau von klassischen Venturirohren

### 7.6.1 Rundheit des Rohres

In unmittelbarer Nähe des klassischen Venturirohres müssen folgende Anforderungen eingehalten sein:

**7.6.1.1** Die Rohrstrecke vor dem Einlaufzylinder des klassischen Venturirohres muß auf einer Länge von mindestens  $2D$  zylindrisch sein.

**7.6.1.2** Der mittlere Durchmesser  $D$  in dieser vorgeschalteten Rohrstrecke darf vom Durchmesser des Einlaufzylinders nach 10.1.2.1 nicht mehr als 1 % abweichen. Kein Einzeldurchmesser dieser  $2D$  langen Rohrstrecke darf mehr als 2 % vom Mittelwert der gemessenen Durchmesser abweichen.

**7.6.1.3** Der Durchmesser der Rohrleitung unmittelbar hinter dem klassischen Venturirohr braucht nicht gemessen zu werden, er muß aber mindestens 90 % des Diffusordurchmessers am Ende des Venturirohres betragen. Das bedeutet, daß in den meisten Fällen die Rohrleitungen mit Nenndurchmessern entsprechend dem Nenn Durchmesser des Venturirohres benutzt werden können.

### 7.6.2 Rauheit der Rohrstrecke im Einlauf

Das Einlaufrohr darf auf einer Länge von  $2D$  vor dem klassischen Venturirohr nur eine Rauheit von  $k/D \leq 10^{-3}$  aufweisen.

### 7.6.3 Ausrichtung des klassischen Venturirohres

Die Exzentrizität zwischen der Rohrstrecke im Einlauf und dem Einlaufzylinder A (siehe 10.1.2) des Venturirohres muß kleiner als  $0,005D$  sein. Die Flucht bei der Ausrichtung der gemeinsamen Achsen der geraden Rohrstrecke im Einlauf und des Venturirohres darf nicht mehr als 1 % voneinander abweichen. Außerdem muß die Summe von Exzentrizität und halber Durchmesserdifferenz (siehe 7.6.1.2) kleiner als  $0,0075D$  sein.

## 8 Blenden

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

Alle Arten von Blenden müssen den folgenden Beschreibungen unter Betriebsbedingungen entsprechen.

Die Grenzen für die Anwendung sind in 8.3.1 angegeben.

### 8.1 Beschreibung

Bild 4 zeigt eine genormte Blende im Schnitt.

Die Buchstaben in Bild 4 gelten für den nachstehenden Text.

#### 8.1.1 Allgemeine Beschreibung der Form

**8.1.1.1** 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.

**8.1.1.2** Die folgende Beschreibung gilt, wenn nicht anders angegeben, nur für den im Rohr liegenden Teil der Blende.

**8.1.1.3** Bei der Auslegung und beim Einbau der Blende muß darauf geachtet werden, daß elastische oder plastische Verformungen der Blendenscheibe, hervorgerufen durch den Differenzdruck oder durch andere Beanspru-

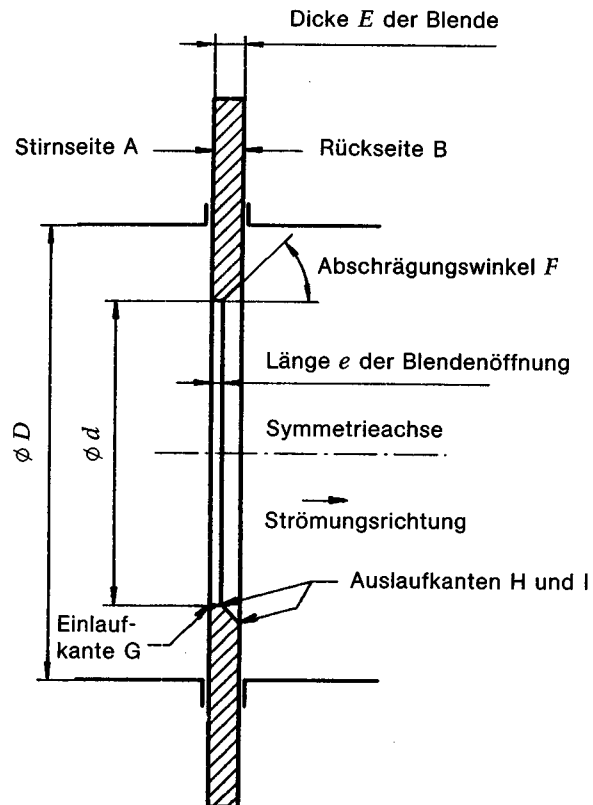


Bild 4: Genormte Blende

chungen nicht bewirken, daß die Neigung der in 8.1.2.1 definierten Geraden unter Betriebsbedingungen 1 % überschreitet.

#### 8.1.2 Stirnseite A

**8.1.2.1** Die Stirnseite A der Blende muß nach dem Einbau in eine Rohrleitung für einen Differenzdruck Null eben sein. Falls gezeigt werden kann, daß die Blende durch die Art des Einbaus nicht verformt wird, so darf die Ebenheit auch im ausgebauten Zustand überprüft werden. Unter diesen Umständen wird die Blende als eben angesehen, wenn die Neigung einer geraden Linie durch zwei beliebige Punkte der Oberfläche, bezogen auf eine zur Symmetrieachse senkrechte Ebene, kleiner als 0,5 % ist. Davon ausgenommen sind unvermeidliche schadhafte Stellen auf der Oberfläche, die mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen sind.

**8.1.2.2** Die Stirnseite der Blende muß innerhalb eines zur Blendenöffnung konzentrischen Kreises, mit einem Durchmesser von mindestens  $D$ , einen arithmetischen Mittenerauehwert  $R_a \leq 10^{-4} d$  haben. Wenn die Blende während des Betriebes die genannten Anforderungen nicht einhält, so muß sie innerhalb eines Durchmessers von mindestens  $D$  nachpoliert oder gesäubert werden.

**8.1.2.3** Es ist zweckmäßig, eine deutliche nach Einbau der Blende noch sichtbare Markierung anzubringen, die die richtige Einbaulage der Blende im Hinblick auf die Strömungsrichtung anzeigt.

#### 8.1.3 Rückseite B

**8.1.3.1** Die Rückseite B muß eben und parallel zur Stirnseite sein (siehe auch 8.1.4.4).

**8.1.3.2** Obwohl es die Herstellung einer Blende vereinfachen kann, wenn beide Seiten die gleichen Oberflächenbeschaffenheiten aufweisen, braucht die Rückseite nicht die Oberflächenqualität der Stirnseite aufzuweisen (siehe jedoch 8.1.8).

**8.1.3.3** Für die Beurteilung der Ebenheit und der Oberflächenbeschaffenheit der Rückseite genügt die Sichtprüfung.

#### **8.1.4 Dicke $E$ und Länge $e$**

**8.1.4.1** Die Länge  $e$  der zylindrischen Blendenöffnung muß zwischen  $0,005 D$  und  $0,02 D$  liegen.

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

**8.1.4.3** Die Dicke  $E$  der Blende muß zwischen  $e$  und  $0,05 D$  liegen.

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

**8.1.4.4** Die an verschiedenen Stellen gemessenen Werte für  $E$  der Blende dürfen um nicht mehr als  $0,001 D$  voneinander abweichen.

#### **8.1.5 Abschrägungswinkel $F$**

**8.1.5.1** Überschreitet die Dicke  $E$  der Blendenscheibe die Länge  $e$  der Blendenöffnung, dann muß die Scheibe an der Rückseite abgeschrägt werden. Die Oberfläche der Abschrägung muß glatt sein (siehe 8.1.2.2).

**8.1.5.2** Der Abschrägungswinkel  $F$  muß  $45^\circ \pm 15^\circ$  betragen.

#### **8.1.6 Kanten $G$ , $H$ und $I$**

**8.1.6.1** Die Einlaufkante  $G$  darf keinen Grat, keine Rundung oder mit dem bloßen Auge erkennbare schadhafte Stellen aufweisen.

**8.1.6.2** Die Einlaufkante  $G$  muß scharf sein. Dies gilt als eingehalten, wenn der Kantenradius nicht größer als  $0,0004 d$  ist.

Diese Anforderung kann nur erfüllt werden, wenn die Ausführung der Kante den Anforderungen nach 8.1.6.1 entspricht.

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 der Anforderungen Zweifel bestehen, muß der Kantenradius gemessen werden.

**8.1.6.3** Die Auslaufkanten  $H$  und  $I$  liegen im Ablösungsbereich der Strömung, deshalb müssen sie nicht den hohen Anforderungen für die Kante  $G$  genügen. Aus diesem Grunde sind kleinere Beschädigungen noch zu akzeptieren.

#### **8.1.7 Öffnungsdurchmesser $d$**

**8.1.7.1** Der Durchmesser  $d$  muß stets gleich oder größer als  $12,5 \text{ mm}$  sein. Das Durchmesser Verhältnis  $\beta = d/D$  ist stets  $\geq 0,20$  und  $\leq 0,75$ .

Innerhalb dieser Grenzen ist  $\beta$  durch den Anwender auszuwählen.

**8.1.7.2** Der Durchmesser  $d$  der Blendenöffnung ist der Mittelwert aus mindestens vier Durchmessern, die in annähernd gleichen Winkelabständen zueinander gemessen sind.

**8.1.7.3** Die Blendenöffnung muß zylindrisch sein und zur Stirnseite senkrecht stehen.

Kein Durchmesser darf um mehr als  $0,05\%$  vom Mittelwert abweichen. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn keiner der gemessenen Einzeldurchmesser vom Mittelwert um mehr als oben angegeben abweicht. Die Oberflächenrauheit der zylindrischen Bohrung der Blende darf nicht die Messung der Kantenschärfe beeinträchtigen.

#### **8.1.8 Symmetrische Blenden**

**8.1.8.1** Wird die Blende für Durchflüsse mit wechselnder Strömungsrichtung verwendet, so gilt:

- Die Blende darf nicht abgeschrägt sein;
- beide Blendenseiten müssen mit der Beschreibung der Stirnseite nach 8.1.2 übereinstimmen;
- die Dicke  $E$  der Blende muß gleich der Länge  $e$  der zylindrischen Blendenöffnung nach 8.1.4 sein; der Wirkdruck muß konsequenterweise begrenzt werden, um Verformungen zu vermeiden (siehe 8.1.1.3);
- beide Kanten der Blendenöffnung müssen mit der Beschreibung der Einlaufkante nach 8.1.6 übereinstimmen.

**8.1.8.2** Für Blenden mit  $D$ - und  $D/2$ -Druckentnahmen (siehe 8.2) müssen außerdem je zwei Sätze von Bohrungen für die Plus- und Minus-Druckentnahmen angebracht sein, die je nach Durchflußrichtung sinngemäß zu benutzen sind.

#### **8.1.9 Werkstoff und Herstellung**

Die Blende kann aus jedem Material und nach jedem beliebigen Fertigungsverfahren hergestellt werden, sofern sie während der Durchflußmessung mit der vorhergehenden Beschreibung in Übereinstimmung bleibt.

Insbesondere muß die Blende während der Messungen sauber sein.

### **8.2 Druckentnahmen**

Für jedes Drosselgerät muß mindestens eine Plus- und eine Minus-Druckentnahme an einer der genormten Stellen vorgesehen sein.

Eine Blende darf mit verschiedenen genormten Druckentnahmen ausgerüstet sein; um jedoch eine gegenseitige Beeinflussung zu verhindern, dürfen die verschiedenen Druckentnahmen auf der gleichen Seite der Blende nicht in derselben axialen Ebene liegen.

Die Anordnung der Druckentnahmen kennzeichnet die Art der genormten Blende.

#### **8.2.1 Einzelheiten für Blenden mit $D$ - und $D/2$ -Druckentnahmen und Blenden mit Flansch-Druckentnahmen**

**8.2.1.1** Der Abstand  $l$  der Druckentnahme ist gleich dem Abstand zwischen der Mittellinie der Entnahmebohrung und der Ebene einer festgelegten Blendenseite der Blende. Bei der Anbringung von Druckentnahmen muß die Dicke der Dichtung oder des Dichtungsmaterials berücksichtigt werden.

**8.2.1.2** Für Blenden mit  $D$ - und  $D/2$ -Druckentnahmen (siehe Bild 5) ist der Nennabstand  $l_1$  der Plus-Entnahme gleich  $D$  und darf ohne Einfluß auf den Durchflußkoeffizienten auch zwischen  $0,9 D$  und  $1,1 D$  liegen.

Der Nennabstand  $l_2$  der Minus-Druckentnahme ist gleich  $0,5 D$  und darf ohne Einfluß auf den Durchflußkoeffizienten auch zwischen den folgenden Werten liegen:

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

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

**8.2.1.3** Für Blenden mit Flansch-Druckentnahmen (siehe Bild 5) ist der Nennabstand  $l_1$  der Plus-Druckentnahme  $25,4$  mm, gemessen von der Stirnseite der Blende.

Der Nennabstand  $l_2$  der Minus-Druckentnahme, gemessen von der Rückseite der Blende, beträgt  $25,4$  mm.

Diese Abstände  $l_1$  und  $l_2$  dürfen zwischen 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  $150 \text{ mm} \leq D \leq 1\,000 \text{ mm}$ .

**8.2.1.4** Die Mittellinie der Entnahmebohrung muß die Rohrachse unter einem Winkel von  $90^\circ$  schneiden.

**8.2.1.5** Die Druckentnahmeöffnung muß an der Rohrin-nenseite rund sein, ihre Kante muß mit der Rohrin-nenseite bündig, gratfrei und so scharf wie möglich sein. Um Bohr-grat oder Späne sicher zu entfernen, ist eine kleine Abrun-dung 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 Bohrungsdurch-messers sein. Innerhalb der Entnahmebohrung an der Boh-rungskante und an der Rohrin-nenseite nahe der Bohrung dürfen keine Unregelmäßigkeiten vorhanden sein.

**8.2.1.6** Für die Beurteilung der Übereinstimmung der Ent-nahmebohrungen mit den Anforderungen nach 8.2.1.4 und 8.2.1.5 genügt eine Sichtprüfung.

**8.2.1.7** Der Durchmesser von Entnahmebohrungen muß kleiner als  $0,13 D$  und kleiner als  $13 \text{ mm}$  sein.

Der Mindestwert für den Durchmesser ist nicht begrenzt und wird nur durch die Gefahr einer Verstopfung oder

durch unzureichende Dynamik der Übertragung bestimmt. Plus- und Minus-Druckentnahmen müssen den gleichen Durchmesser aufweisen.

**8.2.1.8** Die Entnahmebohrungen müssen, gemessen von der Rohrin-nenseite, über eine Länge von mindestens  $2,5$ mal Bohrungsdurchmesser kreisrund und zylindrisch sein.

**8.2.1.9** Die Mittellinien der Druckentnahmen dürfen in jeder beliebigen axialen Ebene der Rohrleitung liegen (siehe auch 3.1.3 und 7.2.7).

**8.2.1.10** Die Achsen der Plus- und Minus-Druckentnah-men dürfen in verschiedenen axialen Ebenen liegen (siehe auch 3.1.3 und 7.2.7).

**8.2.2 Blenden mit Eck-Druckentnahmen** (siehe Bild 6)

**8.2.2.1** Der Abstand der Mitte der Entnahmeöffnung von der zugehörigen Blendenseite muß gleich dem halben Bohrungsdurchmesser oder der halben Entnahmeweite sein, so daß die Entnahmeöffnung in der Rohrwand die zu-gehörige Blendenseite gerade berührt (siehe auch 8.2.2.5).

**8.2.2.2** Die Druckentnahmen dürfen entweder Einzelent-nahmen oder ringförmige Schlitzte sein. Beide Entnahme-formen können entweder direkt im Rohr oder in Flanschen oder auch in Fassungsringen untergebracht werden, wie dies im Bild 6 dargestellt ist.

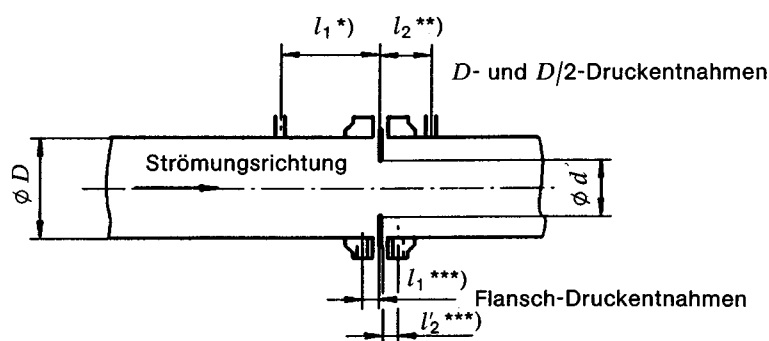
**8.2.2.3** Der Durchmesser  $a$  einer Einzelanbohrung oder die Schlitzweite  $a$  sind nachfolgend angegeben. Der Min-destwert für den Durchmesser ist praktisch nur durch die Gefahr einer Verstopfung oder durch unzureichende Dynamik der Übertragung festgelegt.

Für saubere Fluide und Dämpfe:

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

Für jeden Wert von  $\beta$ :

- 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 Einzelanbohrun-gen:  $4 \text{ mm} \leq a \leq 10 \text{ mm}$



\*)  $l_1 = D \pm 0,1 D$

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

\*\*\*)  $l_1 = l_2 = \begin{cases} (25,4 \pm 0,5) \text{ mm} & \text{für } \beta > 0,6 \text{ und } D < 150 \text{ mm} \\ (25,4 \pm 1) \text{ mm} & \text{für } \beta \leq 0,6 \\ (25,4 \pm 1) \text{ mm} & \text{für } \beta > 0,6 \text{ und } 150 \text{ mm} \leq D \leq 1\,000 \text{ mm} \end{cases}$

**Bild 5: Lage der Druckentnahmen für Blenden mit D- und D/2-Druckentnahmen sowie Flansch-Druckentnahmen**

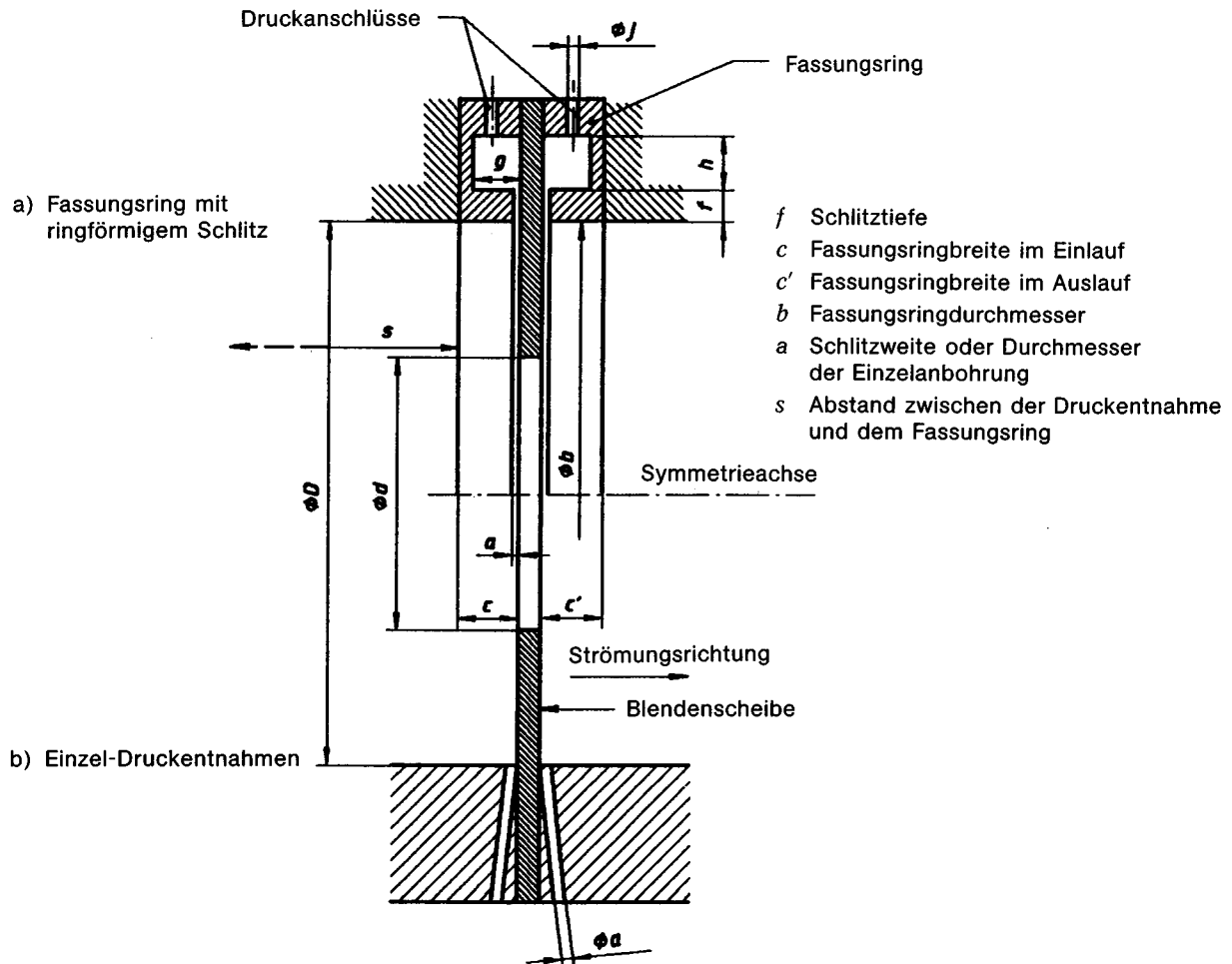


Bild 6: Eck-Druckentnahmen

**8.2.2.4** Der Ringspalt ist gewöhnlich über den ganzen Umfang, also ohne Unterbrechung, 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<sup>2</sup> beträgt.

**8.2.2.5** Bei Einzelanbohrungen nach Bild 6b) soll die Bohrungsachse möglichst die Rohrachse unter einem Winkel von 90° schneiden.

Sind mehrere Einzelanbohrungen auf der Plus- und der Minusseite vorhanden, so müssen deren Bohrungsachsen gleiche Winkelabstände zueinander haben. Der Durchmesser der Einzelentnahmebohrungen ist in 8.2.2.3 angegeben. Die Entnahmebohrungen müssen, gemessen von der Rohrinneinnenseite, über eine Länge von mindestens 2,5mal Bohrungsdurchmesser kreisrund und zylindrisch sein.

**8.2.2.6** Der Innendurchmesser  $b$  der Fassungsrings muß gleich oder größer als der Rohrdurchmesser  $D$  sein, damit sie nicht ins Rohr hineintragen. Er darf jedoch einen Wert von  $1,04 D$  nicht überschreiten. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

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

Die Breiten  $c$  und  $c'$  der Fassungsrings auf der Einlauf- und Auslaufseite (siehe Bild 6) dürfen nicht größer als  $0,5 D$  sein. Die Schlitztiefe  $f$  muß gleich oder größer sein als die doppelte Schlitzweite  $a$ . Der Ringkammerquerschnitt ( $g \cdot h$ ) muß gleich oder größer sein als die Hälfte der gesamten Fläche der Öffnungen, die das Rohrinne mit der Ringkammer verbinden.

**8.2.2.7** Die mit dem gemessenen Fluid in Berührung kommenden Flächen des Fassungsrings müssen sorgfältig bearbeitet und sauber sein.

**8.2.2.8** Die Entnahmebohrungen, die die Ringkammern mit den Sekundärgeräten verbinden, müssen rund sein und einen Durchmesser  $j$  zwischen 4 mm und 10 mm aufweisen (siehe 8.2.1.5).

**8.2.2.9** Die Fassungsrings auf der Einlauf- und Auslaufseite müssen nicht symmetrisch zueinander sein, sie müssen aber beide die bereits genannten Anforderungen erfüllen.

**8.2.2.10** Der Rohrdurchmesser muß nach 7.5.1.2 gemessen werden, wobei der Fassungsrings als Teil des Drosselgerätes angesehen werden muß. Dies gilt auch für die nach 7.5.1.4 angegebene Anforderung für die Entfernung, so daß die Länge  $s$  von der Anströmkante des rückspringenden Fassungsrings aus gemessen werden muß.

### 8.3 Durchflußkoeffizienten von Blenden und zugehörige Unsicherheiten

#### 8.3.1 Anwendungsbereiche

Genormte Blenden nach diesem Teil von ISO 5167 dürfen nur unter den folgenden Bedingungen angewendet werden.

Für Blenden mit Eck-Druckentnahmen:

$$d \geq 12,5 \text{ mm}$$

$$50 \text{ mm} \leq D \leq 1000 \text{ mm}$$

$$0,2 \leq \beta \leq 0,75$$

$$Re_D \geq 5000 \text{ für } 0,2 \leq \beta \leq 0,45$$

$$Re_D \geq 10000 \text{ für } \beta > 0,45$$

**Tabelle 3: Obere Grenzwerte der relativen Rohrrauheit im Einlauf vor Blenden**

| $\beta$    | $\leq 0,3$ | 0,32 | 0,34 | 0,36 | 0,38 | 0,4 | 0,45 | 0,5 | 0,6 | 0,75 |
|------------|------------|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|------|
| $10^4 k/D$ | 25         | 18,1 | 12,9 | 10,0 | 8,3  | 7,1 | 5,6  | 4,9 | 4,2 | 4,0  |

Für Blenden mit Flansch-Druckentnahmen oder mit  $D$ - und  $D/2$ -Druckentnahmen:

$$\begin{aligned} d &\geq 12,5 \text{ mm} \\ 50 \text{ mm} &\leq D \leq 1\,000 \text{ mm} \\ 0,2 &\leq \beta \leq 0,75 \\ Re_D &\geq 1\,260 \beta^2 D, \end{aligned}$$

wobei  $D$  in mm angegeben ist.

Zusätzlich muß die relative Rohrrauheit den Werten nach Tabelle 3 entsprechen.

Der Wert der äquivalenten, in Längeneinheiten angegebenen Rohrrauheit  $k$  hängt von verschiedenen Faktoren wie Höhe, Verteilung und anderen geometrischen Kennzeichen der Rauheitserhebungen der Rohrwand ab.

Zur genauen Bestimmung von  $k$  sollte eine Druckverlustmessung an einem Probestück des jeweiligen Rohres vorgenommen werden.

Näherungswerte für  $k$  für die verschiedenen Werkstoffe können aus der einschlägigen Literatur entnommen werden. Tabelle E.1 enthält Werte für  $k$  für verschiedene Werkstoffe, die aus der Colebrook-Gleichung abgeleitet wurden. Die meisten Versuche, auf denen die Durchflußkoeffizienten  $C$  dieses Teiles von ISO 5167 beruhen, wurden in Rohren mit einer relativen Rauheit

$$k/D \leq 3,8 \times 10^{-4}$$

für Blenden mit Eck-Druckentnahmen oder

$$k/D \leq 10 \times 10^{-4}$$

für Blenden mit Flansch-Druckentnahmen oder  $D$ - und  $D/2$ -Druckentnahmen durchgeführt.

Rohre mit größerer Rauheit können verwendet werden, wenn die Rauheit innerhalb  $10 D$  im Einlauf innerhalb der vorstehend angegebenen Grenzen liegt.

### 8.3.2 Koeffizienten

#### 8.3.2.1 Durchflußkoeffizient $C$

Der Durchflußkoeffizient  $C$  ist durch die Stolz-Gleichung gegeben:

$$\begin{aligned} C = & 0,5959 + 0,0312 \beta^{2,1} - 0,1840 \beta^8 + \\ & + 0,0029 \beta^{2,5} \left( \frac{10^6}{Re_D} \right)^{0,75} + \\ & + 0,0900 L_1 \beta^4 (1 - \beta^4)^{-1} - 0,0337 L_2 \beta^3 \end{aligned}$$

Hierin bedeuten:

- $\beta = d/D$  das Durchmesser Verhältnis;
- $Re_D$  die Reynoldszahl, bezogen auf  $D$ ;
- $L_1 = l_1/D$  das Verhältnis des Abstandes der Druckentnahme im Einlauf von der Blendenstirnseite zum Rohrdurchmesser;
- $L_2 = l_2/D$  das Verhältnis des Abstandes der Druckentnahme im Auslauf von der Blendenrückseite zum Rohrdurchmesser ( $L_2$  deutet den Bezug auf den Abstand von der Blendenrückseite an,  $L_2$  würde sich auf den Abstand von der Blendenstirnseite beziehen.)

**ANMERKUNG 6:** Wenn  $L_1 \geq 0,0390/0,0900$  ( $= 0,4333$ ) ist, wird  $0,0390$  als Wert des Koeffizienten von  $\beta^4 (1 - \beta^4)^{-1}$  eingesetzt.

Sind die Anforderungen nach 8.2.1.2, 8.2.1.3 oder 8.2.2 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:  
 $L_1 = 1$   
 $L_2 = 0,47$

[da  $L_1$  stets größer ist als  $0,4333$ , muß  $0,0390$  für den Koeffizienten von  $\beta^4 (1 - \beta^4)^{-1}$  eingesetzt werden]

- für Flansch-Druckentnahmen:

$$L_1 = L_2 = \frac{25,4}{D},$$

wobei  $D$  in mm angegeben ist.

In Rohrleitungen mit  $D \leq 58,62$  mm wird  $L_1 \geq 0,4333$ , dann wird der Wert  $0,0390$  für den Koeffizienten von  $\beta^4 (1 - \beta^4)^{-1}$  eingesetzt.

Die Gleichung nach Stolz gilt nur für Anordnungen von Druckentnahmen, wie sie in 8.2.1 oder 8.2.2 beschrieben sind. Andere Wertepaare für  $L_1$  und  $L_2$ , die nicht einer der drei genormten Druckentnahmearten entsprechen, dürfen nicht in die Gleichung eingesetzt werden.

Die Gleichung und die in 8.3.3 angegebenen Unsicherheiten sind nur gültig, wenn die Messungen innerhalb der Anwendungsgrenzen nach 8.3.1 liegen und die allgemeinen Einbauanforderungen des Abschnittes 7 erfüllt sind. Werte für  $C$  als Funktion von  $\beta$ ,  $Re_D$  und  $D$  sind zur Erleichterung in den Tabellen A.1 bis A.11 angegeben. Diese Werte sind nicht für genaue Interpolationen vorgesehen. Extrapolationen sind nicht zulässig.

#### 8.3.2.2 Expansionszahl $\varepsilon_1$

Die empirische Gleichung zur Berechnung der Expansionszahl  $\varepsilon_1$  von Blenden lautet für alle drei Arten der Druckentnahme:

$$\varepsilon_1 = 1 - (0,41 + 0,35 \beta^4) \frac{\Delta p}{\kappa p_1}$$

Diese Gleichung ist nur innerhalb der in 8.3.1 angegebenen Grenzen anwendbar.

Für die Bestimmung von  $\varepsilon_1$  liegen Versuche mit Luft, Dampf und Erdgas vor. Es bestehen jedoch keine Bedenken, die Gleichung auf andere Gase und Dämpfe mit bekanntem Isentropenexponenten anzuwenden.

Andererseits ist die Gleichung nur anwendbar für  $p_2/p_1 \geq 0,75$ .

Werte für die Expansionszahl als eine Funktion des Isentropenexponenten, des Druckverhältnisses und des Durchmesser Verhältnisses sind zur Erleichterung in Tabelle A.14 angegeben. Diese Werte sind nicht für genaue Interpolationen vorgesehen. Extrapolationen sind nicht zulässig.

Zu beachten ist, daß

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \sqrt{1 + \frac{\Delta p}{p_2}} \text{ ist.}$$

### 8.3.3 Unsicherheiten

#### 8.3.3.1 Unsicherheit des Durchflußkoeffizienten $C$

Wenn  $\beta$ ,  $D$ ,  $Re_D$  und  $k/D$  als fehlerfrei angenommen werden können, beträgt die relative Unsicherheit von  $C$  bei allen drei Druckentnahmearten

$$0,6\% \text{ für } \beta \leq 0,6$$

$$\beta\% \text{ für } 0,6 < \beta \leq 0,75$$

#### 8.3.3.2 Unsicherheit der Expansionszahl $\varepsilon_1$

Wenn  $\beta$ ,  $\Delta p/p_1$  und  $\kappa$  als fehlerfrei angenommen werden können, beträgt die relative Unsicherheit von  $\varepsilon_1$  in Prozent

$$4 \frac{\Delta p}{p_1}$$

### 8.4 Druckverlust $\Delta\bar{w}$

8.4.1 Der Druckverlust  $\Delta\bar{w}$ , den die in diesem Teil von ISO 5167 beschriebenen Blenden verursachen, kann näherungsweise aus dem Wirkdruck  $\Delta p$  berechnet werden

$$\Delta\bar{w} = \frac{\sqrt{1 - \beta^4} - C\beta^2}{\sqrt{1 - \beta^4} + C\beta^2} \Delta p$$

Dieser Druckverlust ist die Differenz der statischen Drücke zwischen der Einlaufseite des Drosselgerätes an einer Stelle, an der der Einfluß des Staudruckes vernachlässigt werden darf (etwa ein  $D$  vor dem Drosselgerät) und der Auslaufseite an einer Stelle, an der der Rückgewinn des statischen Druckes durch Strahlaufweitung abgeschlossen ist (etwa  $6D$  hinter dem Drosselgerät).

8.4.2 Eine weitere näherungsweise Bestimmung der Werte von  $\Delta\bar{w}/\Delta p$  für Blenden ist nach folgender Gleichung möglich

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

## 9 Düsen

Es gibt zwei Arten von genormten Düsen,

- die ISA-1932-Düse und
- die Langradius-Düse,

die sich voneinander unterscheiden und daher getrennt beschrieben werden.

Die Grenzwerte für die Anwendungsbereiche werden in 9.1.6.1 und 9.2.6.1 angegeben.

### 9.1 ISA-1932-Düse

Das Bild 7 zeigt einen Schnitt durch eine ISA-1932-Düse. Die im folgenden Text benutzten Buchstaben entsprechen denen im Bild 7.

#### 9.1.1 Allgemeine Beschreibung der Form

Der innerhalb der Rohrleitung liegende Düsenteil ist rotationssymmetrisch. Die Düse besteht aus einem sich verengenden Teil mit einem gerundeten Profil und aus einem zylindrischen Halsteil.

#### 9.1.2 Düsenprofil

9.1.2.1 Das Düsenprofil ist gekennzeichnet durch

- die zur Symmetrieachse senkrecht stehende ebene Stirnfläche A,
- das aus den Kreisbogen B und C bestehende, sich verengende Einlaufprofil,
- den zylindrischen Halsteil E und
- den Schutzrand F, der nur notwendig ist, wenn eine Beschädigung der Austrittskante f zu befürchten ist.

9.1.2.2 Die Stirnfläche A ist durch die Fläche zwischen coaxialen Kreisen um die Symmetrieachse mit den Durchmessern  $1,5d$  und dem Rohrinne Durchmesser  $D$  begrenzt.

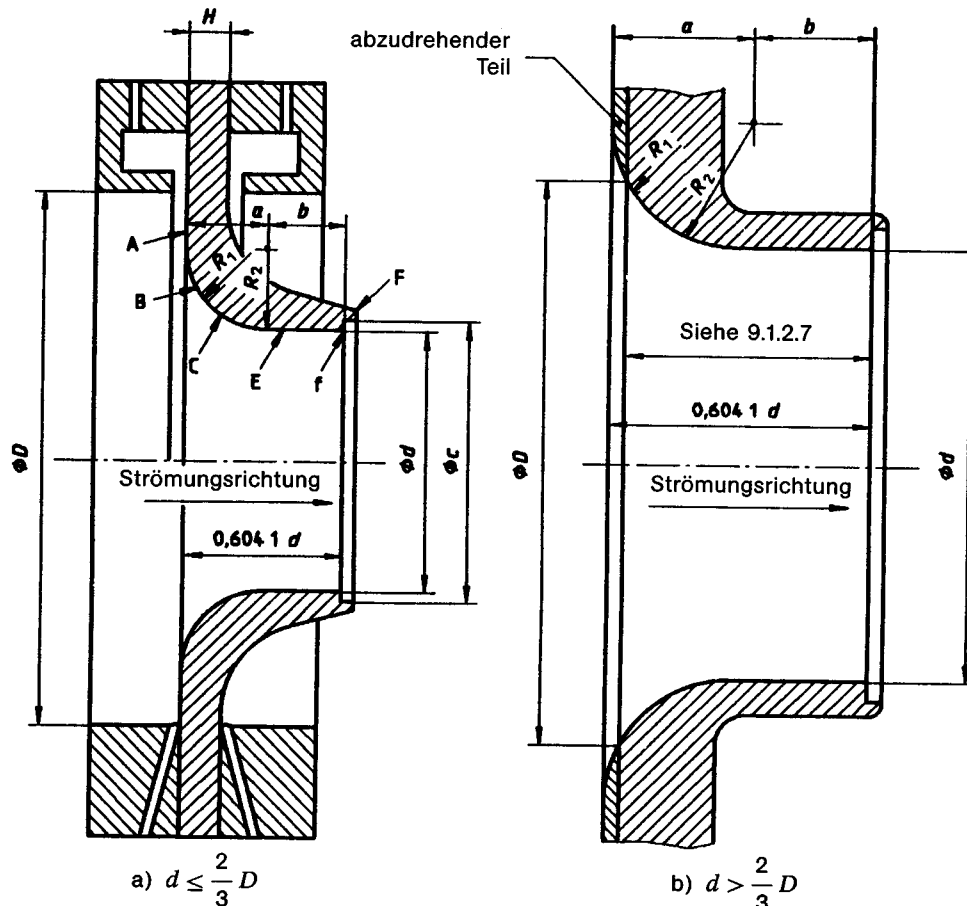


Bild 7: ISA-1932-Düse

Für  $d = 2D/3$  ist die radiale Breite der Stirnfläche gleich Null.

Für  $d$  größer  $2D/3$  ist innerhalb der Rohrleitung keine ebene Stirnfläche vorhanden. In diesem Fall wird die Düse so hergestellt, als ob  $D$  größer als  $1,5d$  wäre, und die Stirnfläche wird so abgedreht, daß der größte Durchmesser des Einlaufprofils gleich dem Rohrdurchmesser  $D$  ist (siehe 9.1.2.7 und Bild 7 b)).

**9.1.2.3** Der Kreisbogen B geht für  $d < 2D/3$  tangential in die Stirnfläche A über. Sein Radius ist  $R_1$  gleich  $0,2d \pm 10\%$  für  $\beta < 0,5$  und  $0,2d \pm 3\%$  für  $\beta \geq 0,5$ . Sein Mittelpunkt hat einen Abstand von  $0,2d$  von der Stirnfläche A und von  $0,75d$  von der Symmetrieachse.

**9.1.2.4** Der Kreisbogen C geht tangential in den Kreisbogen B und in den Halsteil E über. Sein Radius ist  $R_2$  gleich  $d/3 \pm 10\%$  für  $\beta < 0,5$  und  $d/3 \pm 3\%$  für  $\beta \geq 0,5$ . Sein Mittelpunkt hat einen Abstand von  $d/2 + d/3 = 5d/6$  von der Symmetrieachse und von

$$a = \frac{12 + \sqrt{39}}{60} d = 0,3041 d$$

von der Stirnfläche A.

**9.1.2.5** Das Halsteil E hat den Durchmesser  $d$  und die Länge  $b = 0,3d$ .

Der Durchmesser  $d$  des Halsteiles ist der arithmetische Mittelwert aus mindestens vier Durchmessern, die in verschiedenen axialen Ebenen mit annähernd gleichen Winkelabständen zueinander gemessen sind.

Der Halsteil muß zylindrisch sein. Kein Durchmesser darf um mehr als  $0,05\%$  vom mittleren Durchmesser  $d$  abweichen. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn keiner der gemessenen Durchmesser die obengenannte Grenze in bezug auf die Grenzabweichungen vom Mittelwert überschreitet.

**9.1.2.6** Der Schutzrand F hat einen Durchmesser  $c$  von mindestens  $1,06d$  und eine Länge von gleich oder kleiner  $0,03d$ . Das Verhältnis der Höhe  $(c - d)/2$  zu seiner axialen Länge darf nicht größer als  $1,2$  sein.

Die Auslaufkante f muß scharfkantig sein.

**9.1.2.7** Die Gesamtlänge der Düse ohne den Schutzrand F beträgt  $0,6041d$ , wenn  $d$  gleich oder kleiner als  $2D/3$  ist, sie ist infolge des Abdrehens der Stirnfläche kürzer, wenn  $d$  größer als  $2D/3$  ist.

Die Gesamtlänge der Düse ohne Schutzrand als Funktion von  $\beta$  ist gleich

$$0,6041d \text{ für } 0,3 \leq \beta \leq \frac{2}{3}$$

und

$$\left[ 0,4041 + \left( \frac{0,75}{\beta} - \frac{0,25}{\beta^2} - 0,5225 \right)^{1/2} \right] d$$

$$\text{für } \frac{2}{3} < \beta \leq 0,8$$

**9.1.2.8** Das sich verengende Einlaufprofil ist mit einer Schablone zu prüfen.

Zwei Durchmesser des Einlaufprofils, die in derselben zur Symmetrieachse senkrechten Ebene gemessen werden,

dürfen sich höchstens um  $0,1\%$  ihres Mittelwertes voneinander unterscheiden.

**9.1.2.9** Für die Oberfläche der Einlaufseite und des Halsteiles muß ein arithmetischer Mittenrauhwert  $R_a \leq 10^{-4}d$  eingehalten sein.

### 9.1.3 Rückseite

**9.1.3.1** Die Dicke  $H$  darf den Wert  $0,1D$  nicht überschreiten.

**9.1.3.2** Abgesehen von der Bedingung in 9.1.3.1, bestehen für das Profil und die Oberflächenbeschaffenheit der Rückseite keine besonderen Anforderungen (siehe 9.1.1).

### 9.1.4 Werkstoff und Herstellung

Die Anforderungen nach 8.1.9 gelten auch für die Herstellung der ISA-1932-Düse.

### 9.1.5 Druckentnahmen

**9.1.5.1** Die Plus-Druckentnahmen müssen Eck-Druckentnahmen sein.

**9.1.5.2** Die Ausführung der Plus-Druckentnahmen müssen den Anforderungen nach 8.2.2 entsprechen.

**9.1.5.3** Die Minus-Druckentnahmen dürfen auch als Eck-Druckentnahmen ausgeführt sein, aber in jedem Fall muß der Abstand zwischen der Mittellinie der Druckentnahme und der Stirnfläche der Düse

$$\leq 0,15D \text{ für } \beta \leq 0,67$$

$$\leq 0,2D \text{ für } \beta > 0,67$$

betragen.

**9.1.5.4** Der Durchmesser der Minus-Druckentnahme muß 8.2.1.7 entsprechen. Eck-Druckentnahmen nach 8.2.2 dürfen ebenfalls benutzt werden.

### 9.1.6 Koeffizienten der ISA-1932-Düsen

#### 9.1.6.1 Anwendungsbereiche

Düsen, die diesem Teil von ISO 5167 entsprechen, dürfen nur angewendet werden, wenn

$$50 \text{ mm} \leq D \leq 500 \text{ mm}$$

$$0,3 \leq \beta \leq 0,8$$

und wenn  $Re_D$  innerhalb folgender Grenzwerte liegt:

$$\text{für } 0,30 \leq \beta < 0,44 \quad 7 \times 10^4 \leq Re_D \leq 10^7$$

$$\text{für } 0,44 \leq \beta \leq 0,80 \quad 2 \times 10^4 \leq Re_D \leq 10^7$$

Zusätzlich muß die relative Rauheit der Rohrleitung mit den Werten der Tabelle 4 übereinstimmen.

Die meisten Versuche, auf denen die  $C$ -Werte beruhen, wurden in Rohren mit einer relativen Rauheit von  $k/D \leq 3,8 \times 10^{-4}$  durchgeführt. Es dürfen auch Rohre mit größerer relativer Rauheit benutzt werden, sofern ihre Rauheit im Bereich von mindestens  $10D$  vor der Düse innerhalb der in Tabelle 4 gegebenen Grenzen bleibt (zur Schätzung von  $k/D$  siehe 8.3.1).

#### 9.1.6.2 Durchflußkoeffizient $C$

Der Durchflußkoeffizient  $C$  wird aus folgender Gleichung ermittelt:

$$C = 0,9900 - 0,2262\beta^{4,1} - (0,00175\beta^2 - 0,0033\beta^{4,15}) \left( \frac{10^6}{Re_D} \right)^{1,15}$$

**Tabelle 4: Obere Grenzwerte der relativen Rohrrauheit im Einlauf von ISA-1932-Düsen**

| $\beta$    | $\leq 0,35$ | 0,36 | 0,38 | 0,40 | 0,42 | 0,44 | 0,46 | 0,48 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,77 | 0,80 |
|------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $10^4 k/D$ | 25          | 18,6 | 13,5 | 10,6 | 8,7  | 7,5  | 6,7  | 6,1  | 5,6  | 4,5  | 4,0  | 3,9  | 3,9  |

Werte von  $C$  als Funktion von  $\beta$  und  $Re_D$  sind zur Erleichterung in Tabelle A.12 angegeben. Für genaue Interpolationen sind diese Tabellenwerte nicht vorgesehen. Extrapolationen sind nicht zulässig.

### 9.1.6.3 Expansionszahl $\varepsilon_1$

Die Expansionszahl  $\varepsilon_1$  kann aus folgender Gleichung berechnet werden:

$$\varepsilon_1 = \left[ \left( \frac{\kappa \tau^{2/\kappa}}{\kappa - 1} \right) \left( \frac{1 - \beta^4}{1 - \beta^4 \tau^{2/\kappa}} \right) \times \left( \frac{1 - \tau^{(\kappa-1)/\kappa}}{1 - \tau} \right) \right]^{1/2}$$

Diese Gleichung gilt nur, wenn die Werte für  $\beta$ ,  $D$  und  $Re_D$  denen in 9.1.6.1 entsprechen. Versuchsergebnisse zur Ermittlung der Expansionszahl  $\varepsilon_1$  liegen für Luft, Dampf und Erdgas vor.

Es sind jedoch keine Gründe bekannt, die gegen die Benutzung dieser Gleichung für andere Gase und Dämpfe mit bekanntem Isentropenexponenten sprechen.

Im übrigen gilt die Gleichung nur für  $p_2/p_1 \geq 0,75$ .

Werte für Expansionszahlen für verschiedene Isentropenexponenten, Druckverhältnisse und Durchmesserhältnisse sind zur Erleichterung in Tabelle A.15 angegeben. Diese Werte sind nicht für genaue Interpolationen vorgesehen. Extrapolationen sind nicht zulässig.

Zu beachten ist, daß

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \sqrt{1 + \frac{\Delta p}{p_2}}$$

ist.

### 9.1.7 Unsicherheiten

#### 9.1.7.1 Unsicherheit des Durchflußkoeffizienten $C$

Wenn  $\beta$ ,  $D$ ,  $Re_D$  und  $k/D$  als fehlerfrei angenommen werden können, ist die relative Unsicherheit von  $C$  gleich

$$\begin{aligned} &0,8\% \text{ für } \beta \leq 0,6 \\ &(2\beta - 0,4)\% \text{ für } \beta > 0,6 \end{aligned}$$

#### 9.1.7.2 Unsicherheit der Expansionszahl $\varepsilon_1$

Die relative Unsicherheit von  $\varepsilon_1$  in Prozent beträgt

$$2 \frac{\Delta p}{p_1}$$

### 9.1.8 Druckverlust $\Delta \bar{w}$

8.4.1 ist gleichermaßen zur Berechnung des Druckverlustes der ISA-1932-Düsen anzuwenden (8.4.2 darf jedoch nicht angewandt werden).

## 9.2 Langradius-Düsen

### 9.2.1 Allgemeine Beschreibung der Form

Zwei Arten von Langradius-Düsen werden wie folgt unterschieden:

- Düsen mit großem Durchmesser Verhältnis ( $0,25 \leq \beta \leq 0,8$ ) und
- Düsen mit kleinem Durchmesser Verhältnis ( $0,20 \leq \beta \leq 0,5$ ).

Für  $\beta$ -Werte zwischen 0,25 bis 0,5 können beide Düsenarten verwendet werden.

Bild 8 zeigt beide Düsenarten im Schnitt.

Die im folgenden Text benutzten Buchstaben entsprechen denen des Bildes 8.

Beide Düsenarten bestehen aus einem sich verengenden Teil in Form einer Vierteilellipse und einem zylindrischen Halsteil.

Der innerhalb der Rohrleitung befindliche Teil der Düse ist rotationssymmetrisch.

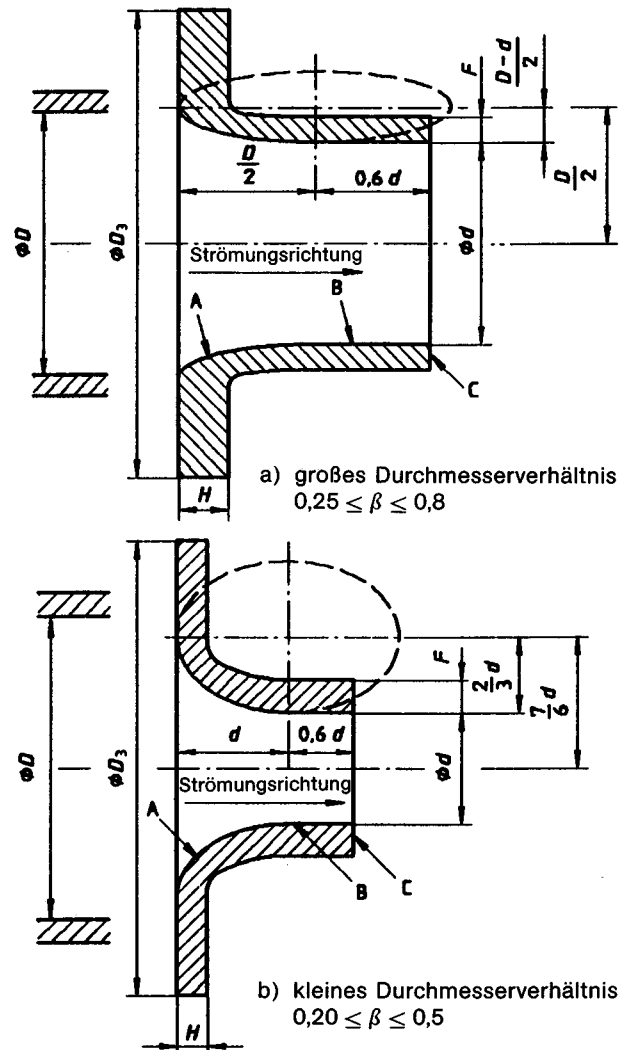


Bild 8: Langradius-Düsen

### 9.2.2 Profil der Düse mit großem Durchmesser Verhältnis

#### 9.2.2.1 Das Düsenprofil ist gekennzeichnet durch

- den sich verengenden Teil A,
- den zylindrischen Halsteil B und
- das stumpfe Ende C.

#### 9.2.2.2 Der sich verengende Teil A hat die Form einer Vierteilellipse.

Der Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Ellipse und der Symmetrieachse der Düse beträgt  $D/2$ . Die Hauptachse der Ellipse verläuft parallel zur Symmetrieachse der Düse. Die halbe Länge der Hauptachse beträgt  $D/2$ . Die halbe Länge der Nebenachse beträgt  $(D - d)/2$ .

Das Profil des sich verengenden Teiles ist mit einer Schablone zu prüfen. Zwei Durchmesser des sich verengenden Teiles, die in derselben zur Symmetrieachse senkrechten Ebene gemessen werden, dürfen sich höchstens um 0,1 % ihres Mittelwertes voneinander unterscheiden.

#### 9.2.2.3 Der Halsteil B hat den Durchmesser $d$ und eine Länge von $0,6d$ .

Als Durchmesser  $d$  des zylindrischen Teiles gilt der arithmetische Mittelwert von mindestens vier Durchmessern, die in verschiedenen axialen Ebenen mit annähernd gleichen Winkelabständen zueinander gemessen werden.

Der Halsteil muß zylindrisch sein. Kein Durchmesser darf um mehr als 0,05 % vom mittleren Durchmesser abweichen. Um festzustellen, daß der Halsteil sich auf keinen Fall in Strömungsrichtung erweitert, sind in einer genügenden

Anzahl von Querschnitten Messungen vorzunehmen. Eine geringe Verengung innerhalb der angegebenen Unsicherheitsgrenzen ist jedoch zulässig. Diese Bedingung ist besonders für den in unmittelbarer Nähe des Austrittes des Halsteiles liegenden Abschnitt wichtig. Die Anforderung gilt als erfüllt, wenn keiner der gemessenen Durchmesser die obengenannte Grenze in bezug auf die Grenzabweichungen vom Mittelwert überschreitet.

**9.2.2.4** Der Abstand zwischen Rohrwand und Rückseite des Halsteiles muß  $\geq 3$  mm sein.

**9.2.2.5** Die Dicke  $H$  muß gleich oder größer als 3 mm und gleich oder kleiner als  $0,15 D$  sein. Die Dicke  $F$  des zylindrischen Teiles muß zwischen 3 mm und 13 mm liegen.

**9.2.2.6** Der arithmetische Mittenrauhwert  $R_a$  muß  $\leq 10^{-4} d$  sein.

**9.2.2.7** Für die Form der Rückseite (Außenseite) bestehen keine besonderen Anforderungen; sie muß jedoch 9.2.2.4 und 9.2.2.5 und dem letzten Satz von 9.2.1 entsprechen.

### 9.2.3 Profil der Düse mit kleinem Durchmesser Verhältnis

**9.2.3.1** Die Anforderungen nach 9.2.2 für Düsen mit großem Durchmesser Verhältnis gelten auch für Düsen mit kleinem Durchmesser Verhältnis mit Ausnahme für die Ausführung der Ellipse, für die die Ausführung nach 9.2.3.2 festgelegt ist.

**9.2.3.2** Der sich verengende Einlaufteil A hat die Form einer Vierteilellipse. Der Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Ellipse und der Symmetrieachse der Düse beträgt  $d/2 + 2d/3 = 7d/6$ . Die Hauptachse der Ellipse verläuft parallel zur Symmetrieachse der Düse. Die halbe Länge der Hauptachse beträgt  $d$ . Die halbe Länge der Nebenachse beträgt  $2d/3$ .

### 9.2.4 Werkstoff und Herstellung

Die Anforderungen nach 8.1.9 gelten auch für die Herstellung der Langradius-Düsen.

### 9.2.5 Druckentnahmen

**9.2.5.1** Die Druckentnahmen müssen den Angaben nach 8.2.1 entsprechen.

**9.2.5.2** Die Plus-Druckentnahme muß sich in einem Abstand von  $1 D \pm_{0,1}^{0,2} D$  der Stirnfläche der Düse befinden. Die Mittellinie der Minus-Druckentnahme soll in einem Abstand von  $0,5 D \pm 0,01 D$  hinter der Stirnfläche, jedoch in keinem Fall hinter dem Ausgang der Düse, liegen.

**9.2.5.3** Die Plus- und Minus-Druckentnahmen werden an der Rohrwand angeordnet.

### 9.2.6 Koeffizienten für Langradius-Düsen

#### 9.2.6.1 Anwendungsbereiche

Langradius-Düsen, die diesem Teil von ISO 5167 entsprechen, dürfen nur angewendet werden, wenn

$$50 \text{ mm} \leq D \leq 630 \text{ mm}$$

$$0,2 \leq \beta \leq 0,8$$

$$10^4 \leq Re_D \leq 10^7$$

$$k/D \leq 10 \times 10^{-4}$$

#### 9.2.6.2 Durchflußkoeffizient $C$

Die Durchflußkoeffizienten  $C$  für beide Arten von Langradius-Düsen sind gleich, wenn die Druckentnahmen den Anforderungen nach 9.2.5 entsprechen.

Der Durchflußkoeffizient  $C$  wird, wenn die Reynoldszahl  $Re_D$  auf den Rohrdurchmesser vor der Düse bezogen wird, aus folgender Gleichung ermittelt:

$$C = 0,9965 - 0,00653 \beta^{0,5} \left( \frac{10^6}{Re_D} \right)^{0,5}$$

Bei einer auf den Durchmesser des Halsteiles bezogenen Reynoldszahl  $Re_d$  beträgt der Durchflußkoeffizient:

$$C = 0,9965 - 0,00653 \left( \frac{10^6}{Re_d} \right)^{0,5}$$

wobei in diesem Fall  $C$  vom Durchmesser Verhältnis  $\beta$  unabhängig ist.

Die Werte von  $C$  als Funktion von  $\beta$  und  $Re_D$  sind zur Erleichterung in Tabelle A.13 angegeben. Diese Werte sind nicht für genaue Interpolationen vorgesehen. Extrapolationen sind nicht zulässig.

### 9.2.6.3 Expansionszahl $\varepsilon_1$

Die Angaben nach 9.1.6.3 gelten auch für die Expansionszahlen von Langradius-Düsen, jedoch nur innerhalb der in 9.2.6.1 genannten Anwendungsbereiche.

### 9.2.7 Unsicherheiten

#### 9.2.7.1 Unsicherheit des Durchflußkoeffizienten $C$

Wenn  $\beta$  und  $Re_d$  als fehlerfrei angenommen werden können, beträgt die relative Unsicherheit von  $C$  gleich 2 % für alle Werte von  $\beta$  zwischen 0,2 und 0,8.

#### 9.2.7.2 Unsicherheiten der Expansionszahl $\varepsilon_1$

Die relative Unsicherheit von  $\varepsilon_1$  in Prozent beträgt

$$2 \frac{\Delta p}{p_1}$$

### 9.2.8 Druckverlust $\Delta \bar{w}$

Die nach 8.4.1 beschriebenen Angaben gelten ebenfalls für den Druckverlust von Langradius-Düsen (jedoch ohne Anwendung nach 8.4.2).

## 10 Venturirohre

Es gibt zwei verschiedene Arten von Venturirohren:

- das klassische Venturirohr und
- die Venturidüse.

Sie werden in 10.1 und 10.2 beschrieben.

Die Grenzwerte für die Anwendungsbereiche werden in 10.1.5.1 und 10.2.4.1 festgelegt.

### 10.1 Klassische Venturirohre

#### 10.1.1 Anwendungsbereich

Der Anwendungsbereich der in diesem Teil von ISO 5167 behandelten klassischen Venturirohre hängt von ihrer Herstellungsweise ab.

Bei klassischen Venturirohren gibt es drei Bauarten, die durch die Art der Herstellung der Innenfläche des Einlaufkonus und die Ausführung des Überganges vom Einlaufkonus zum Halsteil gekennzeichnet sind. Diese drei Herstellarten haben etwas unterschiedliche Merkmale und werden in 10.1.1.1 bis 10.1.1.3 beschrieben.

##### 10.1.1.1 Klassisches Venturirohr mit gußrauhem Einlaufkonus

Diese Bauart des klassischen Venturirohres wird durch Gießen in einer Sandform oder nach anderen Verfahren hergestellt, bei denen die Oberfläche des Einlaufkonus ähnlich der des Sandgusses wird. Der Halsteil muß bearbeitet und die Übergänge zwischen den zylindrischen und den konischen Teilen müssen gerundet sein.

Diese Bauart kann in Rohren  $100 \text{ mm} \leq D \leq 800 \text{ mm}$  und bei Durchmesser Verhältnissen  $0,3 \leq \beta \leq 0,75$  verwendet werden.

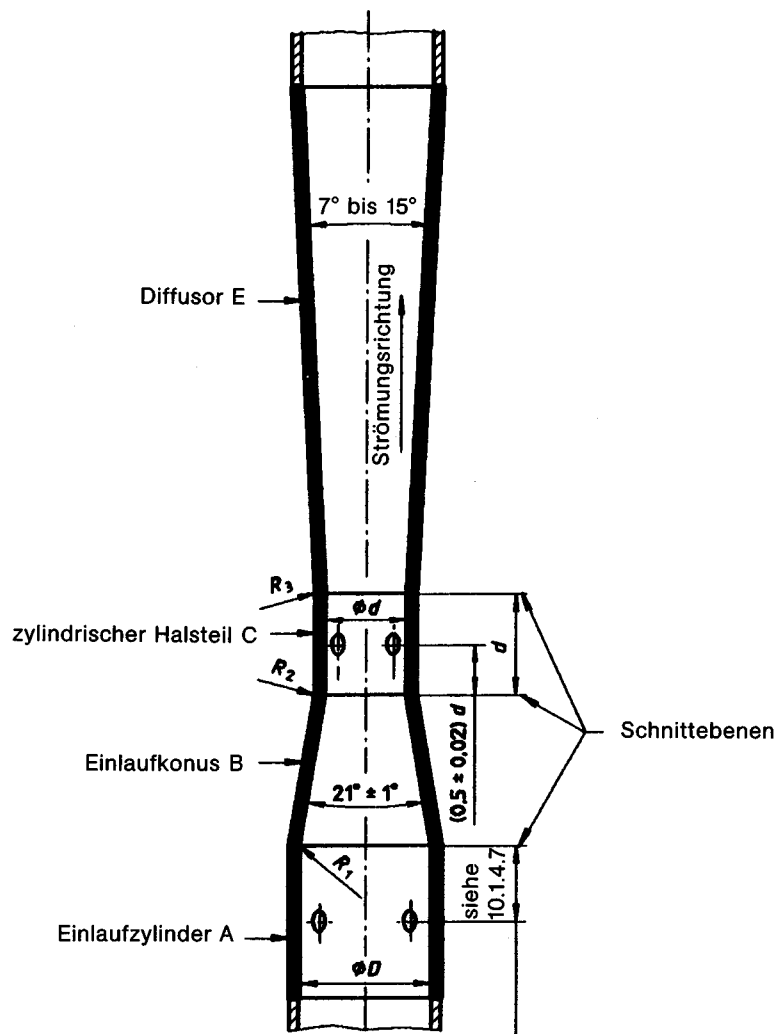


Bild 9: Klassisches Venturirohr

#### 10.1.1.2 Klassisches Venturirohr mit bearbeitetem Einlaufkonus

Diese Bauart des klassischen Venturirohres wird ebenfalls durch Gießen, oder wie in 10.1.1.1 angegeben, hergestellt, jedoch wird der Einlaufkonus ebenso wie der Halsteil und der Einlaufzylinder bearbeitet. Die Übergänge zwischen den zylindrischen und den konischen Teilen können gerundet sein.

Diese Bauart kann in Rohren  $50 \text{ mm} \leq D \leq 250 \text{ mm}$  und bei Durchmesserhältnissen  $0,4 \leq \beta \leq 0,75$  verwendet werden.

#### 10.1.1.3 Klassisches Venturirohr mit rauhem, aus Stahlblech geschweißtem Einlaufkonus

Diese Bauart des klassischen Venturirohres wird üblicherweise durch Schweißen hergestellt. Während die größeren Ausführungen unbearbeitet bleiben, wird bei den kleineren Ausführungen der Halsteil bearbeitet.

Diese Bauart kann in Rohren  $200 \text{ mm} \leq D \leq 1200 \text{ mm}$  und bei Durchmesserhältnissen  $0,4 \leq \beta \leq 0,7$  verwendet werden.

#### 10.1.2 Allgemeine Beschreibung der Form

In Bild 9 ist das klassische Venturirohr im Schnitt dargestellt. Die Buchstaben in Bild 9 gelten für den nachfolgenden Text.

Das klassische Venturirohr besteht aus einem Einlaufzylinder A, an den sich ein Einlaufkonus B, ein zylindrischer Halsteil C und ein konischer Diffusor E anschließen. Die Innen-

flächen der Bauteile müssen rotationssymmetrisch sein und konzentrisch zur Rohrachse liegen. Die Koaxialität des Einlaufkonus und des zylindrischen Halsteiles sind lediglich einer Sichtprüfung zu unterziehen.

**10.1.2.1** Der Einlaufzylinder A hat einen Durchmesser  $D$ , der vom Innendurchmesser der Rohrleitung höchstens um  $0,01 D$  abweichen darf.

Die Mindestlänge des Einlaufzylinders, gemessen von der Schnittebene des Einlaufkonus B mit dem Einlaufzylinder A, kann je nach Herstellungsweise unterschiedlich sein (siehe 10.1.2.7 bis 10.1.2.9). Es wird jedoch eine Länge von  $1 D$  empfohlen.

Der Durchmesser  $D$  des Einlaufzylinders ist in der Ebene der Plus-Druckentnahmen zu messen. Die Anzahl der Messungen muß wenigstens gleich der Anzahl der Druckentnahmen sein (mindestens vier).

Die Durchmesser müssen nahe jedem Druckentnahmepaar und auch dazwischen gemessen werden. Der Mittelwert dieser Messungen wird als Berechnungswert  $D$  verwendet.

Auch in anderen Ebenen als der Ebene mit den Druckentnahmen müssen Durchmesser gemessen werden.

Dabei darf innerhalb des Einlaufzylinders kein Durchmesser um mehr als  $0,4\%$  vom mittleren Durchmesser  $D$  abweichen. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn die Längendifferenz der gemessenen Durchmesser mit den Anforderungen im Hinblick auf den Mittelwert der gemessenen Durchmesser übereinstimmt.

**10.1.2.2** Der Einlaufkonus B muß kegelförmig sein und für jede Bauart des klassischen Venturirohres einen Öffnungswinkel von  $21^\circ \pm 1^\circ$  haben. Am Einlauf wird er begrenzt durch den Schnitt des Kegelstumpfes B mit dem Einlaufzylinder A (oder deren Verlängerungen) und am Auslauf durch den Schnitt des Kegelstumpfes B mit dem Halsteil C (oder deren Verlängerungen).

Die Gesamtlänge des Einlaufkonus B, parallel zur Symmetrieachse gemessen, beträgt angenähert  $2,7 (D - d)$ .

Der Einlaufkonus B geht in den Einlaufzylinder A mit einem Krümmungsradius  $R_1$  über, dessen Größe von der Bauart des klassischen Venturirohres abhängt.

Das Profil des Einlaufkonus muß mittels einer Schablone geprüft werden. Die Abweichung zwischen Schablone und konischem Abschnitt des Einlaufkonus soll an keiner Stelle mehr als 0,4 % von  $D$  betragen.

Die innere Oberfläche des kegeligen Abschnittes des Einlaufkonus gilt als Rotationsfläche, wenn zwei Durchmesser, die in gleicher Ebene senkrecht zur Symmetrieachse liegen, um nicht mehr als 0,4 % von ihrem Mittelwert abweichen.

Dies gilt auch für die Fläche mit dem Krümmungsradius  $R_1$ , die ebenfalls eine Rotationsfläche sein muß.

**10.1.2.3** Der Halsteil C mit dem Durchmesser  $d$  muß zylindrisch sein. Er ist stromaufwärts begrenzt durch den Schnitt des Kegelstumpfes B mit dem Halsteil C (oder deren Verlängerungen) und stromabwärts durch den Schnitt des Halsteiles C mit dem Kegelstumpf E oder deren Verlängerungen. Die Länge des Halsteiles C, d. h., der Abstand dieser beiden Schnitte muß, unabhängig von der Bauart des klassischen Venturirohres, gleich  $d$  sein.

Der Halsteil C geht mit dem Krümmungsradius  $R_2$  in den Einlaufkonus B und mit dem Krümmungsradius  $R_3$  in den Diffusor E über. Der Wert von  $R_2$  bzw.  $R_3$  hängt von der Bauart des klassischen Venturirohres ab.

Der Durchmesser  $d$  muß in der Ebene der Druckentnahmen des Halsteiles sehr sorgfältig gemessen werden. Die Anzahl der Messungen muß mindestens gleich der Anzahl der Druckentnahmen sein (mindestens vier). Die Durchmesser müssen nahe jedem Druckentnahmepaar und auch dazwischen gemessen werden. Der Mittelwert dieser Messungen ist der Berechnungswert  $d$ .

Durchmesser müssen auch in anderen Ebenen als der Ebene mit den Druckentnahmen gemessen werden.

Dabei darf innerhalb des Halsteiles kein Durchmesser um mehr als 0,1 % vom mittleren Durchmesser  $d$  abweichen. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn die Längendifferenz der gemessenen Durchmesser mit den Anforderungen im Hinblick auf den Mittelwert der gemessenen Durchmesser übereinstimmt.

Der Halsteil muß maschinell bearbeitet sein oder über seine ganze Länge den in 10.1.2.6 angegebenen arithmetischen Mittenrauhwert haben.

Es muß geprüft werden, ob die Übergangskrümmungen in den Halsteil mit den Radien  $R_2$  und  $R_3$  Rotationsflächen nach 10.1.2.2 sind. Diese Bedingung gilt als erfüllt, wenn zwei Durchmesser, die in derselben Ebene senkrecht zur Symmetrieachse liegen, um nicht mehr als 0,1 % vom mittleren Durchmesser abweichen.

Die Größe der Krümmungsradien  $R_2$  und  $R_3$  muß mittels Schablone geprüft werden.

Die Abweichungen zwischen Schablone und klassischem Venturirohr sollen symmetrisch sein, so daß die maximale Abweichung etwa in der Mitte des gekrümmten Profils der Schablone liegt und nicht größer als  $0,02 d$  ist.

**10.1.2.4** Der Diffusor E muß konisch sein und darf einen Öffnungswinkel zwischen  $7^\circ$  und  $15^\circ$  haben; es wird jedoch empfohlen, einen Winkel zwischen  $7^\circ$  und  $8^\circ$  zu wählen.

Sein kleinster Durchmesser darf nicht kleiner als der Durchmesser des Halsteiles sein.

**10.1.2.5** Ein klassisches Venturirohr wird "verkürzt" genannt, wenn der Austrittsdurchmesser des Diffusors kleiner ist als der Durchmesser  $D$ , und "nicht verkürzt", wenn der Austrittsdurchmesser gleich dem Durchmesser  $D$  ist. Der Diffusorteil kann am Ende um etwa 35 % seiner Länge verkürzt werden, ohne daß sich dadurch der Druckverlust des Gerätes wesentlich verändert.

**10.1.2.6** Der arithmetische Mittenrauhwert  $R_a$  des Halsteiles und der anschließenden Krümmungen muß kleiner als  $10^{-5} d$  sein (siehe 6.1.2). Der Diffusor ist gußrau. Seine innere Oberfläche muß sauber und eben sein. Die Rauheit der anderen Teile des klassischen Venturirohres hängt von der jeweiligen Bauart ab.

**10.1.2.7** Das Profil des klassischen Venturirohres mit gußrauhem Einlaufkonus hat die folgenden besonderen Kennzeichen.

Die Innenfläche des Einlaufkonus B ist gußrau und unbearbeitet. Sie muß frei von Sprüngen, Rissen, Dellen, Unregelmäßigkeiten und Unsauberkeiten sein. Der arithmetische Mittenrauhwert  $R_a$  für die Oberfläche muß kleiner als  $10^{-4} D$  sein.

Die Mindestlänge des Einlaufzylinders A muß gleich dem kleineren der beiden folgenden Werte sein:  $1 D$  und  $0,25 D + 250 \text{ mm}$  (siehe 10.1.2.1).

Die Innenfläche des Einlaufzylinders A darf gußrau bleiben, sofern sie die gleiche Oberflächenbeschaffenheit wie die im Einlaufkonus B aufweist.

Der Krümmungsradius  $R_1$  muß  $1,375 D \pm 20 \%$  sein.

Der Krümmungsradius  $R_2$  muß  $3,625 d \pm 0,125 d$  sein.

Die Länge des zylindrischen Abschnittes des Halsteiles darf nicht kleiner als  $d/3$  sein. Außerdem dürfen sowohl die Länge des zylindrischen Teiles, der zwischen dem Ende der Übergangskrümmung  $R_2$  und der Ebene der Druckentnahmen liegt, als auch die Länge des zylindrischen Teiles zwischen der Ebene der Druckentnahmen des Halsteiles und dem Anfang der Übergangskrümmung  $R_3$  nicht kleiner als  $d/6$  sein (siehe 10.1.2.3 für die Länge des Halsteiles).

Der Krümmungsradius  $R_3$  muß zwischen  $5 d$  und  $15 d$  liegen. Sein Wert muß mit abnehmendem Öffnungswinkel zunehmen. Ein Wert von etwa  $10 d$  wird empfohlen.

**10.1.2.8** Das Profil des klassischen Venturirohres mit bearbeitetem Einlaufkonus hat die folgenden besonderen Kennzeichen.

Die Mindestlänge des Einlaufzylinders A muß  $1 D$  betragen. Der Krümmungsradius  $R_1$  muß kleiner als  $0,25 D$  und vorzugsweise Null sein.

Der Krümmungsradius  $R_2$  muß kleiner als  $0,25 d$  und vorzugsweise Null sein.

Die Länge des zylindrischen Abschnittes des Halsteiles zwischen dem Ende der Krümmung  $R_2$  und der Ebene der Druckentnahmen im Halsteil darf nicht kleiner als  $0,25 d$  sein.

Die Länge des zylindrischen Abschnittes des Halsteiles zwischen der Ebene der Druckentnahmen im Halsteil und dem Anfang der Krümmung  $R_3$  darf nicht kleiner als  $0,3 d$  sein.

Der Krümmungsradius  $R_3$  muß kleiner als  $0,25 d$  und vorzugsweise Null sein.

Der Einlaufzylinder und der Einlaufkonus müssen gleiche Oberflächengüte wie der Halsteil aufweisen (siehe 10.1.2.6).

**10.1.2.9** Das Profil des klassischen Venturirohres mit rauhem aus Stahlblech geschweißtem Einlaufkonus hat die folgenden besonderen Kennzeichen.

Die Mindestlänge des Einlaufzylinders A muß  $1D$  betragen.

Zwischen dem Einlaufzylinder A und dem Einlaufkonus B darf keine Abrundung, außer der durch das Schweißen bedingten, vorhanden sein.

Zwischen dem Einlaufkonus B und dem Halsteil C darf keine Abrundung, außer der durch das Schweißen bedingten, vorhanden sein.

Zwischen dem Halsteil C und dem Diffusor E darf keine Abrundung vorhanden sein.

Die Innenfläche des Einlaufzylinders A und des Einlaufkonus B muß sauber und frei von Ansätzen und Schweißrückständen sein. Sie darf galvanisiert sein. Ihr arithmetischer Mittenrauhwert  $R_a$  soll etwa  $5 \times 10^{-4} D$  sein.

Schweißnähte müssen an der Innenfläche eben in die umgebenden Oberflächen übergehen; sie dürfen nicht in der Nähe von Druckentnahmen sein.

### 10.1.3 Werkstoff und Herstellung

**10.1.3.1** Das klassische Venturirohr darf aus jedem Werkstoff hergestellt werden, sofern es der vorstehenden Beschreibung entspricht und während der Gebrauchsdauer unverändert bleibt.

**10.1.3.2** Es wird empfohlen, den Einlaufkonus B und den Halsteil C als ein Teil zusammenzubauen. Bei klassischen Venturirohren mit bearbeitetem Einlaufkonus wird empfohlen, den Halsteil und den Einlaufkonus aus einem Stück herzustellen. Ist dies nicht möglich, so muß der Zusammenbau vor der Endbearbeitung der Innenflächen erfolgen.

**10.1.3.3** Besondere Sorgfalt ist dem Zentrieren des Diffusors E und des Halsteiles zu widmen. Es darf kein Durchmessersprung zwischen beiden Teilen vorhanden sein.

Dies kann, bevor das klassische Venturirohr eingebaut wird, durch Tasten geprüft werden, nachdem Diffusor und Halsteil zusammengebaut worden sind.

**10.1.3.4** Wenn der Halsteil mit einer Auskleidung versehen wird, muß diese nach dem Zusammenbau bearbeitet werden.

### 10.1.4 Druckentnahmen

**10.1.4.1** Die Plus- und Minus-Druckentnahmen müssen in der Rohrwand als Einzelanbohrungen ausgeführt sein, die durch Ringkammern oder Ringleitungen miteinander verbunden sind.

**10.1.4.2** Der Durchmesser dieser Entnahmestellen muß zwischen 4 mm und 10 mm liegen, jedoch bei den Plus-Druckentnahmen nicht größer als  $0,1D$  und bei den Entnahmen im Halsteil nicht größer als  $0,13d$  sein.

Es wird empfohlen, die Druckentnahmen so klein auszuführen, wie es das Fluid (z. B. wegen seiner Viskosität und Reinheit) erlaubt.

**10.1.4.3** Für die Druckmessung im Einlaufzylinder und im Halsteil müssen mindestens je vier Druckentnahmen vorgesehen sein. Die Mittellinien der Druckentnahmen sollen gleiche Winkel zueinander bilden, die Symmetrieachse des klassischen Venturirohres treffen und in einer Ebene senkrecht zur Symmetrieachse des klassischen Venturirohres liegen.

**10.1.4.4** Die Druckentnahmen an der Rohrwand müssen rund und die Kanten gratfrei und so scharf wie möglich sein. Bei einer Verrundung soll der Kantenradius kleiner als  $\frac{1}{10}$  des Bohrungsdurchmessers sein.

**10.1.4.5** Die Entnahmebohrungen müssen, gemessen von der Rohrinneiseite, über eine Länge von mindestens 2,5mal Bohrungsdurchmesser zylindrisch sein.

**10.1.4.6** Eine Übereinstimmung der Druckentnahmen mit den zwei vorhergehenden Bedingungen darf durch Sichtprüfung erfolgen.

**10.1.4.7** Der Abstand einer Druckentnahme ist die auf einer geraden Linie, parallel zur Symmetrieachse des klassischen Venturirohres gemessene Distanz zwischen der Mittelachse der Druckentnahme und einer der unten genannten Bezugsebenen.

Beim klassischen Venturirohr mit gußrauhem Einlaufkonus muß der Abstand zwischen den Druckentnahmen des Einlaufzylinders und der Schnittebene der Verlängerung des Einlaufkonus B mit dem Einlaufzylinder A

$$0,5D \pm 0,25D \text{ für } D \text{ zwischen } 100 \text{ mm und } 150 \text{ mm}$$

und

$$0,5D - 0,25D \text{ für } D \text{ zwischen } 150 \text{ mm und } 800 \text{ mm}$$

betragen.

Sowohl bei klassischen Venturirohren mit bearbeitetem Einlaufkonus als auch bei denen, die einen rauen, aus Stahlblech geschweißten Einlaufkonus haben, muß der Abstand zwischen den Plus-Druckentnahmen und der Schnittebene des Einlaufzylinders A mit dem Einlaufkonus B (oder ihren Verlängerungen)

$$0,5D \pm 0,05D$$

betragen.

Bei allen Arten des klassischen Venturirohres muß der Abstand zwischen den Druckentnahmen im Halsteil und der Schnittebene des Einlaufkonus B mit dem Halsteil C (oder ihren Verlängerungen)

$$0,5d \pm 0,02d$$

betragen.

**10.1.4.8** Der Ringkammerquerschnitt muß gleich oder größer sein als die halbe Fläche der Entnahmeöffnungen, die die Ringkammer mit dem Rohrinne verbinden.

Es wird jedoch empfohlen, den oben angegebenen Kammerquerschnitt zu verdoppeln, wenn das klassische Venturirohr nach einer Einbaustörung mit einer eben noch ausreichenden geraden Einlaufstrecke verwendet wird.

### 10.1.5 Durchflußkoeffizient C

#### 10.1.5.1 Anwendungsbereiche

Unabhängig von der Bauart eines klassischen Venturirohres muß die gleichzeitige Anwendung von extremen Werten für  $D$ ,  $\beta$  und  $Re_D$  vermieden werden, da sonst die in 10.1.7 angegebenen Unsicherheiten ansteigen können.

Der Einfluß von  $Re_D$ ,  $k/D$  und  $\beta$  auf  $C$  ist noch nicht so hinreichend bekannt, daß es möglich wäre, zuverlässige Werte von  $C$  außerhalb der Grenzen anzugeben, die für jedes klassische Venturirohr festgelegt sind (siehe Anhang B).

#### 10.1.5.2 Durchflußkoeffizient des klassischen Venturirohres mit gußrauhem Einlaufkonus

Klassische Venturirohre mit gußrauhem Einlaufkonus dürfen in Übereinstimmung mit diesem Teil von ISO 5167 nur verwendet werden, wenn die nachstehenden Grenzen

$$100 \text{ mm} \leq D \leq 800 \text{ mm}$$

$$0,3 \leq \beta \leq 0,75$$

$$2 \times 10^5 \leq Re_D \leq 2 \times 10^6$$

eingehalten werden.

Unter diesen Bedingungen ist der Wert des Durchflußkoeffizienten  $C$

$$C = 0,984$$

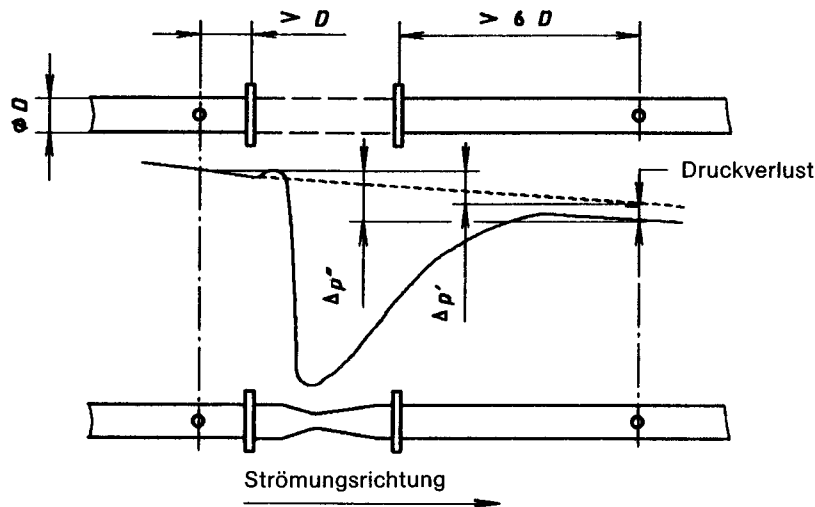


Bild 10: Druckverlust des klassischen Venturirohres

#### 10.1.5.3 Durchflußkoeffizient des klassischen Venturirohres mit bearbeitetem Einlaufkonus

Klassische Venturirohre mit bearbeitetem Einlaufkonus dürfen in Übereinstimmung mit diesem Teil von ISO 5167 nur verwendet werden, wenn die nachstehenden Grenzen

$$\begin{aligned} 50 \text{ mm} &\leq D \leq 250 \text{ mm} \\ 0,4 &\leq \beta \leq 0,75 \\ 2 \times 10^5 &\leq Re_D \leq 1 \times 10^6 \end{aligned}$$

eingehalten werden.

Unter diesen Bedingungen ist der Wert des Durchflußkoeffizienten  $C$

$$C = 0,995$$

#### 10.1.5.4 Durchflußkoeffizient des klassischen Venturirohres mit rauhem, aus Stahlblech geschweißtem Einlaufkonus

Klassische Venturirohre mit rauhem, aus Stahlblech geschweißtem Einlaufkonus dürfen in Übereinstimmung mit diesem Teil von ISO 5167 nur verwendet werden, wenn die nachstehenden Grenzen

$$\begin{aligned} 200 \text{ mm} &\leq D \leq 1200 \text{ mm} \\ 0,4 &\leq \beta \leq 0,7 \\ 2 \times 10^5 &\leq Re_D \leq 2 \times 10^6 \end{aligned}$$

eingehalten werden.

Unter diesen Bedingungen ist der Wert des Durchflußkoeffizienten  $C$

$$C = 0,985$$

#### 10.1.6 Expansionszahl $\varepsilon_1$

Die in 9.1.6.3 gemachten Angaben gelten auch für die Expansionszahl  $\varepsilon_1$  der verschiedenen Bauarten von klassischen Venturirohren, aber innerhalb der in 10.1.5.2, 10.1.5.3 und 10.1.5.4 angegebenen Anwendungsgrenzen.

#### 10.1.7 Unsicherheiten des Durchflußkoeffizienten $C$

##### 10.1.7.1 Klassisches Venturirohr mit gußrauhem Einlaufkonus

Die relative Unsicherheit des in 10.1.5.2 angegebenen Durchflußkoeffizienten beträgt 0,7 %<sup>11)</sup>.

##### 10.1.7.2 Klassisches Venturirohr mit bearbeitetem Einlaufkonus

Die relative Unsicherheit des in 10.1.5.3 angegebenen Durchflußkoeffizienten beträgt 1 %<sup>11)</sup>.

#### 10.1.7.3 Klassisches Venturirohr mit rauhem, aus Stahlblech geschweißtem Einlaufkonus

Die relative Unsicherheit des in 10.1.5.4 angegebenen Durchflußkoeffizienten beträgt 1,5 %<sup>11)</sup>.

#### 10.1.8 Unsicherheit der Expansionszahl $\varepsilon_1$

Die relative Unsicherheit der Expansionszahl  $\varepsilon_1$  in Prozent beträgt

$$(4 + 100 \beta^8) \frac{\Delta p}{p_1}$$

#### 10.1.9 Druckverlust

##### 10.1.9.1 Definition des Druckverlustes (siehe Bild 10)

Der durch das Venturirohr hervorgerufene Druckverlust kann durch Druckmessungen bestimmt werden, die vor und nach dem Einbau des Venturirohres in einer Rohrleitung mit bestimmtem Durchfluß vorgenommen werden.

Ist  $\Delta p'$  die Druckdifferenz, die vor dem Einbau des Venturirohres zwischen zwei Druckentnahmen gemessen wird, von denen eine mindestens  $1D$  stromaufwärts der Anschlußflansche und die andere  $6D$  stromabwärts der Anschlußflansche liegt, zwischen die das Venturirohr eingebaut wird, und ist  $\Delta p''$  die zwischen den gleichen Druckentnahmestellen nach dem Einbau des Venturirohres gemessene Druckdifferenz, so ist der durch das Venturirohr verursachte Druckverlust  $\Delta p'' - \Delta p'$ .

##### 10.1.9.2 Relativer Druckverlust

Der relative Druckverlust  $\xi$  ist der Wert des Druckverlustes  $\Delta p'' - \Delta p'$ , bezogen auf den Wirkdruck  $\Delta p$ :

$$\xi = \frac{\Delta p'' - \Delta p'}{\Delta p}$$

Er hängt im einzelnen ab von

- dem Durchmesser Verhältnis ( $\xi$  nimmt ab, wenn  $\beta$  zunimmt),
- der Reynoldszahl ( $\xi$  nimmt ab, wenn  $Re_D$  zunimmt),
- Besonderheiten der Herstellung des Venturirohres: Öffnungswinkel des Diffusors, Herstellungsart des Einlaufkonus, dem Oberflächenzustand der einzelnen Teile usw. ( $\xi$  nimmt zu, wenn  $\varphi$  und  $k/D$  zunimmt),

<sup>11)</sup> Die Unterschiede der Unsicherheiten sind einerseits durch die für jede Bauart des klassischen Venturirohres sehr verschiedene Anzahl von Versuchen, andererseits durch die mehr oder weniger genaue Angabe der Umrißlinien bedingt.

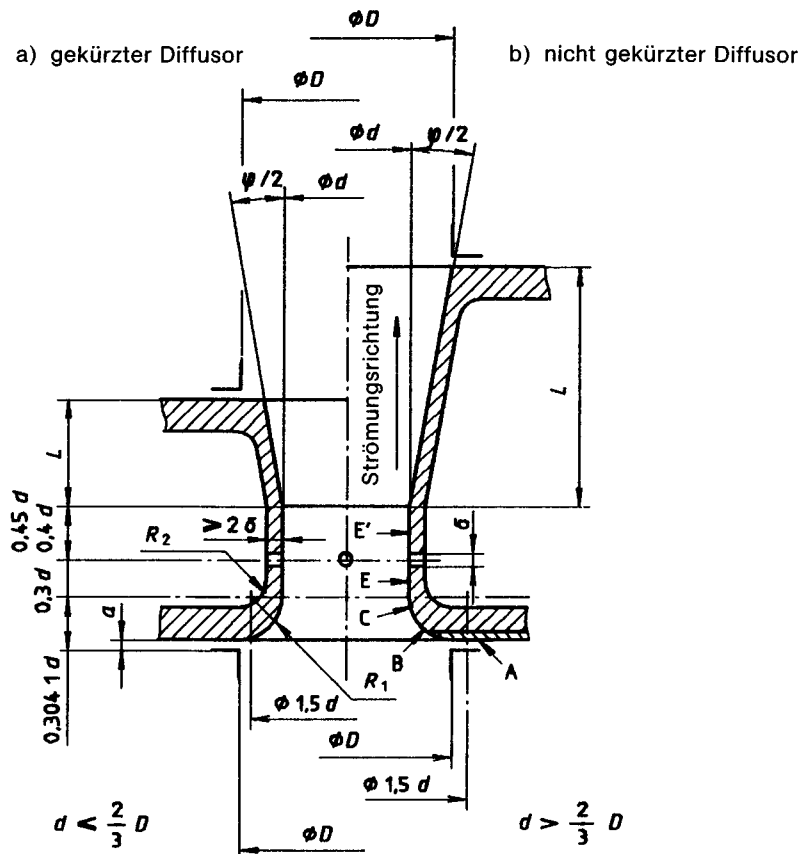


Bild 11: Venturidüsen

— den Einbaubedingungen (gute Ausrichtung, Rohrrauheit der Einlaufstrecke usw.).

Der relative Druckverlust liegt im allgemeinen zwischen 5 % und 20 %.

Der Anhang C enthält, lediglich zur Orientierung, einige Informationen über den Einfluß dieser verschiedenen Faktoren auf den relativen Druckverlust  $\zeta$ .

## 10.2 Venturidüsen

### 10.2.1 Allgemeine Formbeschreibung

**10.2.1.1** Das Profil der Venturidüse (siehe Bild 11) ist rotationssymmetrisch. Sie besteht aus einem sich verengenden Einlaufteil mit gerundetem Profil, einem zylindrischen Halsteil und einem Diffusor.

**10.2.1.2** Das Einlaufprofil ist mit dem der ISA-1932-Düse identisch (siehe Bild 7).

Die Beschreibungen in 9.1.2.2 bis 9.1.2.4 dürfen in gleicher Weise auf Venturidüsen angewandt werden.

**10.2.1.3** Der Halsteil (siehe Bild 11) besteht aus dem Teilstück E mit der Länge  $0,3d$ , das mit dem der ISA-1932-Düse (siehe Bild 7) übereinstimmt sowie aus einem Teilstück E' mit der Länge  $0,4d$  bis  $0,45d$ .

Der Durchmesser  $d$  des Halsteiles ist der arithmetische Mittelwert von wenigstens vier Meßwerten, die in verschiedenen axialen Ebenen unter annähernd gleichen Winkelabständen zueinander gemessen sind.

Der Halsteil muß zylindrisch sein, kein Durchmesser darf um mehr als 0,05 % vom mittleren Durchmesser abweichen. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn die Längendifferenz der gemessenen Durchmesser mit den Anforderungen im Hinblick auf den Mittelwert der gemessenen Durchmesser übereinstimmt.

**10.2.1.4** Der Diffusor (siehe Bild 11) geht in das Teilstück E' des Halsteiles ohne Abrundung über; eventuelle Schweißrückstände sind zu entfernen.

Der Gesamtwinkel des Diffusors  $\phi$  muß  $\leq 30^\circ$  sein.

Die Länge  $L$  des Diffusors hat praktisch keinen Einfluß auf den Durchflußkoeffizienten  $C$ . Der Gesamtwinkel des Diffusors  $\phi$  und die Länge  $L$  beeinflussen jedoch den Druckverlust.

**10.2.1.5** Die Venturidüse darf in gleicher Weise verkürzt werden wie das klassische Venturirohr (siehe 10.1.2.5).

**10.2.1.6** Die Innenfläche der Venturidüse muß einen arithmetischen Mittenrauhwert  $R_a \leq 10^{-4} d$  haben (siehe 6.1.2).

### 10.2.2 Werkstoff und Herstellung

**10.2.2.1** Die Venturidüse darf aus jedem Werkstoff hergestellt werden, sofern sie der vorstehenden Beschreibung nach 10.2.1 entspricht und während der Gebrauchsdauer so bleibt. Die Venturidüse muß auf jeden Fall während der Messung sauber sein.

**10.2.2.2** Üblicherweise wird die Venturidüse aus Metall hergestellt. Sie muß gegen Erosion und Korrosion durch das Fluid beständig sein.

### 10.2.3 Druckentnahmen

#### 10.2.3.1 Winkellage der Druckentnahmen

Die Mittellinien der Druckentnahmen können in jeder beliebigen axialen Ebene des Rohres liegen. 8.2 ist zu beachten.

#### 10.2.3.2 Plus-Druckentnahmen

Die Plus-Druckentnahmen müssen Eck-Druckentnahmen identisch mit denen der ISA-1932-Düse, wie in 8.2.2 beschrieben, sein (siehe Bilder 11 und 12).

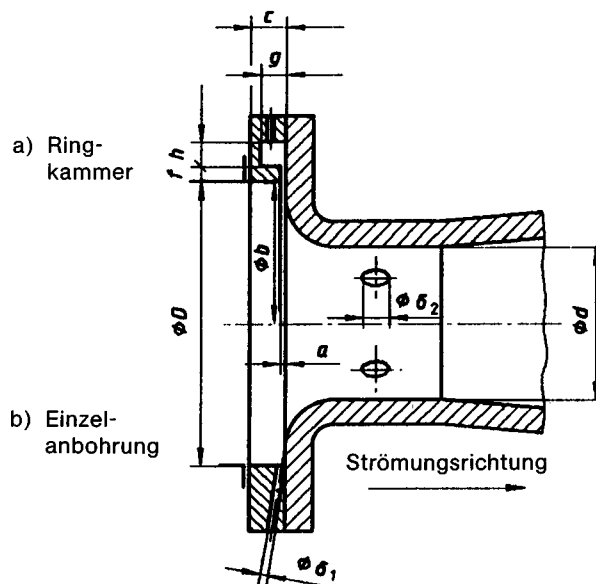


Bild 12: Venturidüse mit Fassungsring

Tabelle 5: Obere Grenzwerte der relativen Rohrrauheit im Einlauf vor Venturidüsen

| $\beta$    | $\leq 0,35$ | 0,36 | 0,38 | 0,40 | 0,42 | 0,44 | 0,46 | 0,48 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,775 |
|------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $10^4 k/D$ | 25          | 18,6 | 13,5 | 10,6 | 8,7  | 7,5  | 6,7  | 6,1  | 5,6  | 4,5  | 4,0  | 3,9   |

**10.2.3.3 Minus-Druckentnahmen im zylindrischen Halsteil**  
Die Minus-Druckentnahmen müssen mindestens vier Einzelanbohrungen sein, die in eine Ringkammer oder Ringleitung münden. Durchgehende oder unterbrochene Schlitzlöcher dürfen nicht angewendet werden.

Die Mittellinien der Einzelanbohrungen müssen gleiche Winkel zueinander bilden, die Symmetrieachse der Venturidüse treffen und in einer Ebene liegen, welche die gedachte Grenze zwischen den Teilen E und E' des zylindrischen Halsteiles bildet.

Der Durchmesser  $\delta_2$  jeder Einzelanbohrung im Halsteil muß kleiner oder gleich  $0,04 d$  sein und außerdem zwischen 2 mm und 10 mm liegen.

#### 10.2.4 Koeffizienten

##### 10.2.4.1 Anwendungsbereiche

Venturidüsen dürfen nur dann entsprechend diesem Teil von ISO 5167 angewendet werden, wenn die nachstehenden Grenzen

$$65 \text{ mm} \leq D \leq 500 \text{ mm}$$

$$d \geq 50 \text{ mm}$$

$$0,316 \leq \beta \leq 0,775$$

$$1,5 \times 10^5 \leq Re_D \leq 2 \times 10^6$$

eingehalten werden.

Zusätzlich muß die Rohrrauheit den Werten der Tabelle 5 entsprechen.

Die meisten Versuche, auf denen die Werte für den Durchflußkoeffizienten  $C$  beruhen, wurden in Rohren mit einer relativen Rauheit  $k/D \leq 3,8 \times 10^{-4}$  durchgeführt. Es dürfen Rohre mit höherer relativer Rauheit benutzt werden, sofern sich ihre Rauheit im Bereich von mindestens  $10 D$  vor der Düse innerhalb der Grenzen von Tabelle 5 bewegt (zur Bestimmung von  $k/D$  siehe 8.3.1).

##### 10.2.4.2 Durchflußkoeffizient $C$

Der Durchflußkoeffizient  $C$  wird durch folgende Gleichung bestimmt

$$C = 0,9858 - 0,196 \beta^{4,5}$$

Werte von  $C$  als Funktion von  $\beta$  sind in Tabelle A.16 enthalten. Für präzise Interpolationen sind sie nicht vorgesehen. Extrapolationen sind nicht zulässig.

ANMERKUNG 7: Innerhalb der nach 10.2.4.1 festgelegten Grenzen ist  $C$  unabhängig von der Reynoldszahl und vom Durchmesser  $D$  der Rohrleitung.

##### 10.2.4.3 Expansionszahl $\varepsilon_1$

Die Angaben nach 9.1.6.3 gelten auch für die Expansionszahl von Venturidüsen, jedoch nur innerhalb der in 10.2.4.1 angegebenen Grenzwerte für die Anwendungsbereiche.

#### 10.2.5 Unsicherheiten

##### 10.2.5.1 Unsicherheiten des Durchflußkoeffizienten $C$

Wenn  $\beta$  als fehlerfrei angenommen werden kann und die Anwendungsbereiche nach 10.2.4.1 eingehalten werden, dann ist die relative Unsicherheit des Durchflußkoeffizienten  $C$  in Prozent durch folgende Gleichung gegeben:

$$(1,2 + 1,5 \beta^4)$$

##### 10.2.5.2 Unsicherheit der Expansionszahl $\varepsilon_1$

Die relative Unsicherheit der Expansionszahl  $\varepsilon_1$  in Prozent beträgt

$$(4 + 100 \beta^8) \frac{\Delta p}{p_1}$$

##### 10.2.6 Druckverlust

Die in 10.1.9 gemachten Angaben sind auch für Venturidüsen anzuwenden, wenn der Diffusorwinkel nicht größer als  $15^\circ$  ist.

## 11 Unsicherheiten der Durchflußmessung

Allgemein nützliche Informationen zur Berechnung der Unsicherheit bei der Durchflußmessung sind mit einem entsprechenden Beispiel in ISO 5168 enthalten.

## 11.1 Definition der Unsicherheit

**11.1.1** Für die Anwendung dieses Teiles von ISO 5167 wird die Unsicherheit als Wertebereich festgelegt, innerhalb dessen der wahre Wert der Meßgröße mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegt.

In einigen Fällen wird das Vertrauensniveau, das diesem Wertebereich zugeordnet werden kann, größer sein als 95 %, nämlich dann, wenn der Wert einer Größe, die zur Berechnung des Durchflusses benutzt wird, mit einem Vertrauensniveau größer 95 % bekannt ist. In einem solchen Fall muß auf ISO 5168 Bezug genommen werden.

**11.1.2** Die Unsicherheit einer Durchflußmessung muß immer berechnet und angegeben werden, sofern für die Messung beansprucht wird, daß sie mit den Anforderungen dieses Teiles von ISO 5167 übereinstimmt.

**11.1.3** Die Unsicherheit kann absolut oder relativ angegeben und das Ergebnis der Durchflußmessung dann durch eine der folgenden Gleichungen dargestellt werden:

$$\text{Durchfluß} = q \pm \delta q$$

$$\text{Durchfluß} = q(1 \pm e)$$

$$\text{Durchfluß} = q \text{ innerhalb } (100 e) \%,$$

wobei die Unsicherheit  $\delta q$  die gleiche Dimension hat wie  $q$ , während  $e_q = \delta q/q$  die Dimension 1 hat.

**11.1.4** Obwohl einige dieser Unsicherheiten, mit denen eine einzelne Meßeinrichtung und die benutzten Koeffizienten eines Versuchs behaftet sind, in Wirklichkeit systematische Meßabweichungen sein können (von denen lediglich der maximal mögliche Betrag bekannt ist), ist ihre Kombination wie die für zufällige Meßabweichungen einer Gauß-Laplace-Normalverteilung erlaubt.

Die so festgelegte Unsicherheit ist praktisch gleich der doppelten Standardabweichung in der Statistik. Dabei wird vorausgesetzt, daß bei der Kombination der Einzelunsicherheiten der zur Berechnung des Durchflusses erforderlichen Größen diese Einzelunsicherheiten klein, zahlreich und voneinander unabhängig sind.

**11.1.5** Zweckmäßigerweise wird zwischen den Unsicherheiten unterschieden, die durch Messungen des Anwenders bedingt sind und solchen, mit denen die in diesem Teil von ISO 5167 gegebenen Werte behaftet sind. Letztere sind die Unsicherheiten des Durchflußkoeffizienten und der Expansionszahl. Sie stellen die kleinsten Meßunsicherheiten dar, mit denen Messungen unvermeidlich behaftet sind, sofern der Anwender keine Möglichkeit der Prüfung dieser Werte besitzt. Sie entstehen dadurch, daß kleine Abweichungen in den Baumaßen zulässig sind und daß die Versuche, die den Werten zugrunde liegen, weder unter idealen Bedingungen noch ohne jede Meßunsicherheit durchgeführt werden konnten.

## 11.2 Praktische Berechnung der Unsicherheit

**11.2.1** Die Grundgleichung zur Berechnung des Massendurchflusses  $q_m$  ist

$$q_m = C \varepsilon_1 \frac{\pi}{4} d^2 \frac{\sqrt{2 \Delta p \varrho_1}}{\sqrt{1 - \beta^4}}$$

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

Zum Beispiel ist  $C$  eine Funktion von  $d, D, \alpha, U_1, \nu_1$  und  $\varrho_1$  und  $\varepsilon_1$  eine Funktion von  $d, D, \Delta p, p_1$  und  $\alpha$ .

**11.2.1.1** Für die Praxis genügt es jedoch anzunehmen, daß die Unsicherheiten von  $C, \varepsilon_1, d, \Delta p$  und  $\varrho_1$  voneinander unabhängig sind.

**11.2.1.2** Unter diesen Voraussetzungen kann eine Arbeitsgleichung für  $\delta q_m$  angegeben werden, die nur die Abhängigkeit von  $C$  durch  $d$  und  $D$  berücksichtigt, die dadurch in die Rechnung hineinkommt, daß  $C$  eine Funktion von  $\beta$  ist. Dabei muß berücksichtigt werden, daß  $C$  auch von der Reynoldszahl  $Re_D$  abhängig sein kann. Die sich ergebenden Abweichungen von  $C$  durch diese Einflüsse sind jedoch zweitrangig und sind bereits in der Unsicherheit von  $C$  enthalten.

Ähnlich sind Abweichungen von  $\varepsilon_1$  durch die Unsicherheiten von  $\beta$ , des Druckverhältnisses und des Isentropenexponenten zweitrangig und bereits in der Unsicherheit von  $\varepsilon_1$  enthalten.

**11.2.1.3** In der Arbeitsgleichung für  $\delta q_m$  müssen deshalb nur die Unsicherheiten von  $C, \varepsilon_1, d, D, \Delta p$  und  $\varrho_1$  berücksichtigt werden.

**11.2.2** Die Arbeitsgleichung für die Unsicherheit des Massendurchflusses  $\delta q_m$  lautet:

$$\begin{aligned} \frac{\delta q_m}{q_m} = & \left[ \left( \frac{\delta C}{C} \right)^2 + \left( \frac{\delta \varepsilon_1}{\varepsilon_1} \right)^2 + \right. \\ & + \left( \frac{2 \beta^4}{1 - \beta^4} \right)^2 \left( \frac{\delta D}{D} \right)^2 + \left( \frac{2}{1 - \beta^4} \right)^2 \left( \frac{\delta d}{d} \right)^2 + \\ & \left. + \frac{1}{4} \left( \frac{\delta \Delta p}{\Delta p} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\delta \varrho_1}{\varrho_1} \right)^2 \right]^{1/2} \end{aligned}$$

Einige Unsicherheiten, die in die obige Gleichung einzusetzen sind, wie die für den Durchflußkoeffizienten und die der Expansionszahl, werden in diesem Teil von ISO 5167 angegeben (siehe 11.2.2.1 und 11.2.2.2), während andere vom Anwender bestimmt werden müssen (siehe 11.2.2.3 und 11.2.2.4).

**11.2.2.1** In der in 11.2.2 dargestellten Gleichung sind die Werte für  $\delta C/C$  und  $\delta \varepsilon_1/\varepsilon_1$  aus den zugehörigen Abschnitten dieses Teiles von ISO 5167 zu entnehmen.

**11.2.2.2** Falls für die geraden Einlaufstrecken eine Zusatzunsicherheit im Betrag von 0,5 % zu beachten ist, muß diese entsprechend 7.2.4 linear addiert werden und nicht quadratisch wie bei den anderen Unsicherheiten in der Gleichung nach 11.2.2 hinzugerechnet werden. Weitere Zusatzunsicherheiten (siehe 7.5.1.4 und 7.5.2.3) müssen in gleicher Weise addiert werden.

**11.2.2.3** In die Gleichung nach 11.2.2 können die maximalen Werte für  $\delta D/D$  und für  $\delta d/d$  eingesetzt werden, die aus Abschnitt 7 und 8.1.7, 9.1.2.5, 9.2.2.3, 10.1.2.3 und 10.2.1.3 zu entnehmen sind, oder es können alternativ die durch den Anwender berechneten kleineren Werte verwendet werden. (Als Höchstwert kann für  $\delta D/D$  0,4 % und für  $\delta d/d$  0,07 % eingesetzt werden.)

**11.2.2.4** Die Werte  $\delta \Delta p/\Delta p$  und  $\delta \varrho_1/\varrho_1$  müssen durch den Anwender bestimmt werden, da dieser Teil von ISO 5167 nicht die Messung der Größen  $\Delta p$  und  $\varrho_1$  behandelt.

## Anhang A (informativ)

### Tabellen der Durchflußkoeffizienten und Expansionszahlen

**Tabelle A.1: Blenden mit Eck-Druckentnahmen – Durchflußkoeffizient  $C$**

| Durchmesser-<br>verhältnis<br>$\beta$ | Durchflußkoeffizient $C$ für $Re_D$ gleich |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
|                                       | $5 \times 10^3$                            | $1 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | $3 \times 10^4$ | $5 \times 10^4$ | $7 \times 10^4$ | $1 \times 10^5$ | $3 \times 10^5$ | $1 \times 10^6$ | $1 \times 10^7$ | $1 \times 10^8$ | $\infty$ |
| 0,20                                  | 0,599 7                                    | 0,598 6         | 0,597 9         | 0,597 7         | 0,597 5         | 0,597 3         | 0,597 3         | 0,597 1         | 0,597 0         | 0,597 0         | 0,597 0         | 0,597 0  |
| 0,22                                  | 0,600 6                                    | 0,599 3         | 0,598 4         | 0,598 1         | 0,597 8         | 0,597 7         | 0,597 6         | 0,597 4         | 0,597 3         | 0,597 2         | 0,597 2         | 0,597 2  |
| 0,24                                  | 0,601 8                                    | 0,600 0         | 0,599 0         | 0,598 6         | 0,598 2         | 0,598 1         | 0,597 9         | 0,597 7         | 0,597 5         | 0,597 5         | 0,597 5         | 0,597 5  |
| 0,26                                  | 0,603 1                                    | 0,600 9         | 0,599 6         | 0,599 1         | 0,598 7         | 0,598 5         | 0,598 3         | 0,598 0         | 0,597 8         | 0,597 8         | 0,597 7         | 0,597 7  |
| 0,28                                  | 0,604 4                                    | 0,601 9         | 0,600 3         | 0,599 7         | 0,599 2         | 0,598 9         | 0,598 7         | 0,598 3         | 0,598 2         | 0,598 1         | 0,598 1         | 0,598 0  |
| 0,30                                  | 0,606 0                                    | 0,602 9         | 0,601 1         | 0,600 4         | 0,599 7         | 0,599 4         | 0,599 2         | 0,598 7         | 0,598 5         | 0,598 4         | 0,598 4         | 0,598 4  |
| 0,32                                  | 0,607 7                                    | 0,604 0         | 0,601 9         | 0,601 1         | 0,600 3         | 0,600 0         | 0,599 7         | 0,599 1         | 0,598 9         | 0,598 8         | 0,598 7         | 0,598 7  |
| 0,34                                  | 0,609 5                                    | 0,605 3         | 0,602 8         | 0,601 8         | 0,601 0         | 0,600 5         | 0,600 2         | 0,599 6         | 0,599 3         | 0,599 1         | 0,599 1         | 0,599 1  |
| 0,36                                  | 0,611 5                                    | 0,606 6         | 0,603 7         | 0,602 6         | 0,601 6         | 0,601 2         | 0,600 8         | 0,600 1         | 0,599 7         | 0,599 5         | 0,599 5         | 0,599 5  |
| 0,38                                  | 0,613 6                                    | 0,608 1         | 0,604 8         | 0,603 5         | 0,602 4         | 0,601 8         | 0,601 4         | 0,600 5         | 0,600 2         | 0,600 0         | 0,599 9         | 0,599 9  |
| 0,40                                  | 0,615 9                                    | 0,609 6         | 0,605 9         | 0,604 4         | 0,603 1         | 0,602 5         | 0,602 0         | 0,601 1         | 0,600 6         | 0,600 4         | 0,600 3         | 0,600 3  |
| 0,42                                  | 0,618 4                                    | 0,611 3         | 0,607 0         | 0,605 4         | 0,603 9         | 0,603 2         | 0,602 6         | 0,601 6         | 0,601 1         | 0,600 8         | 0,600 8         | 0,600 8  |
| 0,44                                  | 0,621 0                                    | 0,613 0         | 0,608 2         | 0,606 4         | 0,604 7         | 0,603 9         | 0,603 3         | 0,602 1         | 0,601 6         | 0,601 3         | 0,601 2         | 0,601 2  |
| 0,46                                  | 0,623 8                                    | 0,614 8         | 0,609 5         | 0,607 4         | 0,605 6         | 0,604 7         | 0,604 0         | 0,602 7         | 0,602 1         | 0,601 7         | 0,601 7         | 0,601 6  |
| 0,48                                  | —                                          | 0,616 7         | 0,610 8         | 0,608 5         | 0,606 4         | 0,605 5         | 0,604 7         | 0,603 2         | 0,602 5         | 0,602 1         | 0,602 1         | 0,602 1  |
| 0,50                                  | —                                          | 0,618 7         | 0,612 1         | 0,609 6         | 0,607 3         | 0,606 2         | 0,605 3         | 0,603 7         | 0,603 0         | 0,602 6         | 0,602 5         | 0,602 5  |
| 0,51                                  | —                                          | 0,619 7         | 0,612 8         | 0,610 1         | 0,607 7         | 0,606 6         | 0,605 7         | 0,604 0         | 0,603 2         | 0,602 7         | 0,602 7         | 0,602 6  |
| 0,52                                  | —                                          | 0,620 7         | 0,613 5         | 0,610 7         | 0,608 2         | 0,607 0         | 0,606 0         | 0,604 2         | 0,603 4         | 0,602 9         | 0,602 8         | 0,602 8  |
| 0,53                                  | —                                          | 0,621 7         | 0,614 1         | 0,611 2         | 0,608 6         | 0,607 3         | 0,606 3         | 0,604 4         | 0,603 6         | 0,603 1         | 0,603 0         | 0,603 0  |
| 0,54                                  | —                                          | 0,622 8         | 0,614 8         | 0,611 7         | 0,609 0         | 0,607 7         | 0,606 6         | 0,604 7         | 0,603 7         | 0,603 2         | 0,603 1         | 0,603 1  |
| 0,55                                  | —                                          | 0,623 8         | 0,615 5         | 0,612 3         | 0,609 4         | 0,608 0         | 0,606 9         | 0,604 9         | 0,603 9         | 0,603 4         | 0,603 3         | 0,603 2  |
| 0,56                                  | —                                          | 0,624 9         | 0,616 2         | 0,612 8         | 0,609 8         | 0,608 4         | 0,607 2         | 0,605 0         | 0,604 0         | 0,603 5         | 0,603 4         | 0,603 4  |
| 0,57                                  | —                                          | 0,625 9         | 0,616 8         | 0,613 3         | 0,610 2         | 0,608 7         | 0,607 4         | 0,605 2         | 0,604 1         | 0,603 6         | 0,603 5         | 0,603 4  |
| 0,58                                  | —                                          | 0,627 0         | 0,617 5         | 0,613 8         | 0,610 5         | 0,608 9         | 0,607 7         | 0,605 3         | 0,604 2         | 0,603 6         | 0,603 5         | 0,603 5  |
| 0,59                                  | —                                          | 0,628 0         | 0,618 1         | 0,614 3         | 0,610 8         | 0,609 2         | 0,607 9         | 0,605 4         | 0,604 3         | 0,603 6         | 0,603 5         | 0,603 5  |
| 0,60                                  | —                                          | 0,629 1         | 0,618 7         | 0,614 7         | 0,611 1         | 0,609 4         | 0,608 0         | 0,605 5         | 0,604 3         | 0,603 6         | 0,603 5         | 0,603 5  |
| 0,61                                  | —                                          | 0,630 1         | 0,619 3         | 0,615 1         | 0,611 4         | 0,609 6         | 0,608 2         | 0,605 5         | 0,604 3         | 0,603 6         | 0,603 4         | 0,603 4  |
| 0,62                                  | —                                          | 0,631 1         | 0,619 8         | 0,615 5         | 0,611 6         | 0,609 8         | 0,608 3         | 0,605 5         | 0,604 2         | 0,603 5         | 0,603 3         | 0,603 3  |
| 0,63                                  | —                                          | 0,632 0         | 0,620 3         | 0,615 8         | 0,611 8         | 0,609 9         | 0,608 3         | 0,605 4         | 0,604 1         | 0,603 3         | 0,603 2         | 0,603 2  |
| 0,64                                  | —                                          | 0,633 0         | 0,620 8         | 0,616 1         | 0,611 9         | 0,609 9         | 0,608 3         | 0,605 3         | 0,603 9         | 0,603 1         | 0,603 0         | 0,602 9  |
| 0,65                                  | —                                          | 0,633 9         | 0,621 2         | 0,616 4         | 0,612 0         | 0,609 9         | 0,608 2         | 0,605 1         | 0,603 7         | 0,602 8         | 0,602 7         | 0,602 7  |
| 0,66                                  | —                                          | 0,634 8         | 0,621 6         | 0,616 5         | 0,612 0         | 0,609 9         | 0,608 1         | 0,604 8         | 0,603 3         | 0,602 5         | 0,602 3         | 0,602 3  |
| 0,67                                  | —                                          | 0,635 6         | 0,621 9         | 0,616 7         | 0,612 0         | 0,609 7         | 0,607 9         | 0,604 5         | 0,602 9         | 0,602 1         | 0,601 9         | 0,601 9  |
| 0,68                                  | —                                          | 0,636 3         | 0,622 2         | 0,616 7         | 0,611 8         | 0,609 5         | 0,607 6         | 0,604 1         | 0,602 5         | 0,601 6         | 0,601 4         | 0,601 4  |
| 0,69                                  | —                                          | 0,637 0         | 0,622 3         | 0,616 7         | 0,611 6         | 0,609 2         | 0,607 2         | 0,603 6         | 0,601 9         | 0,601 0         | 0,600 8         | 0,600 8  |
| 0,70                                  | —                                          | 0,637 6         | 0,622 4         | 0,616 5         | 0,611 3         | 0,608 8         | 0,606 7         | 0,603 0         | 0,601 2         | 0,600 3         | 0,600 1         | 0,600 0  |
| 0,71                                  | —                                          | 0,638 2         | 0,622 4         | 0,616 3         | 0,610 9         | 0,608 3         | 0,606 1         | 0,602 3         | 0,600 4         | 0,599 4         | 0,599 3         | 0,599 2  |
| 0,72                                  | —                                          | 0,638 6         | 0,622 2         | 0,616 0         | 0,610 3         | 0,607 6         | 0,605 4         | 0,601 4         | 0,599 5         | 0,598 5         | 0,598 3         | 0,598 3  |
| 0,73                                  | —                                          | 0,638 9         | 0,622 0         | 0,615 5         | 0,609 7         | 0,606 9         | 0,604 6         | 0,600 4         | 0,598 5         | 0,597 4         | 0,597 2         | 0,597 2  |
| 0,74                                  | —                                          | 0,639 1         | 0,621 6         | 0,614 9         | 0,608 9         | 0,606 0         | 0,603 6         | 0,599 3         | 0,597 3         | 0,596 2         | 0,596 0         | 0,595 9  |
| 0,75                                  | —                                          | 0,639 2         | 0,621 1         | 0,614 1         | 0,607 9         | 0,604 9         | 0,602 5         | 0,598 0         | 0,595 9         | 0,594 8         | 0,594 6         | 0,594 5  |

ANMERKUNG: Diese Tabelle dient der bequemen Handhabung. Für genaue Interpolationen ist die Tabelle nicht vorgesehen.  
Extrapolationen sind nicht zulässig.

Tabelle A.2: Blenden mit  $D$ - und  $D/2$ -Druckentnahmen – Durchflußkoeffizient  $C$ 

| Durchmesser-<br>verhältnis<br>$\beta$ | Durchflußkoeffizient $C$ für $Re_D$ gleich |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
|                                       | $5 \times 10^3$                            | $1 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | $3 \times 10^4$ | $5 \times 10^4$ | $7 \times 10^4$ | $1 \times 10^5$ | $3 \times 10^5$ | $1 \times 10^6$ | $1 \times 10^7$ | $1 \times 10^8$ | $\infty$ |
| 0,20                                  | 0,599 7                                    | 0,598 5         | 0,597 9         | 0,597 6         | 0,597 4         | 0,597 3         | 0,597 2         | 0,597 0         | 0,596 9         | 0,596 9         | 0,596 9         | 0,596 9  |
| 0,22                                  | 0,600 6                                    | 0,599 2         | 0,598 4         | 0,598 0         | 0,597 7         | 0,597 6         | 0,597 5         | 0,597 3         | 0,597 2         | 0,597 1         | 0,597 1         | 0,597 1  |
| 0,24                                  | 0,601 7                                    | 0,600 0         | 0,598 9         | 0,598 5         | 0,598 1         | 0,598 0         | 0,597 8         | 0,597 6         | 0,597 4         | 0,597 4         | 0,597 4         | 0,597 4  |
| 0,26                                  | 0,603 0                                    | 0,600 8         | 0,599 5         | 0,599 0         | 0,598 6         | 0,598 4         | 0,598 2         | 0,597 9         | 0,597 7         | 0,597 7         | 0,597 6         | 0,597 6  |
| 0,28                                  | 0,604 3                                    | 0,601 7         | 0,600 2         | 0,599 6         | 0,599 1         | 0,598 8         | 0,598 6         | 0,598 2         | 0,598 1         | 0,598 0         | 0,597 9         | 0,597 9  |
| 0,30                                  | —                                          | 0,602 8         | 0,601 0         | 0,600 3         | 0,599 6         | 0,599 3         | 0,599 1         | 0,598 6         | 0,598 4         | 0,598 3         | 0,598 3         | 0,598 3  |
| 0,32                                  | —                                          | 0,603 9         | 0,601 8         | 0,601 0         | 0,600 2         | 0,599 9         | 0,599 6         | 0,599 0         | 0,598 8         | 0,598 7         | 0,598 6         | 0,598 6  |
| 0,34                                  | —                                          | 0,605 2         | 0,602 7         | 0,601 7         | 0,600 9         | 0,600 4         | 0,600 1         | 0,599 5         | 0,599 2         | 0,599 0         | 0,599 0         | 0,599 0  |
| 0,36                                  | —                                          | 0,606 6         | 0,603 7         | 0,602 6         | 0,601 6         | 0,601 1         | 0,600 7         | 0,600 0         | 0,599 7         | 0,599 5         | 0,599 4         | 0,599 4  |
| 0,38                                  | —                                          | 0,608 0         | 0,604 7         | 0,603 5         | 0,602 3         | 0,601 8         | 0,601 3         | 0,600 5         | 0,600 1         | 0,599 9         | 0,599 9         | 0,599 9  |
| 0,40                                  | —                                          | 0,609 6         | 0,605 9         | 0,604 4         | 0,603 1         | 0,602 5         | 0,602 0         | 0,601 1         | 0,600 6         | 0,600 4         | 0,600 4         | 0,600 3  |
| 0,42                                  | —                                          | —               | 0,607 1         | 0,605 4         | 0,604 0         | 0,603 3         | 0,602 7         | 0,601 7         | 0,601 2         | 0,600 9         | 0,600 9         | 0,600 8  |
| 0,44                                  | —                                          | —               | 0,608 4         | 0,606 5         | 0,604 9         | 0,604 1         | 0,603 5         | 0,602 3         | 0,601 7         | 0,601 4         | 0,601 4         | 0,601 4  |
| 0,46                                  | —                                          | —               | 0,609 8         | 0,607 7         | 0,605 9         | 0,605 0         | 0,604 3         | 0,603 0         | 0,602 3         | 0,602 0         | 0,601 9         | 0,601 9  |
| 0,48                                  | —                                          | —               | 0,611 2         | 0,608 9         | 0,606 9         | 0,605 9         | 0,605 1         | 0,603 6         | 0,603 0         | 0,602 6         | 0,602 5         | 0,602 5  |
| 0,50                                  | —                                          | —               | 0,612 7         | 0,610 2         | 0,607 9         | 0,606 8         | 0,606 0         | 0,604 3         | 0,603 6         | 0,603 2         | 0,603 1         | 0,603 1  |
| 0,51                                  | —                                          | —               | 0,613 5         | 0,610 8         | 0,608 5         | 0,607 3         | 0,606 4         | 0,604 7         | 0,603 9         | 0,603 5         | 0,603 4         | 0,603 4  |
| 0,52                                  | —                                          | —               | 0,614 3         | 0,611 5         | 0,609 0         | 0,607 8         | 0,606 8         | 0,605 1         | 0,604 2         | 0,603 8         | 0,603 7         | 0,603 7  |
| 0,53                                  | —                                          | —               | 0,615 1         | 0,612 2         | 0,609 6         | 0,608 3         | 0,607 3         | 0,605 4         | 0,604 6         | 0,604 1         | 0,604 0         | 0,604 0  |
| 0,54                                  | —                                          | —               | 0,615 9         | 0,612 9         | 0,610 1         | 0,608 8         | 0,607 7         | 0,605 8         | 0,604 9         | 0,604 4         | 0,604 3         | 0,604 3  |
| 0,55                                  | —                                          | —               | 0,616 8         | 0,613 6         | 0,610 7         | 0,609 3         | 0,608 2         | 0,606 1         | 0,605 2         | 0,604 7         | 0,604 6         | 0,604 5  |
| 0,56                                  | —                                          | —               | 0,617 6         | 0,614 3         | 0,611 3         | 0,609 8         | 0,608 7         | 0,606 5         | 0,605 5         | 0,604 9         | 0,604 8         | 0,604 8  |
| 0,57                                  | —                                          | —               | —               | 0,615 0         | 0,611 8         | 0,610 3         | 0,609 1         | 0,606 9         | 0,605 8         | 0,605 2         | 0,605 1         | 0,605 1  |
| 0,58                                  | —                                          | —               | —               | 0,615 7         | 0,612 4         | 0,610 8         | 0,609 5         | 0,607 2         | 0,606 1         | 0,605 5         | 0,605 4         | 0,605 4  |
| 0,59                                  | —                                          | —               | —               | 0,616 4         | 0,613 0         | 0,611 3         | 0,610 0         | 0,607 5         | 0,606 4         | 0,605 8         | 0,605 6         | 0,605 6  |
| 0,60                                  | —                                          | —               | —               | 0,617 1         | 0,613 5         | 0,611 8         | 0,610 4         | 0,607 9         | 0,606 7         | 0,606 0         | 0,605 9         | 0,605 9  |
| 0,61                                  | —                                          | —               | —               | 0,617 8         | 0,614 1         | 0,612 3         | 0,610 8         | 0,608 2         | 0,606 9         | 0,606 2         | 0,606 1         | 0,606 1  |
| 0,62                                  | —                                          | —               | —               | 0,618 5         | 0,614 6         | 0,612 8         | 0,611 2         | 0,608 5         | 0,607 2         | 0,606 5         | 0,606 3         | 0,606 3  |
| 0,63                                  | —                                          | —               | —               | 0,619 2         | 0,615 1         | 0,613 2         | 0,611 6         | 0,608 7         | 0,607 4         | 0,606 7         | 0,606 5         | 0,606 5  |
| 0,64                                  | —                                          | —               | —               | 0,619 8         | 0,615 6         | 0,613 6         | 0,612 0         | 0,609 0         | 0,607 6         | 0,606 8         | 0,606 7         | 0,606 7  |
| 0,65                                  | —                                          | —               | —               | 0,620 5         | 0,616 1         | 0,614 0         | 0,612 3         | 0,609 2         | 0,607 8         | 0,607 0         | 0,606 8         | 0,606 8  |
| 0,66                                  | —                                          | —               | —               | 0,621 1         | 0,616 6         | 0,614 4         | 0,612 7         | 0,609 4         | 0,607 9         | 0,607 1         | 0,606 9         | 0,606 9  |
| 0,67                                  | —                                          | —               | —               | 0,621 7         | 0,617 0         | 0,614 8         | 0,613 0         | 0,609 6         | 0,608 0         | 0,607 2         | 0,607 0         | 0,607 0  |
| 0,68                                  | —                                          | —               | —               | 0,622 3         | 0,617 5         | 0,615 1         | 0,613 2         | 0,609 7         | 0,608 1         | 0,607 2         | 0,607 0         | 0,607 0  |
| 0,69                                  | —                                          | —               | —               | 0,622 9         | 0,617 8         | 0,615 4         | 0,613 4         | 0,609 8         | 0,608 1         | 0,607 2         | 0,607 0         | 0,607 0  |
| 0,70                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,618 2         | 0,615 7         | 0,613 6         | 0,609 9         | 0,608 1         | 0,607 1         | 0,607 0         | 0,606 9  |
| 0,71                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,618 5         | 0,615 9         | 0,613 8         | 0,609 9         | 0,608 1         | 0,607 1         | 0,606 9         | 0,606 8  |
| 0,72                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,618 7         | 0,616 1         | 0,613 9         | 0,609 8         | 0,608 0         | 0,606 9         | 0,606 7         | 0,606 7  |
| 0,73                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,619 0         | 0,616 2         | 0,613 9         | 0,609 7         | 0,607 8         | 0,606 7         | 0,606 5         | 0,606 5  |
| 0,74                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,619 1         | 0,616 3         | 0,613 9         | 0,609 6         | 0,607 6         | 0,606 5         | 0,606 3         | 0,606 2  |
| 0,75                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,619 3         | 0,616 3         | 0,613 8         | 0,609 4         | 0,607 3         | 0,606 2         | 0,605 9         | 0,605 9  |

ANMERKUNG: Diese Tabelle dient der bequemen Handhabung. Für genaue Interpolationen ist die Tabelle nicht vorgesehen.  
Extrapolationen sind nicht zulässig.

**Tabelle A.3: Blende mit Flansch-Druckentnahmen – Durchflußkoeffizient  $C$  für  $D = 50$  mm**

| Durchmesser-<br>verhältnis<br>$\beta$ | Durchflußkoeffizient $C$ für $Re_D$ gleich |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
|                                       | $5 \times 10^3$                            | $1 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | $3 \times 10^4$ | $5 \times 10^4$ | $7 \times 10^4$ | $1 \times 10^5$ | $3 \times 10^5$ | $1 \times 10^6$ | $1 \times 10^7$ | $1 \times 10^8$ | $\infty$ |
| 0,25                                  | 0,602 3                                    | 0,600 3         | 0,599 2         | 0,598 7         | 0,598 3         | 0,598 1         | 0,598 0         | 0,597 7         | 0,597 6         | 0,597 5         | 0,597 5         | 0,597 5  |
| 0,26                                  | 0,602 9                                    | 0,600 8         | 0,599 5         | 0,599 0         | 0,598 6         | 0,598 4         | 0,598 2         | 0,597 9         | 0,597 7         | 0,597 6         | 0,597 6         | 0,597 6  |
| 0,28                                  | 0,604 3                                    | 0,601 7         | 0,600 2         | 0,599 6         | 0,599 0         | 0,598 8         | 0,598 6         | 0,598 2         | 0,598 0         | 0,597 9         | 0,597 9         | 0,597 9  |
| 0,30                                  | —                                          | 0,602 8         | 0,600 9         | 0,600 2         | 0,599 6         | 0,599 3         | 0,599 0         | 0,598 6         | 0,598 4         | 0,598 3         | 0,598 2         | 0,598 2  |
| 0,32                                  | —                                          | 0,603 9         | 0,601 7         | 0,600 9         | 0,600 2         | 0,599 8         | 0,599 5         | 0,599 0         | 0,598 8         | 0,598 6         | 0,598 6         | 0,598 6  |
| 0,34                                  | —                                          | 0,605 1         | 0,602 6         | 0,601 7         | 0,600 8         | 0,600 4         | 0,600 1         | 0,599 4         | 0,599 2         | 0,599 0         | 0,599 0         | 0,599 0  |
| 0,36                                  | —                                          | 0,606 5         | 0,603 6         | 0,602 5         | 0,601 5         | 0,601 0         | 0,600 6         | 0,599 9         | 0,599 6         | 0,599 4         | 0,599 4         | 0,599 4  |
| 0,38                                  | —                                          | 0,608 0         | 0,604 7         | 0,603 4         | 0,602 2         | 0,601 7         | 0,601 3         | 0,600 4         | 0,600 1         | 0,599 8         | 0,599 8         | 0,599 8  |
| 0,40                                  | —                                          | —               | 0,605 8         | 0,604 3         | 0,603 0         | 0,602 4         | 0,601 9         | 0,601 0         | 0,600 6         | 0,600 3         | 0,600 3         | 0,600 3  |
| 0,42                                  | —                                          | —               | 0,607 0         | 0,605 4         | 0,603 9         | 0,603 2         | 0,602 6         | 0,601 6         | 0,601 1         | 0,600 8         | 0,600 8         | 0,600 8  |
| 0,44                                  | —                                          | —               | 0,608 3         | 0,606 4         | 0,604 8         | 0,604 0         | 0,603 4         | 0,602 2         | 0,601 6         | 0,601 3         | 0,601 3         | 0,601 3  |
| 0,46                                  | —                                          | —               | 0,609 6         | 0,607 6         | 0,605 7         | 0,604 9         | 0,604 1         | 0,602 8         | 0,602 2         | 0,601 9         | 0,601 8         | 0,601 8  |
| 0,48                                  | —                                          | —               | 0,611 1         | 0,608 8         | 0,606 7         | 0,605 8         | 0,605 0         | 0,603 5         | 0,602 8         | 0,602 4         | 0,602 4         | 0,602 4  |
| 0,50                                  | —                                          | —               | 0,612 6         | 0,610 0         | 0,607 8         | 0,606 7         | 0,605 8         | 0,604 2         | 0,603 4         | 0,603 0         | 0,602 9         | 0,602 9  |
| 0,51                                  | —                                          | —               | 0,613 3         | 0,610 7         | 0,608 3         | 0,607 2         | 0,606 2         | 0,604 5         | 0,603 7         | 0,603 3         | 0,603 2         | 0,603 2  |
| 0,52                                  | —                                          | —               | 0,614 1         | 0,611 3         | 0,608 8         | 0,607 6         | 0,606 7         | 0,604 9         | 0,604 1         | 0,603 6         | 0,603 5         | 0,603 5  |
| 0,53                                  | —                                          | —               | 0,614 9         | 0,612 0         | 0,609 4         | 0,608 1         | 0,607 1         | 0,605 2         | 0,604 4         | 0,603 9         | 0,603 8         | 0,603 8  |
| 0,54                                  | —                                          | —               | 0,615 7         | 0,612 7         | 0,609 9         | 0,608 6         | 0,607 5         | 0,605 6         | 0,604 7         | 0,604 2         | 0,604 1         | 0,604 1  |
| 0,55                                  | —                                          | —               | 0,616 6         | 0,613 4         | 0,610 5         | 0,609 1         | 0,608 0         | 0,605 9         | 0,605 0         | 0,604 4         | 0,604 4         | 0,604 3  |
| 0,56                                  | —                                          | —               | 0,617 4         | 0,614 0         | 0,611 0         | 0,609 6         | 0,608 4         | 0,606 3         | 0,605 3         | 0,604 7         | 0,604 6         | 0,604 6  |
| 0,57                                  | —                                          | —               | —               | 0,614 7         | 0,611 6         | 0,610 1         | 0,608 9         | 0,606 6         | 0,605 6         | 0,605 0         | 0,604 9         | 0,604 9  |
| 0,58                                  | —                                          | —               | —               | 0,615 4         | 0,612 1         | 0,610 6         | 0,609 3         | 0,607 0         | 0,605 9         | 0,605 3         | 0,605 1         | 0,605 1  |
| 0,59                                  | —                                          | —               | —               | 0,616 1         | 0,612 7         | 0,611 1         | 0,609 7         | 0,607 3         | 0,606 1         | 0,605 5         | 0,605 4         | 0,605 4  |
| 0,60                                  | —                                          | —               | —               | 0,616 8         | 0,613 2         | 0,611 5         | 0,610 1         | 0,607 6         | 0,606 4         | 0,605 7         | 0,605 6         | 0,605 6  |
| 0,61                                  | —                                          | —               | —               | 0,617 5         | 0,613 8         | 0,612 0         | 0,610 5         | 0,607 9         | 0,606 6         | 0,606 0         | 0,605 8         | 0,605 8  |
| 0,62                                  | —                                          | —               | —               | 0,618 2         | 0,614 3         | 0,612 4         | 0,610 9         | 0,608 2         | 0,606 9         | 0,606 2         | 0,606 0         | 0,606 0  |
| 0,63                                  | —                                          | —               | —               | 0,618 8         | 0,614 8         | 0,612 9         | 0,611 3         | 0,608 4         | 0,607 1         | 0,606 3         | 0,606 2         | 0,606 2  |
| 0,64                                  | —                                          | —               | —               | 0,619 5         | 0,615 3         | 0,613 3         | 0,611 7         | 0,608 7         | 0,607 3         | 0,606 5         | 0,606 3         | 0,606 3  |
| 0,65                                  | —                                          | —               | —               | 0,620 1         | 0,615 8         | 0,613 7         | 0,612 0         | 0,608 9         | 0,607 4         | 0,606 6         | 0,606 5         | 0,606 4  |
| 0,66                                  | —                                          | —               | —               | 0,620 8         | 0,616 2         | 0,614 1         | 0,612 3         | 0,609 1         | 0,607 6         | 0,606 7         | 0,606 6         | 0,606 5  |
| 0,67                                  | —                                          | —               | —               | 0,621 4         | 0,616 7         | 0,614 4         | 0,612 6         | 0,609 2         | 0,607 6         | 0,606 8         | 0,606 6         | 0,606 6  |
| 0,68                                  | —                                          | —               | —               | 0,621 9         | 0,617 1         | 0,614 7         | 0,612 8         | 0,609 3         | 0,607 7         | 0,606 8         | 0,606 6         | 0,606 6  |
| 0,69                                  | —                                          | —               | —               | 0,622 5         | 0,617 4         | 0,615 0         | 0,613 0         | 0,609 4         | 0,607 7         | 0,606 8         | 0,606 6         | 0,606 6  |
| 0,70                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,617 7         | 0,615 2         | 0,613 2         | 0,609 4         | 0,607 7         | 0,606 7         | 0,606 5         | 0,606 5  |
| 0,71                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,618 0         | 0,615 4         | 0,613 3         | 0,609 4         | 0,607 6         | 0,606 6         | 0,606 4         | 0,606 4  |
| 0,72                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,618 3         | 0,615 6         | 0,613 4         | 0,609 4         | 0,607 5         | 0,606 4         | 0,606 2         | 0,606 2  |
| 0,73                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,618 5         | 0,615 7         | 0,613 4         | 0,609 2         | 0,607 3         | 0,606 2         | 0,606 0         | 0,606 0  |
| 0,74                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,618 6         | 0,615 7         | 0,613 4         | 0,609 1         | 0,607 1         | 0,605 9         | 0,605 7         | 0,605 7  |
| 0,75                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,618 7         | 0,615 7         | 0,613 3         | 0,608 8         | 0,606 8         | 0,605 6         | 0,605 4         | 0,605 4  |

ANMERKUNG: Diese Tabelle dient der bequemen Handhabung. Für genaue Interpolationen ist die Tabelle nicht vorgesehen.  
Extrapolationen sind nicht zulässig.

**Tabelle A4: Blende mit Flansch-Druckentnahmen – Durchflußkoeffizient  $C$  für  $D = 75$  mm**

| Durchmesser-<br>verhältnis<br>$\beta$ | Durchflußkoeffizient $C$ für $Re_D$ gleich |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
|                                       | $5 \times 10^3$                            | $1 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | $3 \times 10^4$ | $5 \times 10^4$ | $7 \times 10^4$ | $1 \times 10^5$ | $3 \times 10^5$ | $1 \times 10^6$ | $1 \times 10^7$ | $1 \times 10^8$ | $\infty$ |
| 0,20                                  | 0,599 7                                    | 0,598 6         | 0,597 9         | 0,597 6         | 0,597 4         | 0,597 3         | 0,597 2         | 0,597 0         | 0,597 0         | 0,596 9         | 0,596 9         | 0,596 9  |
| 0,22                                  | 0,600 6                                    | 0,599 2         | 0,598 4         | 0,598 1         | 0,597 8         | 0,597 6         | 0,597 5         | 0,597 3         | 0,597 2         | 0,597 2         | 0,597 1         | 0,597 1  |
| 0,24                                  | —                                          | 0,600 0         | 0,598 9         | 0,598 5         | 0,598 2         | 0,598 0         | 0,597 9         | 0,597 6         | 0,597 5         | 0,597 4         | 0,597 4         | 0,597 4  |
| 0,26                                  | —                                          | 0,600 8         | 0,599 6         | 0,599 1         | 0,598 6         | 0,598 4         | 0,598 2         | 0,597 9         | 0,597 8         | 0,597 7         | 0,597 7         | 0,597 7  |
| 0,28                                  | —                                          | 0,601 8         | 0,600 2         | 0,599 7         | 0,599 1         | 0,598 9         | 0,598 7         | 0,598 3         | 0,598 1         | 0,598 0         | 0,598 0         | 0,598 0  |
| 0,30                                  | —                                          | 0,602 8         | 0,601 0         | 0,600 3         | 0,599 7         | 0,599 4         | 0,599 1         | 0,598 7         | 0,598 5         | 0,598 3         | 0,598 3         | 0,598 3  |
| 0,32                                  | —                                          | 0,604 0         | 0,601 8         | 0,601 0         | 0,600 3         | 0,599 9         | 0,599 6         | 0,599 1         | 0,598 8         | 0,598 7         | 0,598 7         | 0,598 7  |
| 0,34                                  | —                                          | —               | 0,602 7         | 0,601 8         | 0,600 9         | 0,600 5         | 0,600 2         | 0,599 6         | 0,599 3         | 0,599 1         | 0,599 1         | 0,599 1  |
| 0,36                                  | —                                          | —               | 0,603 7         | 0,602 6         | 0,601 6         | 0,601 1         | 0,600 8         | 0,600 0         | 0,599 7         | 0,599 5         | 0,599 5         | 0,599 5  |
| 0,38                                  | —                                          | —               | 0,604 8         | 0,603 5         | 0,602 4         | 0,601 8         | 0,601 4         | 0,600 6         | 0,600 2         | 0,600 0         | 0,599 9         | 0,599 9  |
| 0,40                                  | —                                          | —               | 0,605 9         | 0,604 5         | 0,603 2         | 0,602 6         | 0,602 1         | 0,601 1         | 0,600 7         | 0,600 5         | 0,600 4         | 0,600 4  |
| 0,42                                  | —                                          | —               | 0,607 1         | 0,605 5         | 0,604 0         | 0,603 3         | 0,602 8         | 0,601 7         | 0,601 2         | 0,601 0         | 0,600 9         | 0,600 9  |
| 0,44                                  | —                                          | —               | 0,608 4         | 0,606 6         | 0,604 9         | 0,604 2         | 0,603 5         | 0,602 3         | 0,601 8         | 0,601 5         | 0,601 4         | 0,601 4  |
| 0,46                                  | —                                          | —               | 0,609 8         | 0,607 7         | 0,605 9         | 0,605 0         | 0,604 3         | 0,603 0         | 0,602 4         | 0,602 0         | 0,602 0         | 0,602 0  |
| 0,48                                  | —                                          | —               | —               | 0,608 9         | 0,606 9         | 0,605 9         | 0,605 1         | 0,603 6         | 0,603 0         | 0,602 6         | 0,602 5         | 0,602 5  |
| 0,50                                  | —                                          | —               | —               | 0,610 2         | 0,607 9         | 0,606 8         | 0,605 9         | 0,604 3         | 0,603 6         | 0,603 2         | 0,603 1         | 0,603 1  |
| 0,51                                  | —                                          | —               | —               | 0,610 8         | 0,608 4         | 0,607 3         | 0,606 4         | 0,604 7         | 0,603 9         | 0,603 4         | 0,603 4         | 0,603 3  |
| 0,52                                  | —                                          | —               | —               | 0,611 5         | 0,609 0         | 0,607 8         | 0,606 8         | 0,605 0         | 0,604 2         | 0,603 7         | 0,603 6         | 0,603 6  |
| 0,53                                  | —                                          | —               | —               | 0,612 1         | 0,609 5         | 0,608 2         | 0,607 2         | 0,605 4         | 0,604 5         | 0,604 0         | 0,603 9         | 0,603 9  |
| 0,54                                  | —                                          | —               | —               | 0,612 8         | 0,610 0         | 0,608 7         | 0,607 7         | 0,605 7         | 0,604 8         | 0,604 3         | 0,604 2         | 0,604 2  |
| 0,55                                  | —                                          | —               | —               | 0,613 4         | 0,610 6         | 0,609 2         | 0,608 1         | 0,606 0         | 0,605 1         | 0,604 5         | 0,604 4         | 0,604 4  |
| 0,56                                  | —                                          | —               | —               | 0,614 1         | 0,611 1         | 0,609 7         | 0,608 5         | 0,606 4         | 0,605 4         | 0,604 8         | 0,604 7         | 0,604 7  |
| 0,57                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,611 6         | 0,610 1         | 0,608 9         | 0,606 7         | 0,605 6         | 0,605 0         | 0,604 9         | 0,604 9  |
| 0,58                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,612 2         | 0,610 6         | 0,609 3         | 0,607 0         | 0,605 9         | 0,605 3         | 0,605 2         | 0,605 1  |
| 0,59                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,612 7         | 0,611 1         | 0,609 7         | 0,607 3         | 0,606 1         | 0,605 5         | 0,605 4         | 0,605 4  |
| 0,60                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,613 2         | 0,611 5         | 0,610 1         | 0,607 6         | 0,606 4         | 0,605 7         | 0,605 6         | 0,605 6  |
| 0,61                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,613 7         | 0,611 9         | 0,610 5         | 0,607 8         | 0,606 6         | 0,605 9         | 0,605 8         | 0,605 7  |
| 0,62                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,614 2         | 0,612 3         | 0,610 8         | 0,608 0         | 0,606 8         | 0,606 0         | 0,605 9         | 0,605 9  |
| 0,63                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,614 6         | 0,612 7         | 0,611 1         | 0,608 3         | 0,606 9         | 0,606 2         | 0,606 0         | 0,606 0  |
| 0,64                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,615 1         | 0,613 1         | 0,611 4         | 0,608 4         | 0,607 0         | 0,606 3         | 0,606 1         | 0,606 1  |
| 0,65                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,615 5         | 0,613 4         | 0,611 7         | 0,608 6         | 0,607 1         | 0,606 3         | 0,606 2         | 0,606 2  |
| 0,66                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,615 9         | 0,613 7         | 0,611 9         | 0,608 7         | 0,607 2         | 0,606 4         | 0,606 2         | 0,606 2  |
| 0,67                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,616 2         | 0,614 0         | 0,612 1         | 0,608 8         | 0,607 2         | 0,606 3         | 0,606 2         | 0,606 1  |
| 0,68                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,616 5         | 0,614 2         | 0,612 3         | 0,608 8         | 0,607 2         | 0,606 3         | 0,606 1         | 0,606 1  |
| 0,69                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,616 8         | 0,614 4         | 0,612 4         | 0,608 8         | 0,607 1         | 0,606 1         | 0,606 0         | 0,605 9  |
| 0,70                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,617 0         | 0,614 5         | 0,612 4         | 0,608 7         | 0,606 9         | 0,606 0         | 0,605 8         | 0,605 8  |
| 0,71                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,617 2         | 0,614 6         | 0,612 4         | 0,608 6         | 0,606 7         | 0,605 7         | 0,605 6         | 0,605 5  |
| 0,72                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,617 3         | 0,614 6         | 0,612 4         | 0,608 4         | 0,606 5         | 0,605 4         | 0,605 2         | 0,605 2  |
| 0,73                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,614 5         | 0,612 2         | 0,608 1         | 0,606 1         | 0,605 1         | 0,604 9         | 0,604 8  |
| 0,74                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,614 4         | 0,612 0         | 0,607 7         | 0,605 7         | 0,604 6         | 0,604 4         | 0,604 4  |
| 0,75                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,614 2         | 0,611 8         | 0,607 3         | 0,605 2         | 0,604 1         | 0,603 9         | 0,603 8  |

ANMERKUNG: Diese Tabelle dient der bequemen Handhabung. Für genaue Interpolationen ist die Tabelle nicht vorgesehen.  
Extrapolationen sind nicht zulässig.

**Tabelle A.5: Blende mit Flansch-Druckentnahmen – Durchflußkoeffizient  $C$  für  $D = 100$  mm**

| Durchmesser-<br>verhältnis<br>$\beta$ | Durchflußkoeffizient $C$ für $Re_D$ gleich |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
|                                       | $5 \times 10^3$                            | $1 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | $3 \times 10^4$ | $5 \times 10^4$ | $7 \times 10^4$ | $1 \times 10^5$ | $3 \times 10^5$ | $1 \times 10^6$ | $1 \times 10^7$ | $1 \times 10^8$ | $\infty$ |
| 0,20                                  | —                                          | 0,598 6         | 0,597 9         | 0,597 6         | 0,597 4         | 0,597 3         | 0,597 2         | 0,597 1         | 0,597 0         | 0,596 9         | 0,596 9         | 0,596 9  |
| 0,22                                  | —                                          | 0,599 2         | 0,598 4         | 0,598 1         | 0,597 8         | 0,597 6         | 0,597 5         | 0,597 3         | 0,597 2         | 0,597 2         | 0,597 2         | 0,597 2  |
| 0,24                                  | —                                          | 0,600 0         | 0,599 0         | 0,598 5         | 0,598 2         | 0,598 0         | 0,597 9         | 0,597 6         | 0,597 5         | 0,597 4         | 0,597 4         | 0,597 4  |
| 0,26                                  | —                                          | 0,600 9         | 0,599 6         | 0,599 1         | 0,598 6         | 0,598 4         | 0,598 3         | 0,597 9         | 0,597 8         | 0,597 7         | 0,597 7         | 0,597 7  |
| 0,28                                  | —                                          | 0,601 8         | 0,600 3         | 0,599 7         | 0,599 1         | 0,598 9         | 0,598 7         | 0,598 3         | 0,598 1         | 0,598 0         | 0,598 0         | 0,598 0  |
| 0,30                                  | —                                          | —               | 0,601 0         | 0,600 3         | 0,599 7         | 0,599 4         | 0,599 1         | 0,598 7         | 0,598 5         | 0,598 4         | 0,598 3         | 0,598 3  |
| 0,32                                  | —                                          | —               | 0,601 9         | 0,601 0         | 0,600 3         | 0,599 9         | 0,599 6         | 0,599 1         | 0,598 9         | 0,598 7         | 0,598 7         | 0,598 7  |
| 0,34                                  | —                                          | —               | 0,602 8         | 0,601 8         | 0,600 9         | 0,600 5         | 0,600 2         | 0,599 6         | 0,599 3         | 0,599 1         | 0,599 1         | 0,599 1  |
| 0,36                                  | —                                          | —               | 0,603 7         | 0,602 6         | 0,601 6         | 0,601 1         | 0,600 8         | 0,600 0         | 0,599 7         | 0,599 5         | 0,599 5         | 0,599 5  |
| 0,38                                  | —                                          | —               | 0,604 8         | 0,603 5         | 0,602 4         | 0,601 8         | 0,601 4         | 0,600 6         | 0,600 2         | 0,600 0         | 0,599 9         | 0,599 9  |
| 0,40                                  | —                                          | —               | —               | 0,604 5         | 0,603 2         | 0,602 5         | 0,602 0         | 0,601 1         | 0,600 7         | 0,600 4         | 0,600 4         | 0,600 4  |
| 0,42                                  | —                                          | —               | —               | 0,605 5         | 0,604 0         | 0,603 3         | 0,602 7         | 0,601 7         | 0,601 2         | 0,600 9         | 0,600 9         | 0,600 9  |
| 0,44                                  | —                                          | —               | —               | 0,606 5         | 0,604 9         | 0,604 1         | 0,603 5         | 0,602 3         | 0,601 7         | 0,601 4         | 0,601 4         | 0,601 4  |
| 0,46                                  | —                                          | —               | —               | 0,607 7         | 0,605 8         | 0,604 9         | 0,604 2         | 0,602 9         | 0,602 3         | 0,602 0         | 0,601 9         | 0,601 9  |
| 0,48                                  | —                                          | —               | —               | 0,608 8         | 0,606 8         | 0,605 8         | 0,605 0         | 0,603 5         | 0,602 9         | 0,602 5         | 0,602 4         | 0,602 4  |
| 0,50                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,607 8         | 0,606 7         | 0,605 8         | 0,604 2         | 0,603 4         | 0,603 0         | 0,602 9         | 0,602 9  |
| 0,51                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,608 3         | 0,607 1         | 0,606 2         | 0,604 5         | 0,603 7         | 0,603 3         | 0,603 2         | 0,603 2  |
| 0,52                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,608 8         | 0,607 6         | 0,606 6         | 0,604 8         | 0,604 0         | 0,603 5         | 0,603 4         | 0,603 4  |
| 0,53                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,609 3         | 0,608 0         | 0,607 0         | 0,605 1         | 0,604 3         | 0,603 8         | 0,603 7         | 0,603 7  |
| 0,54                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,609 8         | 0,608 5         | 0,607 4         | 0,605 4         | 0,604 5         | 0,604 0         | 0,603 9         | 0,603 9  |
| 0,55                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,610 3         | 0,608 9         | 0,607 8         | 0,605 7         | 0,604 8         | 0,604 2         | 0,604 1         | 0,604 1  |
| 0,56                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,610 8         | 0,609 3         | 0,608 2         | 0,606 0         | 0,605 0         | 0,604 5         | 0,604 4         | 0,604 3  |
| 0,57                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,611 3         | 0,609 8         | 0,608 5         | 0,606 3         | 0,605 3         | 0,604 7         | 0,604 6         | 0,604 5  |
| 0,58                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,611 8         | 0,610 2         | 0,608 9         | 0,606 6         | 0,605 5         | 0,604 9         | 0,604 8         | 0,604 7  |
| 0,59                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,612 2         | 0,610 6         | 0,609 3         | 0,606 8         | 0,605 7         | 0,605 0         | 0,604 9         | 0,604 9  |
| 0,60                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,612 7         | 0,611 0         | 0,609 6         | 0,607 0         | 0,605 8         | 0,605 2         | 0,605 1         | 0,605 0  |
| 0,61                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,613 1         | 0,611 3         | 0,609 9         | 0,607 2         | 0,606 0         | 0,605 3         | 0,605 2         | 0,605 2  |
| 0,62                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,613 5         | 0,611 7         | 0,610 2         | 0,607 4         | 0,606 1         | 0,605 4         | 0,605 3         | 0,605 2  |
| 0,63                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,613 9         | 0,612 0         | 0,610 4         | 0,607 5         | 0,606 2         | 0,605 5         | 0,605 3         | 0,605 3  |
| 0,64                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,612 3         | 0,610 7         | 0,607 7         | 0,606 3         | 0,605 5         | 0,605 3         | 0,605 3  |
| 0,65                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,612 5         | 0,610 8         | 0,607 7         | 0,606 3         | 0,605 5         | 0,605 3         | 0,605 3  |
| 0,66                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,612 7         | 0,611 0         | 0,607 7         | 0,606 2         | 0,605 4         | 0,605 2         | 0,605 2  |
| 0,67                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,612 9         | 0,611 1         | 0,607 7         | 0,606 1         | 0,605 3         | 0,605 1         | 0,605 1  |
| 0,68                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,613 0         | 0,611 1         | 0,607 6         | 0,606 0         | 0,605 1         | 0,604 9         | 0,604 9  |
| 0,69                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,613 1         | 0,611 1         | 0,607 5         | 0,605 8         | 0,604 9         | 0,604 7         | 0,604 6  |
| 0,70                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,613 1         | 0,611 0         | 0,607 3         | 0,605 5         | 0,604 5         | 0,604 4         | 0,604 3  |
| 0,71                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,613 0         | 0,610 9         | 0,607 0         | 0,605 2         | 0,604 2         | 0,604 0         | 0,603 9  |
| 0,72                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,612 8         | 0,610 6         | 0,606 6         | 0,604 7         | 0,603 7         | 0,603 5         | 0,603 5  |
| 0,73                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,612 6         | 0,610 3         | 0,606 2         | 0,604 2         | 0,603 1         | 0,603 0         | 0,602 9  |
| 0,74                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,612 3         | 0,609 9         | 0,605 6         | 0,603 6         | 0,602 5         | 0,602 3         | 0,602 3  |
| 0,75                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,609 4         | 0,605 0         | 0,602 9         | 0,601 8         | 0,601 5         | 0,601 5  |

ANMERKUNG: Diese Tabelle dient der bequemen Handhabung. Für genaue Interpolationen ist die Tabelle nicht vorgesehen.  
Extrapolationen sind nicht zulässig.

Tabelle A.6: Blende mit Flansch-Druckentnahmen – Durchflußkoeffizient  $C$  für  $D = 150$  mm

| Durchmesser-<br>verhältnis<br>$\beta$ | Durchflußkoeffizient $C$ für $Re_D$ gleich |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
|                                       | $5 \times 10^3$                            | $1 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | $3 \times 10^4$ | $5 \times 10^4$ | $7 \times 10^4$ | $1 \times 10^5$ | $3 \times 10^5$ | $1 \times 10^6$ | $1 \times 10^7$ | $1 \times 10^8$ | $\infty$ |
| 0,20                                  | —                                          | 0,598 6         | 0,597 9         | 0,597 7         | 0,597 4         | 0,597 3         | 0,597 2         | 0,597 1         | 0,597 0         | 0,596 9         | 0,596 9         | 0,596 9  |
| 0,22                                  | —                                          | 0,599 3         | 0,598 4         | 0,598 1         | 0,597 8         | 0,597 7         | 0,597 5         | 0,597 3         | 0,597 2         | 0,597 2         | 0,597 2         | 0,597 2  |
| 0,24                                  | —                                          | —               | 0,599 0         | 0,598 6         | 0,598 2         | 0,598 0         | 0,597 9         | 0,597 6         | 0,597 5         | 0,597 4         | 0,597 4         | 0,597 4  |
| 0,26                                  | —                                          | —               | 0,599 6         | 0,599 1         | 0,598 7         | 0,598 4         | 0,598 3         | 0,598 0         | 0,597 8         | 0,597 7         | 0,597 7         | 0,597 7  |
| 0,28                                  | —                                          | —               | 0,600 3         | 0,599 7         | 0,599 2         | 0,598 9         | 0,598 7         | 0,598 3         | 0,598 1         | 0,598 0         | 0,598 0         | 0,598 0  |
| 0,30                                  | —                                          | —               | 0,601 0         | 0,600 3         | 0,599 7         | 0,599 4         | 0,599 2         | 0,598 7         | 0,598 5         | 0,598 4         | 0,598 4         | 0,598 3  |
| 0,32                                  | —                                          | —               | 0,601 9         | 0,601 0         | 0,600 3         | 0,599 9         | 0,599 6         | 0,599 1         | 0,598 9         | 0,598 7         | 0,598 7         | 0,598 7  |
| 0,34                                  | —                                          | —               | —               | 0,601 8         | 0,600 9         | 0,600 5         | 0,600 2         | 0,599 6         | 0,599 3         | 0,599 1         | 0,599 1         | 0,599 1  |
| 0,36                                  | —                                          | —               | —               | 0,602 6         | 0,601 6         | 0,601 2         | 0,600 8         | 0,600 0         | 0,599 7         | 0,599 5         | 0,599 5         | 0,599 5  |
| 0,38                                  | —                                          | —               | —               | 0,603 5         | 0,602 4         | 0,601 8         | 0,601 4         | 0,600 6         | 0,600 2         | 0,600 0         | 0,599 9         | 0,599 9  |
| 0,40                                  | —                                          | —               | —               | 0,604 4         | 0,603 1         | 0,602 5         | 0,602 0         | 0,601 1         | 0,600 7         | 0,600 4         | 0,600 4         | 0,600 4  |
| 0,42                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,604 0         | 0,603 3         | 0,602 7         | 0,601 7         | 0,601 2         | 0,600 9         | 0,600 8         | 0,600 8  |
| 0,44                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,604 8         | 0,604 0         | 0,603 4         | 0,602 2         | 0,601 7         | 0,601 4         | 0,601 3         | 0,601 3  |
| 0,46                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,605 7         | 0,604 9         | 0,604 1         | 0,602 8         | 0,602 2         | 0,601 9         | 0,601 8         | 0,601 8  |
| 0,48                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,606 7         | 0,605 7         | 0,604 9         | 0,603 4         | 0,602 7         | 0,602 4         | 0,602 3         | 0,602 3  |
| 0,50                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,607 6         | 0,606 5         | 0,605 6         | 0,604 0         | 0,603 3         | 0,602 9         | 0,602 8         | 0,602 8  |
| 0,51                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,608 1         | 0,607 0         | 0,606 0         | 0,604 3         | 0,603 5         | 0,603 1         | 0,603 0         | 0,603 0  |
| 0,52                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,607 4         | 0,606 4         | 0,604 6         | 0,603 8         | 0,603 3         | 0,603 2         | 0,603 2  |
| 0,53                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,607 8         | 0,606 8         | 0,604 9         | 0,604 0         | 0,603 5         | 0,603 5         | 0,603 4  |
| 0,54                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,608 2         | 0,607 1         | 0,605 2         | 0,604 3         | 0,603 8         | 0,603 7         | 0,603 6  |
| 0,55                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,608 6         | 0,607 5         | 0,605 4         | 0,604 5         | 0,604 0         | 0,603 9         | 0,603 8  |
| 0,56                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,609 0         | 0,607 8         | 0,605 7         | 0,604 7         | 0,604 1         | 0,604 0         | 0,604 0  |
| 0,57                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,609 4         | 0,608 2         | 0,605 9         | 0,604 9         | 0,604 3         | 0,604 2         | 0,604 2  |
| 0,58                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,609 8         | 0,608 5         | 0,606 1         | 0,605 1         | 0,604 4         | 0,604 3         | 0,604 3  |
| 0,59                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,610 1         | 0,608 8         | 0,606 3         | 0,605 2         | 0,604 6         | 0,604 5         | 0,604 4  |
| 0,60                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,610 5         | 0,609 1         | 0,606 5         | 0,605 3         | 0,604 7         | 0,604 5         | 0,604 5  |
| 0,61                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,609 3         | 0,606 7         | 0,605 4         | 0,604 7         | 0,604 6         | 0,604 6  |
| 0,62                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,609 5         | 0,606 8         | 0,605 5         | 0,604 8         | 0,604 6         | 0,604 6  |
| 0,63                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,609 7         | 0,606 8         | 0,605 5         | 0,604 7         | 0,604 6         | 0,604 6  |
| 0,64                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,609 9         | 0,606 9         | 0,605 5         | 0,604 7         | 0,604 5         | 0,604 5  |
| 0,65                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,610 0         | 0,606 8         | 0,605 4         | 0,604 6         | 0,604 4         | 0,604 4  |
| 0,66                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,610 0         | 0,606 8         | 0,605 3         | 0,604 4         | 0,604 3         | 0,604 2  |
| 0,67                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,610 0         | 0,606 6         | 0,605 1         | 0,604 2         | 0,604 0         | 0,604 0  |
| 0,68                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,609 9         | 0,606 4         | 0,604 8         | 0,603 9         | 0,603 8         | 0,603 7  |
| 0,69                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,609 8         | 0,606 2         | 0,604 5         | 0,603 6         | 0,603 4         | 0,603 4  |
| 0,70                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,609 6         | 0,605 8         | 0,604 1         | 0,603 1         | 0,602 9         | 0,602 9  |
| 0,71                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,609 3         | 0,605 4         | 0,603 6         | 0,602 6         | 0,602 4         | 0,602 4  |
| 0,72                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,608 9         | 0,604 9         | 0,603 0         | 0,602 0         | 0,601 8         | 0,601 7  |
| 0,73                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,604 3         | 0,602 3         | 0,601 2         | 0,601 0         | 0,601 0  |
| 0,74                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,603 5         | 0,601 5         | 0,600 4         | 0,600 2         | 0,600 1  |
| 0,75                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,602 7         | 0,600 6         | 0,599 4         | 0,599 2         | 0,599 2  |

ANMERKUNG: Diese Tabelle dient der bequemen Handhabung. Für genaue Interpolationen ist die Tabelle nicht vorgesehen. Extrapolationen sind nicht zulässig.

**Tabelle A.7: Blende mit Flansch-Druckentnahmen – Durchflußkoeffizient  $C$  für  $D = 200$  mm**

| Durchmesser-<br>verhältnis<br>$\beta$ | Durchflußkoeffizient $C$ für $Re_D$ gleich |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
|                                       | $5 \times 10^3$                            | $1 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | $3 \times 10^4$ | $5 \times 10^4$ | $7 \times 10^4$ | $1 \times 10^5$ | $3 \times 10^5$ | $1 \times 10^6$ | $1 \times 10^7$ | $1 \times 10^8$ | $\infty$ |
| 0,20                                  | —                                          | —               | 0,597 9         | 0,597 7         | 0,597 4         | 0,597 3         | 0,597 2         | 0,597 1         | 0,597 0         | 0,597 0         | 0,596 9         | 0,596 9  |
| 0,22                                  | —                                          | —               | 0,598 4         | 0,598 1         | 0,597 8         | 0,597 7         | 0,597 5         | 0,597 3         | 0,597 2         | 0,597 2         | 0,597 2         | 0,597 2  |
| 0,24                                  | —                                          | —               | 0,599 0         | 0,598 6         | 0,598 2         | 0,598 0         | 0,597 9         | 0,597 6         | 0,597 5         | 0,597 4         | 0,597 4         | 0,597 4  |
| 0,26                                  | —                                          | —               | 0,599 6         | 0,599 1         | 0,598 7         | 0,598 5         | 0,598 3         | 0,598 0         | 0,597 8         | 0,597 7         | 0,597 7         | 0,597 7  |
| 0,28                                  | —                                          | —               | 0,600 3         | 0,599 7         | 0,599 2         | 0,598 9         | 0,598 7         | 0,598 3         | 0,598 1         | 0,598 0         | 0,598 0         | 0,598 0  |
| 0,30                                  | —                                          | —               | —               | 0,600 3         | 0,599 7         | 0,599 4         | 0,599 2         | 0,598 7         | 0,598 5         | 0,598 4         | 0,598 4         | 0,598 4  |
| 0,32                                  | —                                          | —               | —               | 0,601 0         | 0,600 3         | 0,599 9         | 0,599 7         | 0,599 1         | 0,598 9         | 0,598 7         | 0,598 7         | 0,598 7  |
| 0,34                                  | —                                          | —               | —               | 0,601 8         | 0,600 9         | 0,600 5         | 0,600 2         | 0,599 6         | 0,599 3         | 0,599 1         | 0,599 1         | 0,599 1  |
| 0,36                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,601 6         | 0,601 2         | 0,600 8         | 0,600 1         | 0,599 7         | 0,599 5         | 0,599 5         | 0,599 5  |
| 0,38                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,602 4         | 0,601 8         | 0,601 4         | 0,600 6         | 0,600 2         | 0,600 0         | 0,599 9         | 0,599 9  |
| 0,40                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,603 1         | 0,602 5         | 0,602 0         | 0,601 1         | 0,600 7         | 0,600 4         | 0,600 4         | 0,600 4  |
| 0,42                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,604 0         | 0,603 3         | 0,602 7         | 0,601 6         | 0,601 1         | 0,600 9         | 0,600 8         | 0,600 8  |
| 0,44                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,604 8         | 0,604 0         | 0,603 4         | 0,602 2         | 0,601 7         | 0,601 4         | 0,601 3         | 0,601 3  |
| 0,46                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,604 8         | 0,604 1         | 0,602 8         | 0,602 2         | 0,601 8         | 0,601 8         | 0,601 8  |
| 0,48                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,605 6         | 0,604 8         | 0,603 4         | 0,602 7         | 0,602 3         | 0,602 2         | 0,602 2  |
| 0,50                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,606 5         | 0,605 6         | 0,604 0         | 0,603 2         | 0,602 8         | 0,602 7         | 0,602 7  |
| 0,51                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,606 9         | 0,605 9         | 0,604 2         | 0,603 4         | 0,603 0         | 0,602 9         | 0,602 9  |
| 0,52                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,607 3         | 0,606 3         | 0,604 5         | 0,603 7         | 0,603 2         | 0,603 1         | 0,603 1  |
| 0,53                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 7         | 0,604 8         | 0,603 9         | 0,603 4         | 0,603 3         | 0,603 3  |
| 0,54                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,607 0         | 0,605 0         | 0,604 1         | 0,603 6         | 0,603 5         | 0,603 5  |
| 0,55                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,607 3         | 0,605 3         | 0,604 3         | 0,603 8         | 0,603 7         | 0,603 7  |
| 0,56                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,607 7         | 0,605 5         | 0,604 5         | 0,604 0         | 0,603 9         | 0,603 8  |
| 0,57                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,608 0         | 0,605 7         | 0,604 7         | 0,604 1         | 0,604 0         | 0,604 0  |
| 0,58                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,608 3         | 0,605 9         | 0,604 8         | 0,604 2         | 0,604 1         | 0,604 1  |
| 0,59                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,608 6         | 0,606 1         | 0,605 0         | 0,604 3         | 0,604 2         | 0,604 2  |
| 0,60                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,608 8         | 0,606 3         | 0,605 1         | 0,604 4         | 0,604 3         | 0,604 3  |
| 0,61                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,609 0         | 0,606 4         | 0,605 1         | 0,604 4         | 0,604 3         | 0,604 3  |
| 0,62                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,609 2         | 0,606 4         | 0,605 2         | 0,604 4         | 0,604 3         | 0,604 3  |
| 0,63                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,609 4         | 0,606 5         | 0,605 1         | 0,604 4         | 0,604 3         | 0,604 2  |
| 0,64                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 5         | 0,605 1         | 0,604 3         | 0,604 2         | 0,604 1  |
| 0,65                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 4         | 0,605 0         | 0,604 1         | 0,604 0         | 0,604 0  |
| 0,66                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 3         | 0,604 8         | 0,603 9         | 0,603 8         | 0,603 8  |
| 0,67                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 1         | 0,604 5         | 0,603 7         | 0,603 5         | 0,603 5  |
| 0,68                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 9         | 0,604 2         | 0,603 3         | 0,603 2         | 0,603 1  |
| 0,69                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 5         | 0,603 9         | 0,602 9         | 0,602 7         | 0,602 7  |
| 0,70                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 1         | 0,603 4         | 0,602 4         | 0,602 2         | 0,602 2  |
| 0,71                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,604 6         | 0,602 8         | 0,601 8         | 0,601 6         | 0,601 6  |
| 0,72                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,604 0         | 0,602 1         | 0,601 1         | 0,600 9         | 0,600 9  |
| 0,73                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,603 3         | 0,601 4         | 0,600 3         | 0,600 1         | 0,600 0  |
| 0,74                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,602 5         | 0,600 5         | 0,599 3         | 0,599 1         | 0,599 1  |
| 0,75                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,601 5         | 0,599 4         | 0,598 3         | 0,598 1         | 0,598 0  |

ANMERKUNG: Diese Tabelle dient der bequemen Handhabung. Für genaue Interpolationen ist die Tabelle nicht vorgesehen.  
Extrapolationen sind nicht zulässig.

Tabelle A.8: Blende mit Flansch-Druckentnahmen – Durchflußkoeffizient  $C$  für  $D = 250$  mm

| Durchmesser-<br>verhältnis<br>$\beta$ | Durchflußkoeffizient $C$ für $Re_D$ gleich |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
|                                       | $5 \times 10^3$                            | $1 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | $3 \times 10^4$ | $5 \times 10^4$ | $7 \times 10^4$ | $1 \times 10^5$ | $3 \times 10^5$ | $1 \times 10^6$ | $1 \times 10^7$ | $1 \times 10^8$ | $\infty$ |
| 0,20                                  | —                                          | —               | 0,597 9         | 0,597 7         | 0,597 4         | 0,597 3         | 0,597 2         | 0,597 1         | 0,597 0         | 0,597 0         | 0,597 0         | 0,596 9  |
| 0,22                                  | —                                          | —               | 0,598 4         | 0,598 1         | 0,597 8         | 0,597 7         | 0,597 6         | 0,597 3         | 0,597 2         | 0,597 2         | 0,597 2         | 0,597 2  |
| 0,24                                  | —                                          | —               | 0,599 0         | 0,598 6         | 0,598 2         | 0,598 0         | 0,597 9         | 0,597 6         | 0,597 5         | 0,597 5         | 0,597 4         | 0,597 4  |
| 0,26                                  | —                                          | —               | —               | 0,599 1         | 0,598 7         | 0,598 5         | 0,598 3         | 0,598 0         | 0,597 8         | 0,597 7         | 0,597 7         | 0,597 7  |
| 0,28                                  | —                                          | —               | —               | 0,599 7         | 0,599 2         | 0,598 9         | 0,598 7         | 0,598 3         | 0,598 1         | 0,598 0         | 0,598 0         | 0,598 0  |
| 0,30                                  | —                                          | —               | —               | 0,600 3         | 0,599 7         | 0,599 4         | 0,599 2         | 0,598 7         | 0,598 5         | 0,598 4         | 0,598 4         | 0,598 4  |
| 0,32                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,600 3         | 0,599 9         | 0,599 7         | 0,599 1         | 0,598 9         | 0,598 7         | 0,598 7         | 0,598 7  |
| 0,34                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,600 9         | 0,600 5         | 0,600 2         | 0,599 6         | 0,599 3         | 0,599 1         | 0,599 1         | 0,599 1  |
| 0,36                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,601 6         | 0,601 2         | 0,600 8         | 0,600 1         | 0,599 7         | 0,599 5         | 0,599 5         | 0,599 5  |
| 0,38                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,602 4         | 0,601 8         | 0,601 4         | 0,600 6         | 0,600 2         | 0,600 0         | 0,599 9         | 0,599 9  |
| 0,40                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,602 5         | 0,602 0         | 0,601 1         | 0,600 6         | 0,600 4         | 0,600 4         | 0,600 4  |
| 0,42                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,603 2         | 0,602 7         | 0,601 6         | 0,601 1         | 0,600 9         | 0,600 8         | 0,600 8  |
| 0,44                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,604 0         | 0,603 4         | 0,602 2         | 0,601 6         | 0,601 3         | 0,601 3         | 0,601 3  |
| 0,46                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,604 8         | 0,604 1         | 0,602 8         | 0,602 2         | 0,601 8         | 0,601 7         | 0,601 7  |
| 0,48                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,604 8         | 0,603 3         | 0,602 7         | 0,602 3         | 0,602 2         | 0,602 2  |
| 0,50                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 5         | 0,603 9         | 0,603 2         | 0,602 7         | 0,602 7         | 0,602 6  |
| 0,51                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 9         | 0,604 2         | 0,603 4         | 0,602 9         | 0,602 9         | 0,602 9  |
| 0,52                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 2         | 0,604 5         | 0,603 6         | 0,603 2         | 0,603 1         | 0,603 1  |
| 0,53                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 6         | 0,604 7         | 0,603 8         | 0,603 4         | 0,603 3         | 0,603 3  |
| 0,54                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 9         | 0,605 0         | 0,604 1         | 0,603 5         | 0,603 5         | 0,603 4  |
| 0,55                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,607 3         | 0,605 2         | 0,604 3         | 0,603 7         | 0,603 6         | 0,603 6  |
| 0,56                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,607 6         | 0,605 4         | 0,604 4         | 0,603 9         | 0,603 8         | 0,603 7  |
| 0,57                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 6         | 0,604 6         | 0,604 0         | 0,603 9         | 0,603 9  |
| 0,58                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 8         | 0,604 7         | 0,604 1         | 0,604 0         | 0,604 0  |
| 0,59                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 0         | 0,604 8         | 0,604 2         | 0,604 1         | 0,604 1  |
| 0,60                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 1         | 0,604 9         | 0,604 2         | 0,604 1         | 0,604 1  |
| 0,61                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 2         | 0,605 0         | 0,604 3         | 0,604 1         | 0,604 1  |
| 0,62                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 3         | 0,605 0         | 0,604 2         | 0,604 1         | 0,604 1  |
| 0,63                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 3         | 0,604 9         | 0,604 2         | 0,604 0         | 0,604 0  |
| 0,64                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 2         | 0,604 8         | 0,604 1         | 0,603 9         | 0,603 9  |
| 0,65                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 1         | 0,604 7         | 0,603 9         | 0,603 7         | 0,603 7  |
| 0,66                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 0         | 0,604 5         | 0,603 7         | 0,603 5         | 0,603 5  |
| 0,67                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 8         | 0,604 2         | 0,603 4         | 0,603 2         | 0,603 2  |
| 0,68                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 5         | 0,603 9         | 0,603 0         | 0,602 8         | 0,602 8  |
| 0,69                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 1         | 0,603 5         | 0,602 5         | 0,602 4         | 0,602 3  |
| 0,70                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,604 7         | 0,602 9         | 0,602 0         | 0,601 8         | 0,601 8  |
| 0,71                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,604 1         | 0,602 3         | 0,601 3         | 0,601 1         | 0,601 1  |
| 0,72                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,603 5         | 0,601 6         | 0,600 6         | 0,600 4         | 0,600 3  |
| 0,73                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,602 7         | 0,600 8         | 0,599 7         | 0,599 5         | 0,599 5  |
| 0,74                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,601 8         | 0,599 8         | 0,598 7         | 0,598 5         | 0,598 5  |
| 0,75                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,600 8         | 0,598 7         | 0,597 6         | 0,597 4         | 0,597 3  |

ANMERKUNG: Diese Tabelle dient der bequemen Handhabung. Für genaue Interpolationen ist die Tabelle nicht vorgesehen. Extrapolationen sind nicht zulässig.

**Tabelle A.9: Blende mit Flansch-Druckentnahmen – Durchflußkoeffizient  $C$  für  $D = 375$  mm**

| Durchmesser-<br>verhältnis<br>$\beta$ | Durchflußkoeffizient $C$ für $Re_D$ gleich |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
|                                       | $5 \times 10^3$                            | $1 \times 10^4$ | $2 \times 10^4$ | $3 \times 10^4$ | $5 \times 10^4$ | $7 \times 10^4$ | $1 \times 10^5$ | $3 \times 10^5$ | $1 \times 10^6$ | $1 \times 10^7$ | $1 \times 10^8$ | $\infty$ |
| 0,20                                  | —                                          | —               | 0,597 9         | 0,597 7         | 0,597 4         | 0,597 3         | 0,597 2         | 0,597 1         | 0,597 0         | 0,597 0         | 0,597 0         | 0,597 0  |
| 0,22                                  | —                                          | —               | —               | 0,598 1         | 0,597 8         | 0,597 7         | 0,597 6         | 0,597 3         | 0,597 3         | 0,597 2         | 0,597 2         | 0,597 2  |
| 0,24                                  | —                                          | —               | —               | 0,598 6         | 0,598 2         | 0,598 0         | 0,597 9         | 0,597 6         | 0,597 5         | 0,597 5         | 0,597 4         | 0,597 4  |
| 0,26                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,598 7         | 0,598 5         | 0,598 3         | 0,598 0         | 0,597 8         | 0,597 7         | 0,597 7         | 0,597 7  |
| 0,28                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,599 2         | 0,598 9         | 0,598 7         | 0,598 3         | 0,598 2         | 0,598 1         | 0,598 0         | 0,598 0  |
| 0,30                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,599 7         | 0,599 4         | 0,599 2         | 0,598 7         | 0,598 5         | 0,598 4         | 0,598 4         | 0,598 4  |
| 0,32                                  | —                                          | —               | —               | —               | 0,600 3         | 0,600 0         | 0,599 7         | 0,599 1         | 0,598 9         | 0,598 8         | 0,598 7         | 0,598 7  |
| 0,34                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,600 5         | 0,600 2         | 0,599 6         | 0,599 3         | 0,599 1         | 0,599 1         | 0,599 1  |
| 0,36                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,601 2         | 0,600 8         | 0,600 1         | 0,599 7         | 0,599 5         | 0,599 5         | 0,599 5  |
| 0,38                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | 0,601 8         | 0,601 4         | 0,600 6         | 0,600 2         | 0,600 0         | 0,599 9         | 0,599 9  |
| 0,40                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,602 0         | 0,601 1         | 0,600 6         | 0,600 4         | 0,600 4         | 0,600 3  |
| 0,42                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,602 7         | 0,601 6         | 0,601 1         | 0,600 9         | 0,600 8         | 0,600 8  |
| 0,44                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,603 3         | 0,602 2         | 0,601 6         | 0,601 3         | 0,601 3         | 0,601 2  |
| 0,46                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | 0,604 0         | 0,602 7         | 0,602 1         | 0,601 8         | 0,601 7         | 0,601 7  |
| 0,48                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,603 3         | 0,602 6         | 0,602 2         | 0,602 2         | 0,602 2  |
| 0,50                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,603 8         | 0,603 1         | 0,602 7         | 0,602 6         | 0,602 6  |
| 0,51                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,604 1         | 0,603 3         | 0,602 9         | 0,602 8         | 0,602 8  |
| 0,52                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,604 4         | 0,603 5         | 0,603 1         | 0,603 0         | 0,603 0  |
| 0,53                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,604 6         | 0,603 8         | 0,603 3         | 0,603 2         | 0,603 2  |
| 0,54                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,604 9         | 0,604 0         | 0,603 4         | 0,603 4         | 0,603 3  |
| 0,55                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 1         | 0,604 1         | 0,603 6         | 0,603 5         | 0,603 5  |
| 0,56                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 3         | 0,604 3         | 0,603 7         | 0,603 6         | 0,603 6  |
| 0,57                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 5         | 0,604 4         | 0,603 9         | 0,603 8         | 0,603 7  |
| 0,58                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 6         | 0,604 6         | 0,603 9         | 0,603 8         | 0,603 8  |
| 0,59                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 8         | 0,604 6         | 0,604 0         | 0,603 9         | 0,603 9  |
| 0,60                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 9         | 0,604 7         | 0,604 0         | 0,603 9         | 0,603 9  |
| 0,61                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 0         | 0,604 7         | 0,604 0         | 0,603 9         | 0,603 9  |
| 0,62                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 0         | 0,604 7         | 0,604 0         | 0,603 9         | 0,603 8  |
| 0,63                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,606 0         | 0,604 6         | 0,603 9         | 0,603 8         | 0,603 7  |
| 0,64                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 9         | 0,604 5         | 0,603 7         | 0,603 6         | 0,603 6  |
| 0,65                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 8         | 0,604 3         | 0,603 5         | 0,603 4         | 0,603 4  |
| 0,66                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 6         | 0,604 1         | 0,603 3         | 0,603 1         | 0,603 1  |
| 0,67                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 4         | 0,603 8         | 0,602 9         | 0,602 8         | 0,602 7  |
| 0,68                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,605 0         | 0,603 4         | 0,602 5         | 0,602 3         | 0,602 3  |
| 0,69                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,604 6         | 0,602 9         | 0,602 0         | 0,601 8         | 0,601 8  |
| 0,70                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,604 1         | 0,602 4         | 0,601 4         | 0,601 2         | 0,601 2  |
| 0,71                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,603 5         | 0,601 7         | 0,600 7         | 0,600 5         | 0,600 5  |
| 0,72                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,602 8         | 0,600 9         | 0,599 9         | 0,599 7         | 0,599 7  |
| 0,73                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,602 0         | 0,600 0         | 0,598 9         | 0,598 7         | 0,598 7  |
| 0,74                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,601 0         | 0,599 0         | 0,597 9         | 0,597 7         | 0,597 6  |
| 0,75                                  | —                                          | —               | —               | —               | —               | —               | —               | 0,599 9         | 0,597 8         | 0,596 6         | 0,596 4         | 0,596 4  |

ANMERKUNG: Diese Tabelle dient der bequemen Handhabung. Für genaue Interpolationen ist die Tabelle nicht vorgesehen.  
Extrapolationen sind nicht zulässig.