

DIN EN ISO 5167-3



ICS 17.120.10

Einsprüche bis 2022-09-22
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 5167-3:2021-12

Entwurf

**Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt –
Teil 3: Düsen und Venturidüsen (ISO/FDIS 5167-3:2022);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 5167-3:2022**

Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full –
Part 3: Nozzles and Venturi nozzles (ISO/FDIS 5167-3:2022);
German and English version prEN ISO 5167-3:2022

Mesurage du débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire –
Partie 3: Tuyères et Venturi-tuyères (ISO/FDIS 5167-3:2022);
Version allemande et anglaise prEN ISO 5167-3:2022

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-07-22 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an natg@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

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

Gesamtumfang 102 Seiten

DIN-Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 5167-3:2022) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 30 „Measurement of fluid flow in closed conduits“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 000 „Sectors“ erarbeitet, dessen Sekretariat von CEN gehalten wird.

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

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

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

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

ISO 4006	siehe	DIN EN ISO 24006
ISO 5167 (all parts)	siehe	DIN EN ISO 5167 (alle Teile)
ISO 5168	siehe	DIN V 5168

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 5167-3:2021-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Dokument in Übereinstimmung mit dem ISO/IEC Guide 98-3 „Messunsicherheit — Teil 3: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen“ (GUM) gebracht;
- b) geringfügige Änderungen, um das Dokument mit den übrigen Teilen der Reihe ISO 5167-3 in Übereinstimmung zu bringen.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 24006, *Durchflußmessung von Fluiden in geschlossenen Leitungen — Begriffe und Formelzeichen (ISO 4006)*

DIN EN ISO 5167, *Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt*

DIN V 5168, *Durchflussmessung von Fluiden — Verfahren zur Unsicherheitsermittlung (ISO 5168)*

– *Entwurf* –

E DIN EN ISO 5167-3:2022-08

– Leerseite –

Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt – Teil 3: Düsen und Venturidüsen (ISO/FDIS 5167-3:2022)

Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 3: Nozzles and Venturi nozzles (ISO/FDIS 5167-3:2022)

Mesurage du débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire – Partie 3: Tuyères et Venturi-tuyères (ISO/FDIS 5167-3:2022)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Messprinzip und Berechnungsverfahren	8
5 Düsen und Venturidüsen	9
5.1 ISA-1932-Düse	9
5.1.1 Allgemeine Form	9
5.1.2 Profil der Düse	9
5.1.3 Rückseite	11
5.1.4 Werkstoff und Herstellung	11
5.1.5 Druckentnahmen	11
5.1.6 Koeffizienten der ISA-1932-Düse	13
5.1.7 Messunsicherheiten	14
5.1.8 Druckverlust $\Delta\varpi$	14
5.2 Langradius-Düsen	15
5.2.1 Allgemeines	15
5.2.2 Profil der Düse mit großem Durchmesser Verhältnis	15
5.2.3 Profil der Düse mit kleinem Durchmesser Verhältnis	17
5.2.4 Werkstoff und Herstellung	17
5.2.5 Druckentnahmen	18
5.2.6 Koeffizienten für Langradius-Düsen	18
5.2.7 Messunsicherheiten	19
5.2.8 Druckverlust $\Delta\varpi$	19
5.3 Düsen mit Entnahmebohrung am Halsteil	19
5.3.1 Allgemeines	19
5.3.2 Profil der Düse mit Entnahmebohrung am Halsteil	20
5.3.3 Werkstoff und Herstellung	21
5.3.4 Druckentnahmen	21
5.3.5 Koeffizienten	22
5.3.6 Messunsicherheiten	23
5.3.7 Kalibrierung und Extrapolation	23
5.3.8 Druckverlust	24
5.4 Venturidüse	24
5.4.1 Allgemeine Form	24
5.4.2 Werkstoff und Herstellung	26
5.4.3 Druckentnahmen	26
5.4.4 Koeffizienten	27
5.4.5 Messunsicherheiten	28
5.4.6 Druckverlust	28
6 Anforderungen an den Einbau	29
6.1 Allgemeines	29
6.2 Mindestlängen störungsfreier gerader ein- und auslaufseitiger Rohrstrecken zwischen verschiedenen Einbaustörungen und dem Primärgerät	29
6.3 Strömungsumformer und Strömungsgleichrichter	37
6.4 Rundheit und Zylinderform des Rohres	37
6.5 Anordnung von Primärgerät und Fassungsringen	38
6.6 Halterungen und Dichtungen	39
7 Durchflusskalibrierung von Düsen	39

7.1	Allgemeines	39
7.2	Prüfeinrichtung	39
7.3	Einbau des Durchflussmessers	39
7.4	Gestaltung des Prüfprogramms	40
7.5	Angabe der Kalibrierergebnisse im Bericht	40
7.6	Unsicherheitsanalyse der Kalibrierung	40
7.6.1	Allgemeines	40
7.6.2	Messunsicherheit der Prüfeinrichtung	40
7.6.3	Messunsicherheit der Düse	41
Anhang A (informativ)	Tabellen für Durchflusskoeffizienten und Expansionszahlen	42
Anhang B (informativ)	Strömungsgleichrichter vom Akashi-Typ (Mitsubishi-Typ)	50
Literaturhinweise		51

Bilder

Bild 1	— ISA-1932-Düse	10
Bild 2	— Langradius-Düsen	17
Bild 3	— Düsen mit Entnahmebohrung am Halsteil	21
Bild 4	— Venturidüse	25
Bild 5	— Venturidüse — Druckentnahmen	27
Bild 6	— Druckverlust der Venturidüse	29
Bild 7	— Anordnung mit einem Absperrventil mit freiem Rohrquerschnitt mit $\beta = 0,6$	35
Bild 8	— Beispiele für zulässige Einbauten (siehe 6.2.9)	36
Bild B.1	— Strömungsgleichrichter vom Akashi-Typ	50

Tabellen

Tabelle 1	— Obere Grenzwerte der relativen einlaufseitigen Rohrrauheit von ISA-1932-Düsen	13
Tabelle 2	— Obere Grenzwerte der relativen einlaufseitigen Rohrrauheit für Venturidüsen	28
Tabelle 3	— Erforderliche störungsfreie gerade Rohrstrecken für Düsen und Venturidüsen	31
Tabelle A.1	— ISA 1932-Düse — Durchflusskoeffizient C	42
Tabelle A.2	— Langradius-Düse — Durchflusskoeffizient C	43
Tabelle A.3	— Düse mit Entnahmebohrung am Halsteil — Durchflusskoeffizient C	45
Tabelle A.4	— Venturidüse — Durchflusskoeffizient C	46
Tabelle A.5	— Düsen und Venturidüsen — Expansionszahl ε	48
Tabelle B.1	— Achse der Bohrungen im Strömungsgleichrichter vom Akashi-Typ	50

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (FprEN ISO 5167-3:2022) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 30 „Measurement of fluid flow in closed conduits“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 000 „Sectors“ erarbeitet, dessen Sekretariat von CEN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen formellen Abstimmung vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 5167-3:2020 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/FDIS 5167-3:2022 wurde von CEN als FprEN ISO 5167-3:2022 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

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

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

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

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

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 30, *Measurement of fluid flow in closed conduits*, Unterkomitee SC 2, *Pressure differential devices*, in Zusammenarbeit mit dem Europäischen Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/SS F05, *Messgeräte*, in Übereinstimmung mit der Vereinbarung zur technischen Zusammenarbeit zwischen ISO und CEN (Wiener Vereinbarung) erarbeitet.

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 5167-3:2020), die geringfügig geändert wurde. Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- Harmonisierung mit ISO/IEC Guide 98-3;
- kleinere Änderungen zur Harmonisierung mit den anderen Teilen von ISO 5167.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 5167 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

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

ISO 5167 (alle Teile) ist nur für Drosselgeräte anwendbar, in denen die Strömung in allen Messquerschnitten im Unterschallbereich liegt und wo das Fluid als einphasig betrachtet werden kann. ISO 5167 (alle Teile) ist nicht für Messungen bei pulsierenden Strömungen anwendbar. Ferner kann jedes dieser Drosselgeräte nur in festgelegten Grenzen für den Rohrdurchmesser und die Reynolds-Zahl verwendet werden.

In ISO 5167 (alle Teile) werden Drosselgeräte behandelt, für die direkte Kalibrierungen in ausreichender Anzahl, Spreizung und Qualität durchgeführt wurden, sodass die Ergebnisse der Kalibrierungen auf ähnliche Anordnungen übertragbar sind und die Kalibrierkoeffizienten innerhalb bestimmter Grenzen der Messunsicherheit angegeben werden können. ISO 5167 enthält auch eine Verfahrensweise für die maßgeschneiderte Kalibrierung von Differenzdruckmessgeräten.

In Rohrleitungen eingebaute Geräte werden „Primärgeräte“ genannt. Die Benennung Primärgerät schließt die Druckentnahmen ein. Alle weiteren (Mess-)Geräte, die für die Bestimmung des Durchflusses erforderlich sind, werden als „Sekundärgeräte“ bezeichnet, und der Durchflussrechner, der diese Messwerte empfängt und die Algorithmen ausführt, wird als „Tertiärgerät“ bezeichnet. ISO 5167 (alle Teile) behandelt Primärgeräte. Sekundärgeräte (ISO 2186) und Tertiärgeräte werden nur bei Bedarf erwähnt.

Aspekte der Sicherheit werden in ISO 5167-1 bis ISO 5167-6 nicht behandelt. Es ist die Verantwortung des Anwenders, sicherzustellen, dass das System den zutreffenden Sicherheitsregeln entspricht.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die geometrischen Formen und Maße sowie die Anwendung (Einbau- und Betriebsbedingungen) von Düsen und Venturidüsen, die in einer voll durchströmten Rohrleitung zur Bestimmung des Durchflusses eines Fluids eingebaut sind, fest.

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

Dieses Dokument ist anzuwenden für Düsen und Venturidüsen, in denen die Strömung im gesamten Messquerschnitt im Unterschallbereich liegt und wo das Fluid als einphasig betrachtet werden kann. Weiterhin kann das betreffende Gerät nur innerhalb festgelegter Grenzen für Rohrdurchmesser und Reynolds-Zahl verwendet werden. Dieses Dokument ist nicht anzuwenden für Messungen bei pulsierenden Strömungen sowie für die Verwendung von Düsen und Venturidüsen bei Rohrdurchmessern kleiner als 50 mm oder größer als 630 mm oder für auf das Rohr bezogene Reynolds-Zahlen unter 10 000.

Dieses Dokument behandelt:

- a) drei Arten von Norm-Düsen:
 - 1) ISA-1932-Düsen¹;
 - 2) die Langradius-Düse²;
 - 3) Düse mit Entnahmebohrung am Halsteil;
- b) die Venturidüse.

Die drei Arten von Norm-Düsen sind grundsätzlich verschieden und sind in diesem Dokument getrennt behandelt. Die Venturidüse hat die gleiche Stirnseite auf der Einlaufseite wie die ISA-1932-Düse, aber ein divergierendes Teil (Diffusor) und deswegen eine andere Anordnung der Druckentnahmen auf der Auslaufseite und wird deshalb getrennt beschrieben. Diese Ausführung hat einen geringeren Druckverlust als eine gleichartige Düse. Für alle Düsen und für die Venturidüse wurden direkte Kalibrierungen, ausreichend in Anzahl, Spreizung und Qualität, durchgeführt, sodass die Ergebnisse der Kalibrierungen auf ähnliche Anordnungen übertragbar sind und die Kalibrierkoeffizienten innerhalb bestimmter Grenzen der Messunsicherheit angegeben werden können.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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

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

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

2 Die Langradius-Düse weicht von der ISA-1932-Düse durch Form und Lage der Druckentnahmen ab.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 4006 und ISO 5167-1.

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

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

4 Messprinzip und Berechnungsverfahren

Das Messprinzip beruht auf dem Einbau einer Düse oder einer Venturidüse in eine voll durchströmte Rohrleitung. Der Einbau des Primärgeräts erzeugt eine Differenz der statischen Drücke zwischen dem Einlauf und der Drosselöffnung (dem Halsteil). Der Durchfluss kann aus diesem gemessenen Wirkdruck (Differenzdruck), den Stoffwerten des Fluids und den Betriebsbedingungen bestimmt werden. Dabei wird vorausgesetzt, dass die geometrischen Formen und Maße der (Venturi-)Düse denen einer kalibrierten (Venturi-)Düse ähnlich sind und dass die Betriebsbedingungen gleich sind, d. h., dass sie mit diesem Dokument übereinstimmt.

Der Massendurchfluss kann durch Gleichung (1) bestimmt werden:

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

Die Grenzen der Messunsicherheit lassen sich nach dem in ISO 5167-1:2022, Abschnitt 8, beschriebenen Verfahren berechnen.

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

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

Dabei ist

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

q_V der Volumendurchfluss.

Die Berechnung des Durchflusses erfolgt rein arithmetisch durch Ersetzen der verschiedenen Gleichungselemente im rechten Teil von Gleichung (1) durch ihre numerischen Werte. Tabelle A.1 bis Tabelle A.5 dienen der bequemen Handhabung. Tabelle A.1, Tabelle A.2 und Tabelle A.4 enthalten die Werte von C als Funktion von β . Die Tabelle A.3 enthält die Werte von C als Funktion von Re_d . Tabelle A.5 enthält die Expansionszahl ε . Sie sind nicht für eine genaue Interpolation bestimmt. Extrapolation ist nicht zulässig.

Der Durchflusskoeffizient C kann von Re_D oder Re_d abhängen, wobei Re_D selbst eine Funktion von q_m ist und durch Iteration zu ermitteln ist. (Siehe hierzu ISO 5167-1 als Anleitung bezüglich der Auswahl des Iterationsverfahrens und der ersten Annahmen.)

Die in Gleichung (1) angegebenen Werte der Durchmesser d und D entsprechen den Werten der Durchmesser unter Betriebsbedingungen. Messungen, die unter anderen Bedingungen durchgeführt werden, sollten korrigiert werden, um eine etwaige Expansion oder Kontraktion des Primärgeräts und der Rohrleitung mit der Temperatur und dem Druck des Fluids während der Messung zu berücksichtigen.

Die Dichte und die Viskosität des Fluids bei Betriebsbedingungen müssen bekannt sein. Handelt es sich um ein kompressibles Fluid, ist es erforderlich, auch dessen Isentropenexponenten (auch als Isentropenkoeffizient bezeichnet) unter Betriebsbedingungen zu kennen.

5 Düsen und Venturidüsen

5.1 ISA-1932-Düse

5.1.1 Allgemeine Form

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

Bild 1 zeigt einen Schnitt durch eine ISA-1932-Düse an einer Ebene, die durch die Mittellinie des Halsteiles führt.

Die Buchstaben im folgenden Text beziehen sich auf Bild 1.

5.1.2 Profil der Düse

5.1.2.1 Das Profil der Düse kann charakterisiert sein durch:

- die zur Mittellinie senkrecht stehende ebene Stirnfläche A;
- den sich verengenden Teil, bestehend aus den zwei Kreisbögen B und C;
- den zylindrischen Halsteil E;
- den möglichen Schutzrand F (nur erforderlich, wenn eine Beschädigung der Austrittskante G zu befürchten ist).

5.1.2.2 Die Stirnfläche A ist durch die Fläche zwischen coaxialen Kreisen um die Mittellinie mit den Durchmessern $1,5d$ und dem Rohrrinnendurchmesser D begrenzt.

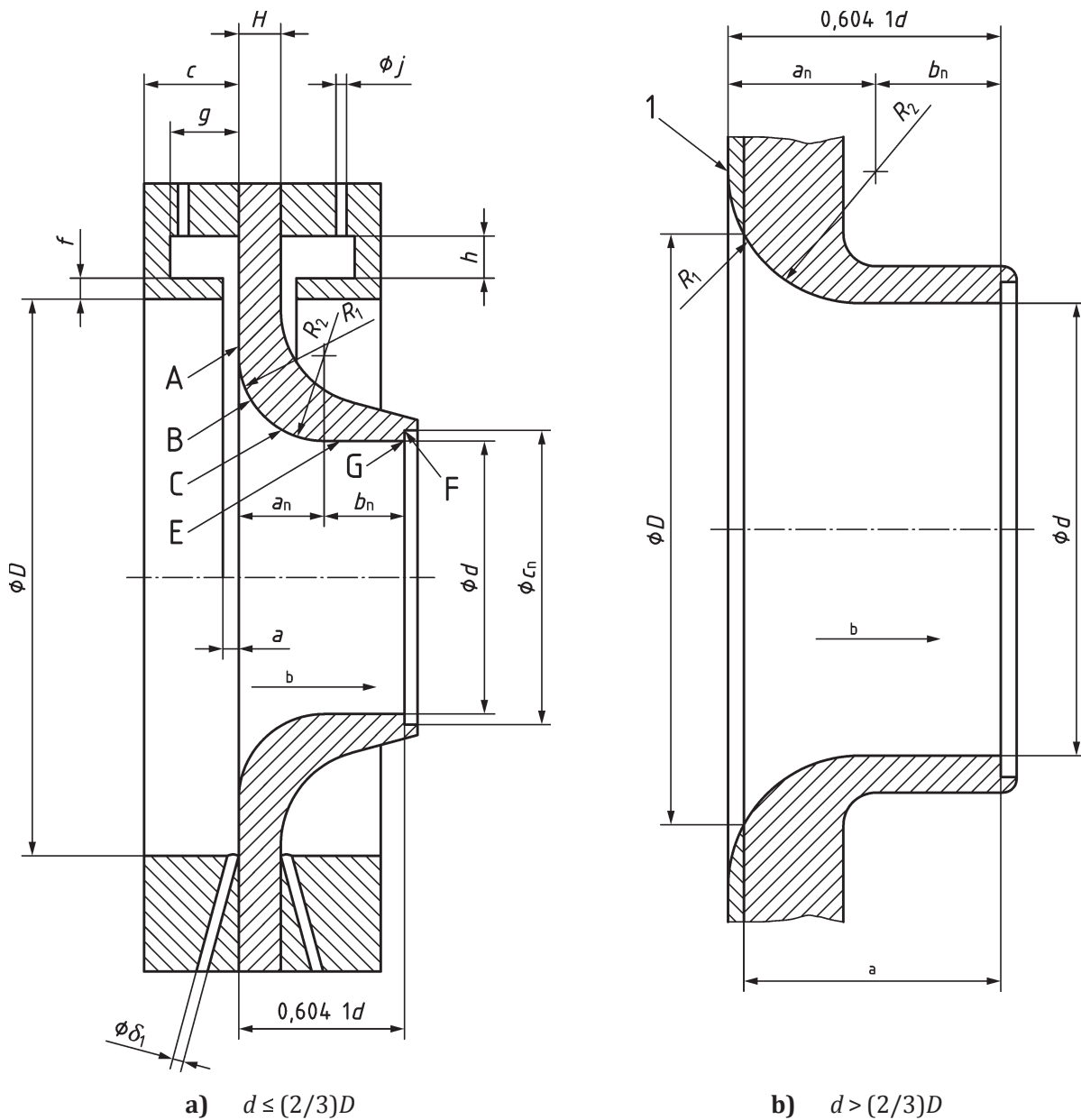
Für $d = (2/3)D$ ist die radiale Breite der Stirnfläche gleich Null.

Bei $d > (2/3)D$ ist innerhalb der Rohrleitung keine einlaufseitige 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 5.1.2.7 und Bild 1 b)].

5.1.2.3 Der Kreisbogen B geht für $d < (2/3)D$ tangential in die Stirnfläche A über. Sein Radius R_1 ist gleich $0,2d \pm 0,02d$ für $\beta < 0,5$ und $0,2d \pm 0,006d$ für $\beta \geq 0,5$. Sein Mittelpunkt hat einen Abstand von $0,2d$ von der Stirnfläche A und von $0,75d$ von der Mittellinie.

5.1.2.4 Der Kreisbogen C geht tangential in den Kreisbogen B und den Halsteil E über. Sein Radius R_2 ist gleich $d/3 \pm 0,033d$ für $\beta < 0,5$ und $d/3 \pm 0,01d$ für $\beta \geq 0,5$. Sein Mittelpunkt hat einen Abstand von $d/2 + d/3 = (5/6)d$ von der Mittellinie und von der Stirnfläche A einen Abstand nach Gleichung (3):

$$a_n = \left(\frac{12 + \sqrt{39}}{60} \right) d = 0,3041 d \quad (3)$$



Legende

- 1 abzdrehender Teil
- a siehe 5.1.2.7
- b Strömungsrichtung

Bild 1 — ISA-1932-Düse

5.1.2.5 Der Halsteil E hat einen Durchmesser d und die Länge $b_n = 0,3d$.

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

Der Halsteil muss zylindrisch sein. Kein Durchmesser eines Querschnitts darf um mehr als 0,05 % vom mittleren Durchmesser d abweichen. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn keiner der gemessenen Durchmesser die oben genannte Grenze in Bezug auf die Abweichung vom Mittelwert überschreitet.

5.1.2.6 Der Schutzrand F hat einen Durchmesser c_n von mindestens $1,06d$ und eine Länge von höchstens $0,03d$. Das Verhältnis der Tiefe $(c_n - d)/2$ zu seiner axialen Länge darf nicht größer als 1,2 sein.

Die Auslaufkante G muss scharfkantig sein.

5.1.2.7 Die Gesamtlänge der Düse ohne den Schutzrand F als Funktion von β ist gleich:

$$0,604 \, 1d \text{ für } 0,3 \leq \beta \leq \frac{2}{3}$$

und

$$\left(0,404 \, 1 + \sqrt{\frac{0,75}{\beta} - \frac{0,25}{\beta^2} - 0,522 \, 5} \right) d \quad \text{für } \frac{2}{3} < \beta \leq 0,8.$$

5.1.2.8 Das sich verengende einlaufseitige Profil muss mit einer Schablone geprüft werden.

Zwei Durchmesser des sich verengenden einlaufseitigen Profils in derselben zur Mittellinie senkrechten Ebene dürfen sich höchstens um 0,1 % ihres Mittelwertes voneinander unterscheiden.

5.1.2.9 Die Oberfläche der Einlaufseite und die des Halsteils müssen so beschaffen sein, dass sie einen arithmetischen Mittenrauhwert von $Ra \leq 10^{-4}d$ aufweisen.

5.1.3 Rückseite

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

5.1.3.2 Abgesehen von der Bedingung in 5.1.3.1 bestehen für das Profil und die Oberflächenbeschaffenheit der Rückseite keine besonderen Anforderungen (siehe 5.1.1).

5.1.4 Werkstoff und Herstellung

Die ISA-1932-Düse darf aus jedem Werkstoff und nach jedem beliebigen Fertigungsverfahren hergestellt werden, sofern sie während der Durchflussmessung mit der vorhergehenden Beschreibung in Übereinstimmung bleibt.

5.1.5 Druckentnahmen

5.1.5.1 Eck-Druckentnahmen müssen auf der Einlaufseite der Düse angeordnet sein.

Druckentnahmen auf der Einlaufseite (Plus-Druckentnahmen) dürfen entweder Einzeldruckentnahmen oder ringförmige Schlitze sein. Beide Druckentnahmeformen dürfen entweder direkt im Rohr oder in Flanschen oder auch in Fassungsringen untergebracht werden, wie dies im Bild 1 dargestellt ist.

Damit die Bohrungen für die Druckentnahmen mit der Rohrwand bündig sind, muss der Abstand zwischen den Mittellinien der einzelnen Druckentnahmen auf der Einlaufseite und der Stirnseite A gleich der Hälfte des Durchmessers oder gleich der Hälfte der Breite der Druckentnahmen selbst sein. Die Mittellinien der einzelnen Druckentnahmen auf der Einlaufseite müssen die Mittellinie des Primärgeräts so genau wie möglich unter einem Winkel von 90° schneiden.

Nachfolgend sind der Durchmesser δ_1 einer Einzeldruckentnahme auf der Einlaufseite und die Schlitzweite a angegeben. Der Mindestdurchmesser wird in der Praxis nur von der Notwendigkeit bestimmt, eine unbeabsichtigte Verstopfung zu verhindern und zufriedenstellende dynamische Leistungseigenschaften zu ermöglichen.

Für saubere Fluide und Dämpfe gilt:

— für $\beta \leq 0,65$: $0,005D \leq a$ oder $\delta_1 \leq 0,03D$

— für $\beta > 0,65$: $0,01D \leq a$ oder $\delta_1 \leq 0,02D$.

Für jeden Wert von β gilt:

— für saubere Fluide: $1 \text{ mm} \leq a$ oder $\delta_1 \leq 10 \text{ mm}$

— für Dämpfe, im Fall von Ringkammern: $1 \text{ mm} \leq a \leq 10 \text{ mm}$

— für Dämpfe und verflüssigte Gase bei Einzeldruckentnahmen: $4 \text{ mm} \leq \delta_1 \leq 10 \text{ mm}$.

ANMERKUNG Die Anforderungen an die Abmaße als Bruchteil des Rohrdurchmessers basieren auf der geometrischen Ähnlichkeit mit den ursprünglichen Düsenläufen, auf denen der Durchflusskoeffizient basiert. Für Dämpfe und für verflüssigte Gase gibt es Rohrdurchmesser, für die es nicht möglich ist, mit Einzeldruckentnahmen ein System herzustellen, das diesem Dokument entspricht.

Üblicherweise ist der ringförmige Schlitz über den ganzen Umfang, also ohne Unterbrechung, mit dem Rohrinneren verbunden. Andernfalls muss jede Ringkammer über mindestens vier Öffnungen mit dem Rohrinne verbunden sein, deren Achsen gleiche Winkel zueinander haben und deren Öffnungsfläche mindestens je 12 mm^2 beträgt.

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

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

Die Länge c des Fassungsringes auf der Einlaufseite (siehe Bild 1) darf nicht größer als $0,5D$ sein.

Die Tiefe f des ringförmigen Schlitzes muss gleich oder größer sein als die doppelte Schlitzweite a . Der Querschnitt der Ringkammer, gh , muss gleich oder größer sein als die Hälfte der gesamten Fläche der Öffnungen, die das Rohrinne mit der Ringkammer verbinden.

Die Oberflächen des Fassungsringes, die mit dem zu messenden Fluid in Berührung kommen, müssen sorgfältig bearbeitet und sauber sein.

Die Bohrungen für die Druckentnahmen, die die Ringkammern mit den Sekundärgeräten verbinden, müssen sich in der Rohrwand befinden, am Durchbruch zur Rohrinne kreisrund sein und einen Durchmesser j von 4 mm bis 10 mm aufweisen.

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

Der Rohrdurchmesser muss nach 6.4.2 gemessen werden, wobei der Fassungsring als Teil des Primärgeräts angesehen wird. Dies gilt auch für die in 6.4.4 angegebene Anforderung für den Abstand, sodass die Länge s von der Anströmkante des rückspringenden Fassungsringes aus zu messen ist.

5.1.5.2 Druckentnahmen auf der Auslaufseite (Minus-Druckentnahmen) dürfen entweder Eck-Druckentnahmen nach 5.1.5.1 sein oder solche nach den Beschreibungen dieses Unterabschnitts.

Der Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Druckentnahme und der Stirnseite der Düse muss betragen:

— $\leq 0,15D$ für $\beta \leq 0,67$;

— $\leq 0,20D$ für $\beta > 0,67$.

Beim Einbau der Druckentnahmen muss der Dicke der Dichtungen und/oder des Dichtungsmaterials entsprechende Bedeutung zugemessen werden.

Die Mittellinie der Druckentnahme muss die Mittellinie der Rohrachse so genau wie möglich unter einem Winkel von 90° schneiden, muss aber in jedem Fall innerhalb 3° zur Senkrechten liegen. Am Durchbruch zur Rohrin-nenseite muss die Bohrung kreisrund sein. Ihre Kante muss mit der Rohrin-nenseite bündig und so scharf wie möglich sein. Um Bohrgrat oder Späne sicher zu entfernen, ist eine Abrundung 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 Bohrungsdurchmessers sein. Die Innenseite der Entnahmebohrung, die Bohrungskante an der Rohrin-nenseite oder die Wand an der Rohrin-nenseite nahe der Druckentnahme dürfen keine Unregelmäßig-keiten aufweisen. Die Beurteilung der Übereinstimmung der Entnahmebohrung mit den Anforderungen dieses Absatzes darf mittels Sichtprüfung erfolgen.

Der Durchmesser von Entnahmebohrungen muss kleiner als $0,13D$ und kleiner als 13 mm sein.

Keine Einschränkung gibt es für den Minstdurchmesser, der in der Praxis nur durch von der Notwendig-keit bestimmt wird, eine unbeabsichtigte Verstopfung zu verhindern und zufriedenstellende dynamische Leis-tungseigenschaften zu ermöglichen. Die Plus- und Minus-Druckentnahmen müssen den gleichen Durchmesser haben.

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

Die Mittellinien der Druckentnahmen dürfen in jeder axialen Ebene der Rohrleitung liegen.

Die Achse der Plus-Druckentnahme und die der Minus-Druckentnahme dürfen in verschiedenen axialen Ebe-nen liegen.

5.1.6 Koeffizienten der ISA-1932-Düse

5.1.6.1 Anwendungsgrenzen

Diese Düsenart darf nur dann wie in diesem Dokument festgelegt verwendet werden, wenn die nachstehenden Grenzen eingehalten werden:

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

— $0,3 \leq \beta \leq 0,8$;

und wenn Re_D innerhalb folgender Grenzen liegt:

— für $0,30 \leq \beta < 0,44$ $7 \times 10^4 \leq Re_D \leq 10^7$;

— für $0,44 \leq \beta \leq 0,80$ $2 \times 10^4 \leq Re_D \leq 10^7$.

Zusätzlich muss die relative Rohrrauheit den Werten nach Tabelle 1 entsprechen.

Tabelle 1 — Obere Grenzwerte der relativen einlaufseitigen Rohrrauheit von ISA-1932-Düsen

β	$\leq 0,35$	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,60	0,70	0,77	0,80
$10^4 Ra/D$	8,0	5,9	4,3	3,4	2,8	2,4	2,1	1,9	1,8	1,4	1,3	1,2	1,2

ANMERKUNG Die meisten Daten, auf denen die Tabelle beruht, wurden wahrscheinlich im Bereich $Re_D \leq 10^6$ gesammelt. Bei höheren Reynolds-Zahlen sind für die Rohrrauheit wahrscheinlich strengere Grenzen erforderlich.

Die meisten Messreihen, auf denen die Durchflusskoeffizienten C dieses Dokuments beruhen, wurden in Roh-ren mit einer relativen Rohrrauheit $Ra/D \leq 1,2 \times 10^{-4}$ durchgeführt. Rohre mit größerer relativer Rohrrau-heit dürfen verwendet werden, wenn die Rauheit mindestens innerhalb einer einlaufseitigen Strecke von $10D$ innerhalb der in Tabelle 1 gegebenen Grenzen liegt. Zur Bestimmung von Ra siehe ISO 5167-1.

5.1.6.2 Durchflusskoeffizient C

Der Durchflusskoeffizient C ist durch Gleichung (5) gegeben:

$$C = 0,990\,0 - 0,226\,2\beta^{4,1} - (0,001\,75\beta^2 - 0,003\,3\beta^{4,15}) \left(\frac{10^6}{Re_D} \right)^{1,15} \quad (5)$$

Werte für C als Funktion von β und Re_D sind zur bequemen Handhabung in Tabelle A.1 angegeben. Diese Werte sind nicht für eine genaue Interpolation bestimmt. Extrapolation ist nicht zulässig.

5.1.6.3 Expansionszahl ε

Die Expansionszahl ε wird nach Gleichung (6) berechnet:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\kappa \tau^{2/\kappa}}{\kappa - 1} \right) \left(\frac{1 - \beta^4}{1 - \beta^4 \tau^{2/\kappa}} \right) \left(\frac{1 - \tau^{(\kappa-1)/\kappa}}{1 - \tau} \right)} \quad (6)$$

Gleichung (6) ist ausschließlich für die in 5.1.6.1 festgelegten Werte von β , D und Re_D geeignet. Messergebnisse für die Bestimmung von ε sind nur für Luft, Wasserdampf und Erdgas bekannt. Es gibt jedoch keine bekannten Einwände, die Gleichung auf andere Gase und Dämpfe mit bekannten Isentropenexponenten (auch als Isentropenkoeffizienten bezeichnet) anzuwenden.

Dabei ist Gleichung (6) allerdings nur für $p_2/p_1 \geq 0,75$ anwendbar.

Werte für die Expansionszahl für einen Bereich von Isentropenexponenten (auch als Isentropenkoeffizienten bezeichnet), Druckverhältnissen und Durchmesser-Verhältnissen sind zur bequemen Handhabung in Tabelle A.5 angegeben. Diese Werte sind nicht für eine genaue Interpolation bestimmt. Extrapolation ist nicht zulässig.

5.1.7 Messunsicherheiten

5.1.7.1 Messunsicherheit des Durchflusskoeffizienten C

Wenn β , D , Re_D und Ra/D als ohne Messunsicherheit bekannt angenommen werden können, beträgt die relative erweiterte Messunsicherheit des Wertes von C bei $k = 2$ (etwa 95 % Vertrauensniveau)

- 0,8 % für $\beta \leq 0,6$;
- $(2\beta - 0,4)$ % für $\beta > 0,6$.

5.1.7.2 Messunsicherheit der Expansionszahl ε

U'_ε , die relative erweiterte Messunsicherheit des Wertes von ε bei $k = 2$ (etwa 95 % Vertrauensniveau), beträgt:

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

5.1.8 Druckverlust $\Delta\varpi$

Der Druckverlust $\Delta\varpi$ für die ISA-1932-Düse kann näherungsweise aus dem Wirkdruck (Differenzdruck) Δp durch Gleichung (7) berechnet werden:

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

Dieser Druckverlust ist die Differenz der statischen Drücke zwischen dem an der Wand an der Einlaufseite des Primärgeräts gemessenen Druckes an einer Stelle, an der der Einfluss des Staudruckes des einlaufendes Fluids noch vernachlässigbar ist (etwa $1D$ vor der Düse) und dem an der Auslaufseite des Primärgeräts gemessenen Druckes an einer Stelle, an der der Rückgewinn des statischen Druckes durch Strahlaufweitung gerade abgeschlossen ist (etwa $6D$ hinter der Düse).

Der Koeffizient K für den Druckverlust der ISA-1932-Düse ist:

$$K = \left[\frac{\sqrt{1 - \beta^4 (1 - C^2)}}{C\beta^2} - 1 \right]^2 \quad (8)$$

wobei K durch Gleichung (9) definiert ist:

$$K = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2}\rho_1 U^2} \quad (9)$$

5.2 Langradius-Düsen

5.2.1 Allgemeines

Zwei Arten von Langradius-Düsen werden wie folgt unterschieden:

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

Für β -Werte von 0,25 bis 0,5 dürfen beide Düsenarten verwendet werden.

Bild 2 zeigt die geometrischen Formen der Langradius-Düsen, wobei die Schnittebene jeweils durch die Mittellinie des Halsteils führt.

Die im nachfolgenden Text verwendeten Buchstaben entsprechen denen in Bild 2.

Beide Düsenarten bestehen aus einem sich verengendem Teil in Form einer Viertelellipse und einem zylindrischen Halsteil.

Der innerhalb der Rohrleitung befindliche Teil der Düse muss mit der möglichen Ausnahme der Druckentnahmebohrungen kreisrund sein.

5.2.2 Profil der Düse mit großem Durchmesser Verhältnis

5.2.2.1 Die Innenseite der Düse kann gekennzeichnet sein durch:

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

5.2.2.2 Der sich verengende Teil A hat die Form einer Viertelellipse.

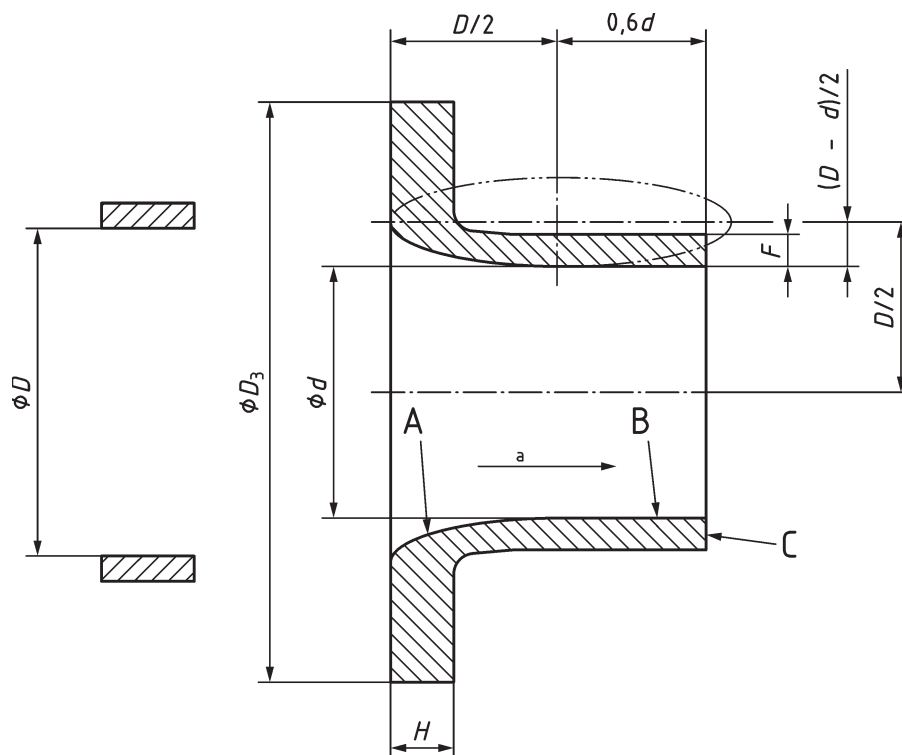
Der Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Ellipse und der Mittellinie der Düse beträgt $D/2$. Die Hauptachse der Ellipse verläuft parallel zur Mittellinie der Düse. Die halbe Länge der Hauptachse beträgt $D/2$. Die halbe Länge der Nebenachse beträgt $(D - d)/2$.

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

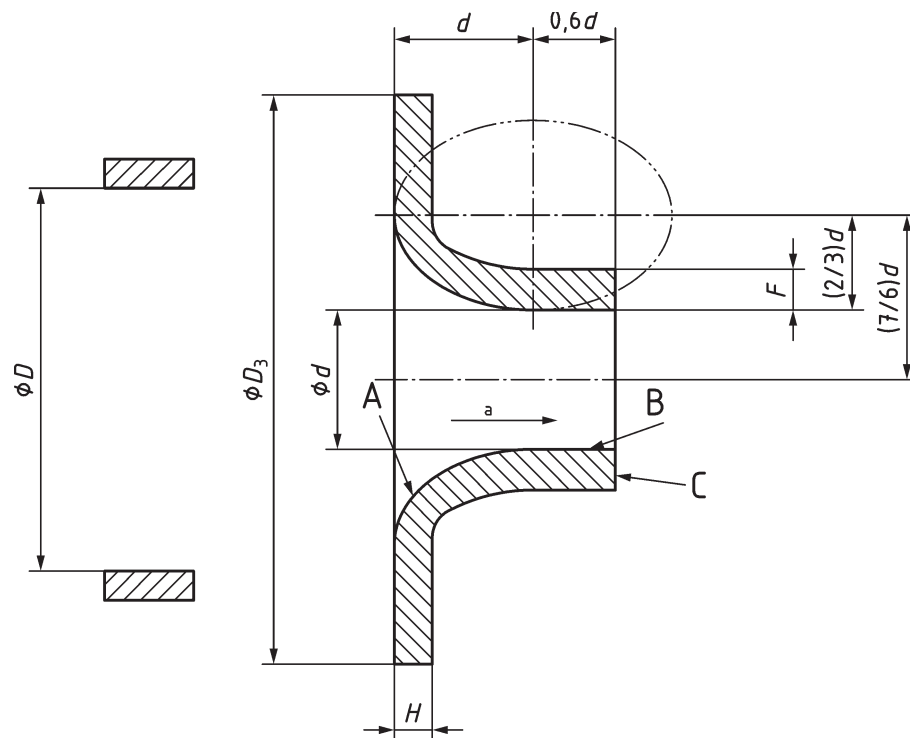
5.2.2.3 Der Halsteil B hat einen Durchmesser d und eine Länge von $0,6d$.

Als Durchmesser d des Halsteils gilt der arithmetische Mittelwert von mindestens vier Durchmessern, die in verschiedenen axialen Ebenen mit annähernd gleichen Winkelabständen zueinander verteilt 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 Grenzen der Messunsicherheit 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 oben genannte Grenze in Bezug auf die Abweichungen vom Mittelwert überschreitet.



a) Großes Durchmesser Verhältnis $0,25 \leq \beta \leq 0,8$



b) Kleines Durchmesser Verhältnis $0,2 \leq \beta \leq 0,5$

^a Strömungsrichtung

Bild 2 — Langradius-Düsen

5.2.2.4 Der Abstand zwischen Rohrwand und Rückseite des Halsteiles muss gleich oder größer 3 mm sein.

5.2.2.5 Die Dicke H muss gleich oder größer als 3 mm und gleich oder kleiner als $0,15D$ sein. Die Dicke F des Halsteils muss gleich oder größer 3 mm sein, außer bei $D \leq 65$ mm, wo F größer oder gleich 2 mm sein muss. Die Dicke muss ausreichend sein, um Verwindungen durch die Bearbeitungsbelastungen zu vermeiden.

5.2.2.6 Der arithmetische Mittenrauhwert Ra für die Oberfläche der Innenseite muss $\leq 10^{-4}d$ sein.

5.2.2.7 Für die Form der Rückseite (Außenseite) bestehen keine besonderen Anforderungen; sie muss jedoch 5.2.2.4 und 5.2.2.5 und dem letzten Satz von 5.2.1 entsprechen.

5.2.3 Profil der Düse mit kleinem Durchmesser Verhältnis

5.2.3.1 Die Anforderungen nach 5.2.2 für Düsen mit großem Durchmesser Verhältnis gelten auch für Düsen mit kleinem Durchmesser Verhältnis, mit Ausnahme solcher für die Ausführung der Ellipse, für die eine Ausführung nach 5.2.3.2 festgelegt ist.

5.2.3.2 Der sich verengende Einlaufteil A hat die Form einer Viertelellipse. Der Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Ellipse und der Mittellinie der Düse beträgt $d/2 + (2/3)d = (7/6)d$. Die Hauptachse der Ellipse verläuft parallel zur Mittellinie der Düse. Die halbe Länge der Hauptachse beträgt d . Die halbe Länge der Nebenchse beträgt $(2/3)d$.

5.2.4 Werkstoff und Herstellung

Langradius-Düsen dürfen aus jedem Werkstoff und nach jedem beliebigen Fertigungsverfahren hergestellt werden, sofern sie während der Durchflussmessung mit der vorhergehenden Beschreibung in Übereinstimmung bleibt.

5.2.5 Druckentnahmen

5.2.5.1 Die Mittellinie der Plus-Druckentnahme muss in einem Abstand $1D_{-0,1D}^{+0,2D}$ von der Stirnfläche der Düse angeordnet werden.

Die Mittellinie der Druckentnahme auf der Auslaufseite (Minus-Druckentnahme) muss in einem Abstand von $0,50D \pm 0,01D$ hinter der Stirnfläche liegen. Dies gilt nicht für Düsen mit kleinem Durchmesser Verhältnis mit $\beta < 0,3188$; hier muss die Mittellinie der Minus-Druckentnahme bei $1,6D_{-0,02D}^{+0}$ hinter der Stirnfläche liegen.

Beim Einbau der Druckentnahmen muss der Dicke der Dichtungen und/oder des Dichtungsmaterials entsprechende Bedeutung zugemessen werden.

5.2.5.2 Die Mittellinie der Druckentnahme muss die Mittellinie der Rohrachse so genau wie möglich unter einem Winkel von 90° schneiden, muss aber in jedem Fall innerhalb 3° zur Senkrechten liegen. Am Durchbruch zur Rohrrinnenseite muss die Entnahmeöffnung kreisrund sein. Ihre Kante muss mit der Rohrrinnenseite bündig und so scharf wie möglich sein. Um Bohrgrat oder Späne sicher zu entfernen, ist eine Abrundung 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 Bohrungsdurchmessers sein. Die Innenseite der Entnahmebohrung, die Bohrungskante an der Rohrrinnenseite oder die Wand an der Rohrrinnenseite nahe der Druckentnahme dürfen keine Unregelmäßigkeiten aufweisen. Die Beurteilung der Übereinstimmung der Entnahmebohrung mit den Anforderungen dieses Absatzes darf mittels Sichtprüfung erfolgen.

Der Durchmesser von Entnahmebohrungen muss kleiner als $0,13D$ und kleiner als 13 mm sein.

Keine Einschränkung gibt es für den Minstdurchmesser, der in der Praxis nur durch von der Notwendigkeit bestimmt wird, eine unbeabsichtigte Verstopfung zu verhindern und zufriedenstellende dynamische Leistungseigenschaften zu ermöglichen. Die Plus- und Minus-Druckentnahmen müssen den gleichen Durchmesser haben.

Die Entnahmebohrungen müssen, gemessen von der Rohrrinnenseite, über eine Länge von mindestens 2,5-mal Bohrungsdurchmesser kreisrund und zylindrisch sein.

Die Mittellinien der Druckentnahmen dürfen in jeder axialen Ebene der Rohrleitung liegen.

Die Achse der Plus-Druckentnahme und die der Minus-Druckentnahme dürfen in verschiedenen axialen Ebenen liegen.

5.2.6 Koeffizienten für Langradius-Düsen

5.2.6.1 Anwendungsgrenzen

Langradius-Düsen dürfen nur dann wie in diesem Dokument festgelegt verwendet werden, wenn die nachstehenden Grenzen eingehalten werden:

- $50 \text{ mm} \leq D \leq 630 \text{ mm}$;
- $0,2 \leq \beta \leq 0,8$;
- $10^4 \leq Re_D \leq 10^7$;
- $Ra/D \leq 3,2 \times 10^{-4}$ in der einlaufseitigen Rohrleitung.

Es dürfen Rohre mit höherer relativer Rohrrauheit dann verwendet werden, wenn sich die Rauheit im Abstand von mindestens $10D$ vor der Düse innerhalb der oben angegebenen Grenzen bewegt. Zur Bestimmung von Ra siehe ISO 5167-1.

ANMERKUNG Die meisten Daten, auf denen die Tabelle beruht, wurden höchstwahrscheinlich im Bereich $Re_d \leq 10^6$ gesammelt. Bei höheren Reynolds-Zahlen sind für die Rohrrauheit wahrscheinlich strengere Grenzen erforderlich.

5.2.6.2 Durchflusskoeffizient C

Die Durchflusskoeffizienten C für beide Arten von Langradius-Düsen sind gleich, wenn die Druckentnahmen den Anforderungen nach 5.2.5 entsprechen.

Der Durchflusskoeffizient C wird, wenn die Reynolds-Zahl Re_D auf den Rohrdurchmesser vor der Düse bezogen wird, aus Gleichung (10) ermittelt:

$$C = 0,9965 - 0,00653 \sqrt{\frac{10^6 \beta}{Re_D}} \quad (10)$$

Bei einer auf den Durchmesser des Halsteils bezogenen Reynolds-Zahl Re_d wird Gleichung (10) für den Durchflusskoeffizienten zu:

$$C = 0,9965 - 0,00653 \sqrt{\frac{10^6}{Re_d}} \quad (11)$$

Werte für C als Funktion von β und Re_D sind zur bequemen Handhabung in Tabelle A.2 angegeben. Diese Werte sind nicht für eine genaue Interpolation bestimmt. Extrapolation ist nicht zulässig.

5.2.6.3 Expansionszahl ε

Die Angaben nach 5.1.6.3 (ISA-1932-Düse) gelten auch für die Expansionszahlen von Langradius-Düsen, jedoch nur innerhalb der in 5.2.6.1 genannten Anwendungsgrenzen.

5.2.7 Messunsicherheiten

5.2.7.1 Messunsicherheit des Durchflusskoeffizienten C

Wenn β und Re_d als ohne Messunsicherheit bekannt angenommen werden, beträgt U'_C , die relative erweiterte Messunsicherheit des Wertes von C bei $k = 2$ (etwa 95 % Vertrauensniveau), 2,0 % für alle Werte von β von 0,2 bis 0,8.

5.2.7.2 Messunsicherheit der Expansionszahl ε

U'_ε , die relative erweiterte Messunsicherheit des Wertes von ε bei $k = 2$ (etwa 95 % Vertrauensniveau), beträgt:

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

5.2.8 Druckverlust Δw

Unterabschnitt 5.1.8 (ISA-1932-Düse) gilt ebenfalls für den Druckverlust von Langradius-Düsen.

5.3 Düsen mit Entnahmebohrung am Halsteil

5.3.1 Allgemeines

Bild 3 zeigt die geometrischen Formen der Düsen mit Entnahmebohrung am Halsteil im Schnitt, wobei die Schnittebene jeweils durch die Mittellinie des Halsteils führt.

Die im nachfolgenden Text verwendeten Buchstaben entsprechen denen in Bild 3.

Beide Düsenarten bestehen aus einem sich verengendem Teil in Form einer Viertelellipse und einem zylindrischen Halsteil.

Die beiden Düsen mit Entnahmebohrung am Halsteil unterscheiden sich in der Art der Druckentnahme im Halsteil, wobei beide dargestellten Varianten zulässig sind. Die Druckentnahme auf der Einlaufseite (Plus-Druckentnahme) muss im Abstand D stromaufwärts von der Stirnfläche der Düse angeordnet sein.

5.3.2 Profil der Düse mit Entnahmebohrung am Halsteil

5.3.2.1 Die Innenseite der Düse kann gekennzeichnet sein durch:

- die Stirnfläche E;
- den sich verengenden Teil A;
- den zylindrischen Halsteil B.

5.3.2.2 Der Kreisbogen A darf nicht tangential in die Stirnfläche E übergehen.

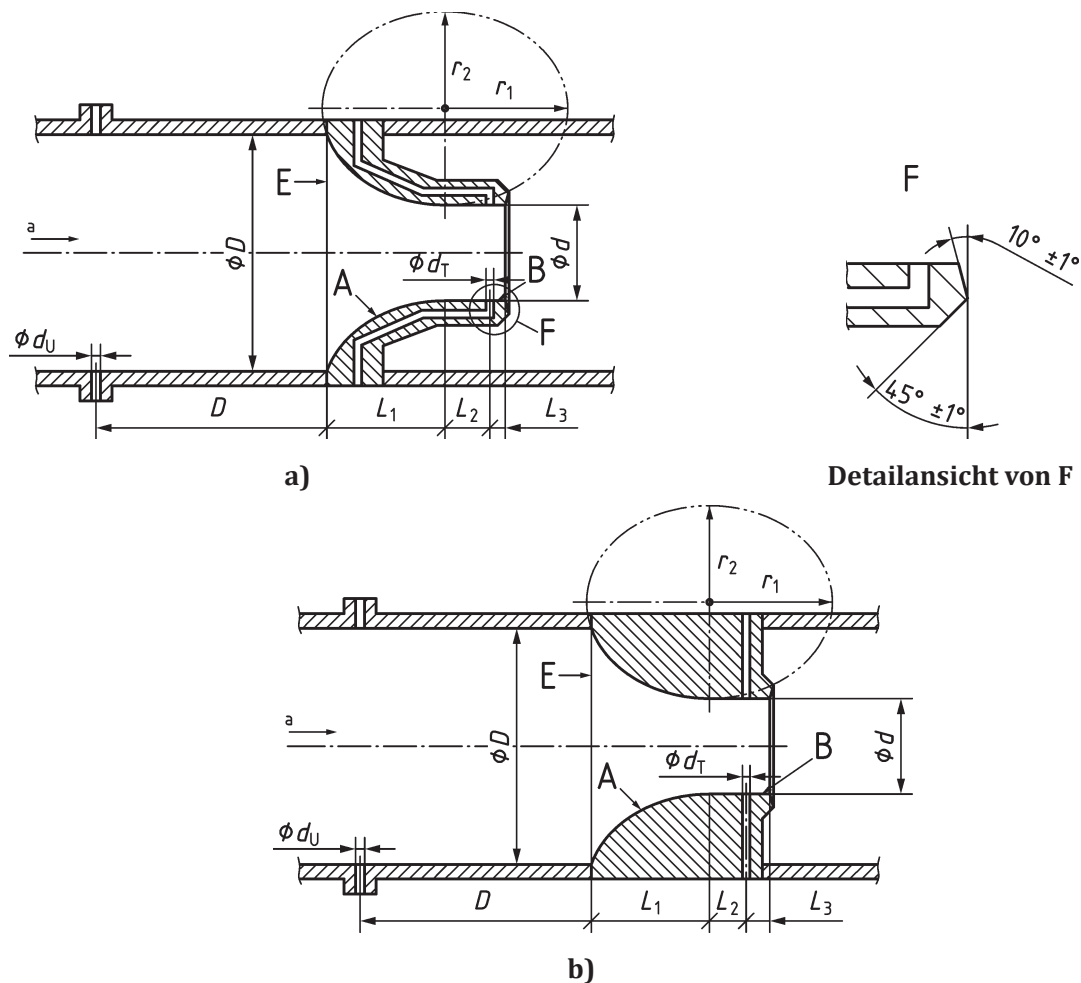
5.3.2.3 Die Form von A ist eine Ellipse mit $r_1 = d \pm 0,000\,2d$ und $0,625d < r_2 < 0,67d$.

5.3.2.4 Der Halsteil muss zylindrisch sein. Kein Durchmesser eines Querschnitts darf um mehr als 0,05 % vom mittleren Durchmesser d abweichen. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn keiner der gemessenen Durchmesser die oben genannte Grenze in Bezug auf die Abweichung vom Mittelwert überschreitet.

5.3.2.5 Im zylindrischen Halsteil B gilt $L_2 = 0,5d$. Die Grenzabweichung von $L_1 + L_2$ muss $\pm 0,005d$ betragen. Für L_3 gilt $0,25d \leq L_3 \leq 0,3d$.

5.3.2.6 Die Oberflächen der Innenseiten A und B sollten hydraulisch glatt sein. Der Mittenrauhwert Ra sollte die folgende Bedingung erfüllen.

$$\frac{Ra}{d} < 14 Re_d^{-0,92} \quad (12)$$



^a Strömungsrichtung

Bild 3 — Düsen mit Entnahmebohrung am Halsteil

5.3.3 Werkstoff und Herstellung

Die Durchflussdüse mit Entnahmebohrung am Halsteil darf aus jedem Werkstoff und nach jedem beliebigen Fertigungsverfahren hergestellt werden, sofern sie während der Durchflussmessung mit der vorhergehenden Beschreibung in Übereinstimmung bleibt.

Die Durchflussdüse mit Entnahmebohrung am Halsteil wird üblicherweise aus Metall hergestellt. Sie muss gegen Erosion und Korrosion durch die vorgesehenen Fluide beständig sein.

5.3.4 Druckentnahmen

5.3.4.1 Winkellage der Druckentnahmen

Die Mittellinien der Bohrungen für die Druckentnahmen dürfen in jeder beliebigen axialen Ebene des Rohres liegen. Es sollte jedoch Rücksicht auf die Lage der Druckentnahmen genommen werden, falls das Vorhandensein von Verunreinigungen, Flüssigkeitströpfchen oder Gasblasen als wahrscheinlich angesehen wird. In diesen Fällen sollten der Boden und die Oberseite der Rohrleitung vermieden werden.

Die Druckentnahmen auf der Einlauf- und Auslaufseite (Plus- bzw. Minus-Druckentnahmen) müssen jeweils mindestens zwei Einzel-Druckentnahmen umfassen, die in eine Ringkammer, einen Druckentnahmering (en: piezometer ring) oder, falls es vier Einzel-Druckentnahmen sind, in eine „Triple-T“-Anordnung münden

(siehe ISO 5167-1:2022, 5.4.3). Ringförmige Schlitze oder unterbrochene Spalte dürfen nicht verwendet werden.

5.3.4.2 Rundheit und Kante von Druckentnahmen

Die Entnahmebohrungen müssen, gemessen von der Innenseite der Düse, über eine Länge vom mindestens 2,5-Fachen des Durchmessers der Bohrungen kreisrund sein. Die Kanten der Druckentnahmen müssen scharfkantig ohne jegliche Bohrgrate sein.

5.3.4.3 Druckentnahme auf der Einlaufseite (Plus-Druckentnahme)

Die Mittellinie der Plus-Druckentnahme muss in einem Abstand $1D_{-0,1D}^{+0,2D}$ von der Stirnfläche der Düse angeordnet werden. Der Durchmesser d_U muss 2 mm bis 7 mm betragen.

5.3.4.4 Druckentnahme im Halsteil

Die Mittellinien der Druckentnahmen im Halsteil müssen die Mittellinie der Durchflussdüse mit Entnahmebohrung am Halsteil treffen und müssen gleiche Winkel zueinander bilden. Die Mittellinien der Druckentnahmen im Halsteil müssen in einer Ebene senkrecht zur Mittellinie der Düse liegen.

Der Durchmesser d_T muss 2 mm bis 7 mm betragen und das Verhältnis d_T/d muss 0,01 bis 0,04 betragen. Es wird empfohlen, dass d_U und d_T gleich sind.

5.3.5 Koeffizienten

5.3.5.1 Anwendungsgrenzen

Durchflussdüsen mit Entnahmebohrung am Halsteil dürfen nur dann wie in diesem Dokument festgelegt verwendet werden, wenn die nachstehenden Grenzen eingehalten werden:

- $100 \text{ mm} \leq D \leq 630 \text{ mm}$;
- $0,4 \leq \beta \leq 0,5$;
- $8 \times 10^5 \leq Re_d \leq 2 \times 10^7$;
- $2 \text{ mm} \leq d_U \leq 7 \text{ mm}$;
- $2 \text{ mm} \leq d_T \leq 7 \text{ mm}$;
- $0,01 \leq d_T/d \leq 0,04$;
- $Ra/D \leq 28 Re_D^{-0,92}$ in der einlaufseitigen Rohrleitung innerhalb $4D$.

5.3.5.2 Durchflusskoeffizient C

Der Durchflusskoeffizient C (siehe Literaturhinweise [5] bis [8]) ist durch Gleichung (13) und Gleichung (14) gegeben:

$$C = 1,009\,0 - \frac{0,255}{Re_d^{0,2}} \left(1 - \frac{400\,000}{Re_d} \right)^{0,8} \quad (\text{für } 8,0 \times 10^5 \leq Re_d < 3,0 \times 10^6) \quad (13)$$

$$C = 0,982\,3 - \frac{0,255}{Re_d^{0,2}} \left(1 - \frac{400\,000}{Re_d} \right)^{0,8} + 0,001\,8 \ln(Re_d) \quad (\text{für } 3,0 \times 10^6 \leq Re_d) \quad (14)$$

Werte von C als Funktion von Re_d sind zur bequemen Handhabung in Tabelle A.3 angegeben. Sie sind nicht für eine genaue Interpolation bestimmt. Extrapolation ist nicht zulässig.

5.3.5.3 Expansionszahl ε

Die Angaben nach 5.1.6.3 (ISA-1932-Düse) gelten auch für die Expansionszahlen von Durchflussdüsen mit Entnahmebohrung am Halsteil, jedoch nur innerhalb der in 5.3.5.1 genannten Anwendungsgrenzen.

5.3.6 Messunsicherheiten

5.3.6.1 Messunsicherheit des Durchflusskoeffizienten C

Innerhalb der in 5.3.5.1 genannten Anwendungsgrenzen beträgt U'_C , die relative erweiterte Messunsicherheit des Wertes von C bei $k = 2$ (etwa 95 % Vertrauensniveau), ohne Kalibrierung 0,7 %.

ANMERKUNG Bei kompressibler Strömung kann die Messunsicherheit zunehmen, falls sich der Durchmesser einer Druckentnahmebohrung im Halsteil im rechtwinkligen Krümmer innerhalb der Düse von dem der am nächsten am Halsteil gelegenen Bohrung unterscheidet.

5.3.6.2 Messunsicherheit der Expansionszahl ε

U'_ε , die relative erweiterte Messunsicherheit des Wertes von ε bei $k = 2$ (etwa 95 % Vertrauensniveau), beträgt:

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

5.3.7 Kalibrierung und Extrapolation

Um genauere Angaben zur Messunsicherheit zu erhalten, muss die Kalibrierung wie folgt durchgeführt werden.

- Die Messung muss bei mindestens 6 verschiedenen Reynolds-Zahlen durchgeführt werden.
- Die maximale Reynolds-Zahl der Kalibrierung muss $Re_d > 2,5 \times 10^6$ sein. Die minimale Reynolds-Zahl der Kalibrierung muss $8,0 \times 10^5 < Re_d < 1,5 \times 10^6$ sein.
- Der Korrekturkoeffizient k in der folgenden Gleichung wird für die Reynolds-Zahl jeder Messung unter Verwendung des aus der Kalibrierung erhaltenen Durchflusskoeffizienten C_c berechnet.

$$k = C_c + \frac{0,255}{Re_d^{0,2}} \left(1 - \frac{400\,000}{Re_d} \right)^{0,8} - 0,196 \frac{d_T}{d} \quad (\text{für } 8,0 \times 10^5 \leq Re_d < 3,0 \times 10^6) \quad (15)$$

$$k = C_c + \frac{0,255}{Re_d^{0,2}} \left(1 - \frac{400\,000}{Re_d} \right)^{0,8} - \{0,074\,6 \ln(Re_d) - 0,905\,1\} \frac{d_T}{d} \quad (\text{für } 3,0 \times 10^6 \leq Re_d) \quad (16)$$

Der Durchflusskoeffizient kann berechnet werden, indem der Mittelwert von k in die nächste Gleichung eingesetzt wird.

$$C = \bar{k} - \frac{0,255}{Re_d^{0,2}} \left(1 - \frac{400\,000}{Re_d} \right)^{0,8} + \{0,074\,6 \ln(Re_d) - 0,905\,1\} \frac{d_T}{d} \quad (17)$$

Gleichung (17) kann verwendet werden für $3,0 \times 10^6 < Re_d < 2,0 \times 10^7$ und wenn für die Extrapolation des Kalibrierergebnisses gilt $Re_d d_T/d < 4,5 \times 10^5$. U'_C , die relative erweiterte Messunsicherheit des Wertes von C bei $k = 2$ (etwa 95 % Vertrauensniveau), ergibt sich wie folgt:

$$\sqrt{0,3^2 + U_C^2} \quad (\%)$$

Dabei ist U_C die relative erweiterte Messunsicherheit des Wertes des Durchflusskoeffizienten der Kalibriereinrichtung bei $k = 2$ (etwa 95 % Vertrauensniveau). Die Kalibrierung muss in einer Einrichtung nach

ISO/IEC 17025 durchgeführt werden. Die Auslegung der Rohrleitung unter Betriebsbedingungen sollte in der Kalibriereinrichtung nachgebildet werden, um die Messunsicherheit der Durchflusssdüse mit Entnahmebohrung am Halsteil in ihrer Einbaulage zu reduzieren. Wenn ein Strömungsgleichrichter verwendet wird, wird davon ausgegangen, dass das Kalibrierrohr die Rohrleitung unter Betriebsbedingungen ausreichend nachbildet, wenn die Rohrleitung den Anforderungen nach 6.3.2 entspricht, und wenn dieselbe einlaufseitige Rohrleitung und derselbe Strömungsgleichrichter sowohl bei der Kalibrierung als auch im Betrieb verwendet werden.

ANMERKUNG Bei kompressibler Strömung kann die Messunsicherheit zunehmen, falls sich der Durchmesser einer Druckentnahmebohrung im Halsteil im rechtwinkligen Krümmer innerhalb der Düse von dem der am nächsten am Halsteil gelegenen Bohrung unterscheidet.

5.3.8 Druckverlust

Unterabschnitt 5.1.8 (ISA-1932-Düse) gilt ebenfalls für den Druckverlust von Durchflusssdüsen mit Entnahmebohrung am Halsteil.

5.4 Venturidüse

5.4.1 Allgemeine Form

5.4.1.1 Das Profil einer Venturidüse (siehe Bild 4) ist rotationssymmetrisch. Es besteht aus einem sich verengenden Einlaufteil mit gerundetem Profil, einem zylindrischen Halsteil und einem Diffusor.

5.4.1.2 Die Stirnseite ist identisch mit der einer ISA-1932-Düse (siehe Bild 1).

5.4.1.3 Die Stirnfläche A ist durch die Fläche zwischen coaxialen Kreisen um die Mittellinie mit dem Durchmesser $1,5d$ und dem Rohrrinnendurchmesser D begrenzt.

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

Bei $d > (2/3)D$ ist innerhalb der Rohrleitung keine einlaufseitige 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.

5.4.1.4 Der Kreisbogen B geht für $d < (2/3)D$ tangential in die Stirnfläche A über. Sein Radius R_1 ist gleich $0,2d \pm 0,02d$ für $\beta < 0,5$ und $0,2d \pm 0,006d$ für $\beta \geq 0,5$. Sein Mittelpunkt hat einen Abstand von $0,2d$ von der Stirnfläche A und $0,75d$ von der Mittellinie.

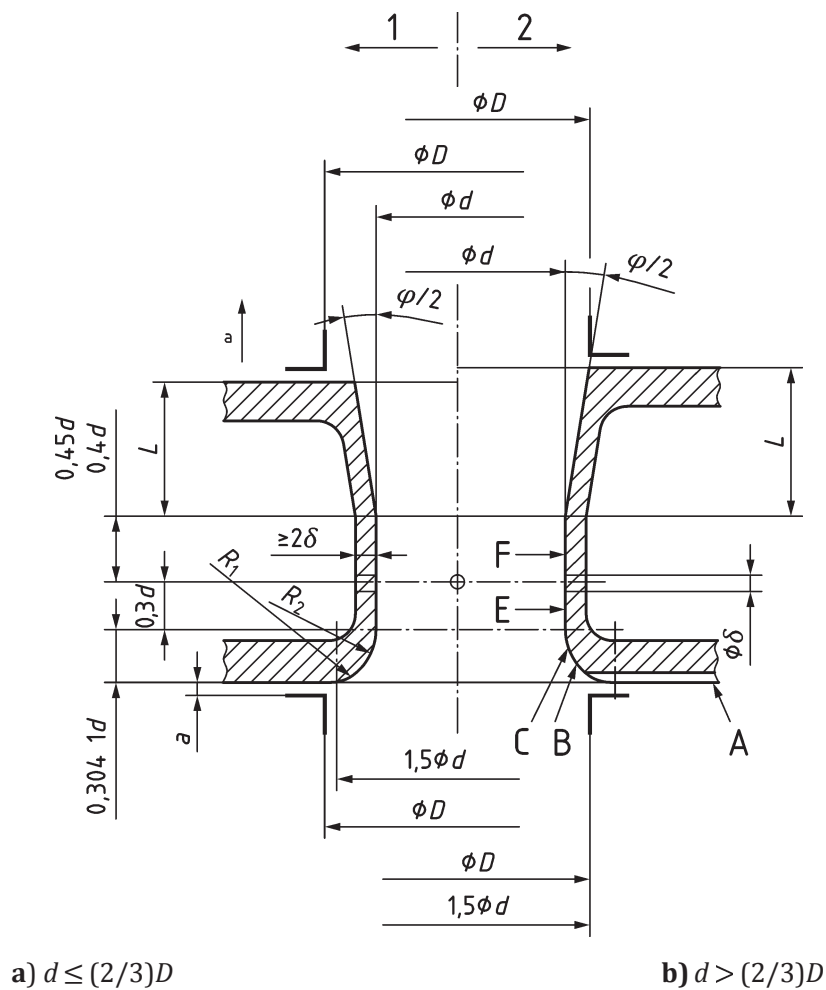
5.4.1.5 Der Kreisbogen C verläuft tangential zum Kreisbogen B und zum Halsteil E. Sein Radius R_2 ist gleich $d/3 \pm 0,033d$ für $\beta < 0,5$ und $d/3 \pm 0,01d$ für $\beta \geq 0,5$. Sein Mittelpunkt hat einen Abstand von $d/2 + d/3 = (5/6)d$ von der Mittellinie und von der Stirnfläche A einen Abstand:

$$a_n = \frac{12 + \sqrt{39}}{60}d = 0,304\,1d \quad (18)$$

5.4.1.6 Der Halsteil (siehe Bild 4) besteht aus einem Teil E der Länge $0,3d$ und einem Teil F mit einer Länge von $0,4d$ bis $0,45d$.

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

Der Halsteil muss zylindrisch sein. Kein Durchmesser eines Querschnitts darf um mehr als 0,05 % vom mittleren Durchmesser d abweichen. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn keiner der gemessenen Durchmesser die oben genannte Grenze in Bezug auf die Abweichungen vom Mittelwert überschreitet.



Legende

- 1 gekürzter Diffusor
- 2 nicht gekürzter Diffusor
- ^a Strömungsrichtung

Bild 4 — Venturidüse

5.4.1.7 Der Diffusor (siehe Bild 4) muss mit Teil F des Halsteils ohne einen gerundeten Teil verbunden sein, alle Bohrgrate müssen jedoch entfernt werden.

Der im Diffusor beinhaltete Winkel ϕ muss kleiner oder gleich 30° sein.

Die Länge L des Diffusors hat praktisch keinen Einfluss auf den Durchflusskoeffizienten C . Es haben jedoch der im divergierenden Teil (Diffusor) beinhaltete Winkel und deswegen die Länge Einfluss auf den Druckverlust.

5.4.1.8 Eine Venturidüse wird als „verkürzt“ bezeichnet, wenn der Auslaufdurchmesser des Diffusors kleiner als der Durchmesser D ist, und als „nicht verkürzt“, wenn der Auslaufdurchmesser gleich dem Durchmesser D ist. Der Diffusor darf um ungefähr 35 % seiner Länge verkürzt werden, ohne dass sich dadurch der Druckverlust des Gerätes wesentlich ändert.

5.4.1.9 Für die Oberfläche der Innenseite der Venturidüse muss der arithmetische Mittenrauhwert $Ra \leq 10^{-4}d$ betragen.

5.4.2 Werkstoff und Herstellung

5.4.2.1 Die Venturidüse darf aus jedem Werkstoff hergestellt werden, sofern sie der Beschreibung nach 5.4.1 entspricht und während der Anwendung unverändert bleibt. Die Venturidüse muss auf jeden Fall während der Durchflussmessung sauber sein.

5.4.2.2 Die Venturidüse wird üblicherweise aus Metall hergestellt. Sie muss gegen Erosion und Korrosion durch das vorgesehene Fluid beständig sein.

5.4.3 Druckentnahmen

5.4.3.1 Winkellage der Druckentnahmen

Die Mittellinien der Bohrungen für die Druckentnahmen dürfen in jeder beliebigen axialen Ebene des Rohres liegen. Es sollte jedoch Rücksicht auf die Lage der Druckentnahmen genommen werden, falls das Vorhandensein von Verunreinigungen, Flüssigkeitströpfchen oder Gasblasen als wahrscheinlich angesehen wird. In diesen Fällen sollten der Boden und die Oberseite der Rohrleitung vermieden werden.

5.4.3.2 Druckentnahmen auf der Einlaufseite (Plus-Druckentnahmen)

Die Plus-Druckentnahmen müssen Eck-Druckentnahmen sein (siehe 5.1.5.1). Die Entnahmen dürfen entweder direkt im Rohr oder in Flanschen oder auch in Fassungsringen untergebracht werden, wie dies im Bild 5 dargestellt ist.

5.4.3.3 Druckentnahmen im Halsteil

Die Druckentnahmen im Halsteil müssen mindestens vier Einzel-Druckentnahmen umfassen, die in eine Ringkammer, einen Druckentnahmering (en: piezometer ring) oder, falls es vier Einzel-Druckentnahmen sind, in eine „Triple-T“-Anordnung münden (siehe ISO 5167-1:2022, 5.4.3). Ringförmige Schlitzte oder unterbrochene Spalte dürfen nicht verwendet werden.

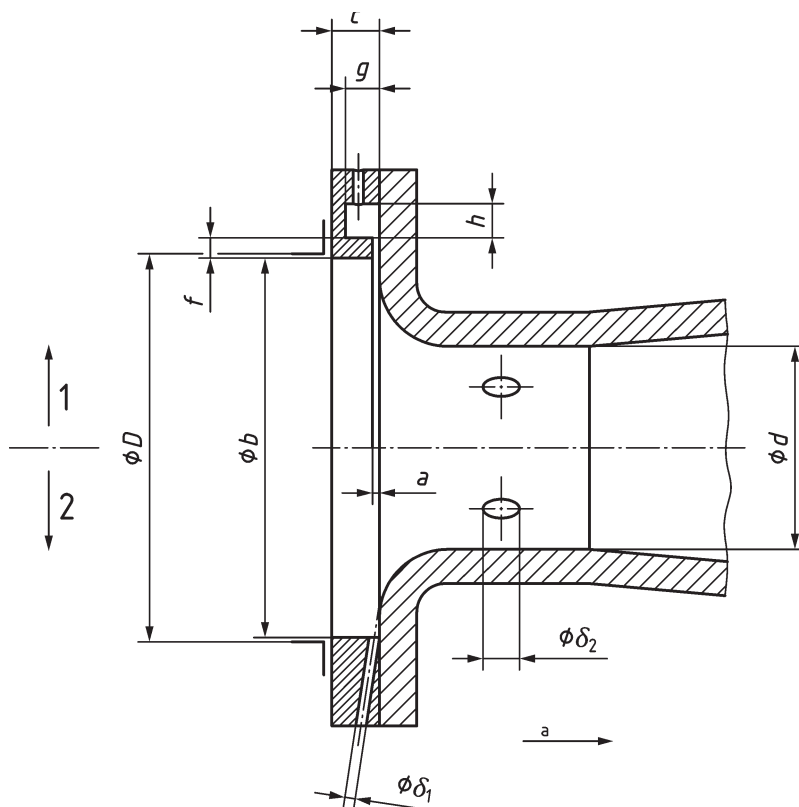
Die Mittellinien der Druckentnahmestellen müssen auf die Mittellinie der Venturidüse treffen und müssen gleiche Winkel zueinander bilden. Die Mittellinien der Druckentnahmestellen am Hals müssen in einer Ebene senkrecht zur Mittellinie der Venturidüse liegen, die die gedachte Grenze zwischen den Teilen E und F des zylindrischen Halsteiles bildet.

Der Durchmesser δ_2 jeder Einzel-Druckentnahme im Halsteil einer Venturidüse muss kleiner oder gleich $0,04d$ sein und außerdem bei 2 mm bis 10 mm liegen.

Gemessen von der Innenwand der Venturidüse müssen die Bohrungen für die Druckentnahmen über eine Länge vom mindestens 2,5-fachen Bohrungsdurchmesser kreisrund und zylindrisch sein.

Am Durchbruch zur Rohrrinnenseite muss die Entnahmeöffnung kreisrund sein. Ihre Kanten müssen mit der Innenseite der Venturidüse bündig, frei von Grat und so scharf wie möglich sein. Um Bohrgrat oder Späne sicher zu entfernen, ist eine Abrundung an der inneren Kante zulässig, die jedoch so klein wie möglich sein muss. Falls eine Messung möglich ist, muss der Kantenradius kleiner als ein Zehntel des Durchmessers der Bohrung sein. Die Innenseite der Entnahmebohrung, die Bohrungskante der in die Venturidüse gebohrten Entnahmeöffnung oder die Wand an der Rohrrinnenseite nahe der Druckentnahme dürfen keine Unregelmäßigkeiten aufweisen.

Die Beurteilung der Übereinstimmung der Entnahmebohrung mit den Anforderungen dieses Absatzes darf mittels Sichtprüfung erfolgen.



Legende

- 1 mit Ringkammer
- 2 mit Einzel-Druckentnahme
- ^a Strömungsrichtung

Bild 5 — Venturidüse — Druckentnahmen

5.4.4 Koeffizienten

5.4.4.1 Anwendungsgrenzen

Venturidüsen dürfen nur dann wie in diesem Dokument festgelegt verwendet werden, wenn die nachstehenden Grenzen eingehalten werden:

- $65 \text{ mm} \leq D \leq 500 \text{ mm}$;
- $d \geq 50 \text{ mm}$;
- $0,316 \leq \beta \leq 0,775$;
- $1,5 \times 10^5 \leq Re_D \leq 2 \times 10^6$.

Zusätzlich muss die relative Rohrrauheit den Werten der Tabelle 2 entsprechen.

Die meisten Messreihen, auf denen die Werte für den Durchflusskoeffizienten C beruhen, wurden in Rohren mit einer relativen Rohrrauheit $Ra/D < 1,2 \times 10^{-4}$ durchgeführt. Es dürfen Rohre mit höherer relativer Rohrrauheit dann verwendet werden, wenn sich die Rauheit im Bereich von mindestens $10D$ an der Einlaufseite der Venturidüse innerhalb der Grenzen von Tabelle 2 bewegt. Zur Bestimmung von Ra siehe ISO 5167-1.