

DIN EN 60534-2-1

ICS 23.060.40

Ersatz für
DIN EN 60534-2-1:2000-03 und
DIN EN 60534-2-1
Berichtigung 1:2003-02
Siehe Anwendungsbeginn

**Stellventile für die Prozessregelung –
Teil 2-1: Durchflusskapazität –
Bemessungsgleichungen für Fluide unter Betriebsbedingungen
(IEC 60534-2-1:2011);
Deutsche Fassung EN 60534-2-1:2011**

Industrial-process control valves –
Part 2-1: Flow capacity –
Sizing equations for fluid flow under installed conditions
(IEC 60534-2-1:2011);
German version EN 60534-2-1:2011

Vannes de régulation des processus industriels –
Partie 2-1: Capacité d'écoulement –
Equations de dimensionnement pour l'écoulement des fluides dans les conditions
d'installation
(CEI 60534-2-1:2011);
Version allemande EN 60534-2-1:2011

Gesamtumfang 56 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2011-05-04 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2012-01-01.

Für DIN EN 60534-2-1:2000-03 und DIN EN 60534-2-1 Berichtigung 1:2003-02 gilt eine Übergangsfrist bis zum 2014-05-04.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60534-2-1:2009-10.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 963 „Stellgeräte für strömende Stoffe“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 65B „Devices“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60534-2-1:2000-03 und DIN EN 60534-2-1 Berichtigung 1:2003-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Es wird das gleiche grundlegende Modell für den Durchfluss verwendet, die Grundstruktur der Gleichungen wurde jedoch verändert, um die Anwendung der Norm durch Einführung eines speziellen Begriffs für den Differenzdruck, der für die Berechnung des Durchflusses oder des erforderlichen Durchflusskoeffizienten bei inkompressiblen Medien benutzt wird, zu vereinfachen;
- b) Änderungen an den Korrekturberechnungen für nicht-turbulenten Durchfluss und an den Mittelwerten der Berechnungsergebnisse wurden vorgenommen;
- c) Berechnungsgleichungen für Mehrstufen-Stellventile wurden in einem Anhang aufgenommen;
- d) Berechnungsbeispiele für Fluide bei unterschiedlichen Bedingungen wurden in einem Anhang aufgenommen;
- c) die normativen Verweisungen wurden aktualisiert.

Frühere Ausgaben

DIN IEC 60534-2-2: 1984-06
DIN IEC 60534-2-1: 1984-06
DIN EN 60534-2-2: 1995-01
DIN EN 60534-2-1: 1995-01, 2000-03
DIN EN 60534-2-1 Berichtigung 1: 2003-02

Deutsche Fassung

Stellventile für die Prozessregelung –
Teil 2-1: Durchflusskapazität –
Bemessungsgleichungen für Fluide unter Betriebsbedingungen
(IEC 60534-2-1:2011)

Industrial-process control valves –
Part 2-1: Flow capacity –
Sizing equations for fluid flow under
installed conditions
(IEC 60534-2-1:2011)

Vannes de régulation des processus
industriels –
Partie 2-1: Capacité d'écoulement –
Equations de dimensionnement pour
l'écoulement des fluides dans les
conditions d'installation
(CEI 60534-2-1:2011)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2011-05-04 angenommen. Die CENELEC-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 CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2011 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60534-2-1:2011 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 65B/783/FDIS, zukünftige 2. Ausgabe von IEC 60534-2-1, ausgearbeitet von dem SC 65B „Devices & process analysis“ des IEC/TC 65 „Industrial-process measurement, control and automation“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2011-05-04 als EN 60534-2-1 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 60534-2-1:1998.

EN 60534-2-1:2011 beinhaltet die folgenden wesentlichen technischen Änderungen in Hinsicht auf EN 60534-2-1:1998:

- Es wird das gleiche grundlegende Modell für den Durchfluss verwendet, die Grundstruktur der Gleichungen wurde jedoch verändert, um die Anwendung der Norm durch Einführung des Begriffs des Δp_{sizing} zu vereinfachen;
- Änderungen an den Korrekturberechnungen für nicht-turbulenten Durchfluss und an den Mittelwerten der Berechnungsergebnisse;
- Berechnungsgleichungen für Mehrstufen-Stellventile wurden in einem Anhang aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN und CENELEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2012-02-04
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2014-05-04

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60534-2-1:2011 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Formelzeichen	6
5 Einbaubedingungen	8
6 Bemessungsgleichungen für inkompressible Fluide	8
6.1 Turbulenter Durchfluss	8
6.2 Differenzdrücke	9
6.2.1 Differenzdruck für die Berechnung, Δp_{sizing}	9
6.2.2 Differenzdruck bei Durchflussbegrenzung Δp_{choked}	9
6.2.3 Faktor für das kritische Druckverhältnis bei der Verdampfung von Flüssigkeiten F_F	9
6.3 Nicht turbulenter (laminarer oder transitionaler) Durchfluss	10
7 Bemessungsgleichungen für kompressible Fluide	10
7.1 Allgemein	10
7.2 Differenzdrücke	10
7.2.1 Differenzdruckverhältnis für die Berechnung x_{sizing}	10
7.2.2 Differenzdruckverhältnis bei Durchflussbegrenzung x_{choked}	11
7.3 Faktor für das Verhältnis der spezifischen Wärmen F_γ	11
7.4 Expansionsfaktor Y	11
7.5 Realgasfaktor Z	12
7.6 Nicht turbulenter (laminarer oder transitionaler) Durchfluss	12
8 Gemeinsame Korrekturfaktoren für inkompressible und kompressible Fluide	12
8.1 Rohrleitungsgeometrie-Faktoren	12
8.2 Abschätzung des Rohrleitungsgeometrie-Faktors F_P	13
8.3 Abschätzung des kombinierten Faktors für den Druckrückgewinn und die Rohrleitungsgeometrie mit Anpassungsstücken F_{LP} bei Flüssigkeiten	14
8.4 Abschätzung des Faktors für das Differenzdruckverhältnis x_{TP} für ein Stellventil mit angebauten Anpassungsstücken	14
9 Stellventil-Reynolds-Zahl Re_V	15
Anhang A (normativ) Berechnungsgleichungen für nicht-turbulenten Durchfluss	17
A.7 Gleichungen für den Reynolds-Zahl Faktor F_R	19
Anhang B (normativ) Berechnungsgleichungen für den Durchfluss durch Mehrstufen-Stellventile	20
Anhang C (informativ) Betrachtungen zur Berechnung des Rohrleitungsgeometrie-Faktors	27
Anhang D (informativ) Auslegungsdaten	33
Anhang E (informativ) Berechnungsbeispiele	40
Literaturhinweise	53

	Seite
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	54
Bild 1 – Referenzrohrleitungsabschnitt für die Berechnung	8
Bild B.1 – Mehrkanal-Mehrstufen-Garnitur	22
Bild B.2 – Einkanal-Mehrstufen-Garnitur	23
Bild B.3 – Einzelne Scheibe einer Innengarnitur mit kontinuierlichem Druckabbau (Die komplette Innengarnitur besteht aus einem Stapel solcher Scheiben).....	24
Bild B.4 – Schnittzeichnung einer Innengarnitur mit kontinuierlichem Druckabbau mit mehreren Durchflusskanälen und mit vertikalen Umlenkungen	24
Bild C.1 – Ermittlung der Obergrenze des Intervalls für die iterative Methode	31
Bild C.2 – Ermittlung des endgültigen Durchflusskoeffizienten mittels der iterativen Methode	32
Bild D.1 – Rohrleitungsgeometrie-Faktoren	37
Bild D.2 – Faktoren für den Druckrückgewinn	39
Bild D.3 – Faktor für das kritische Druckverhältnis F_F bei Flüssigkeiten	39
Tabelle 1 – Numerische Konstanten N	16
Tabelle B.1 – Werte des Faktor für die Stufenbeeinflussung k und der Wärmerückgewinnung r für Stellventile mit Einkanal-Mehrstufen-Garnitur und mit Mehrkanal-Mehrstufen-Garnitur	25
Tabelle B.2 – Werte des Faktors für die Stufenbeeinflussung k und des Wärmefaktors r für Stellventile mit kontinuierlichem Druckabbau.....	26
Tabelle C.1 – Inkompressible Fluide	30
Tabelle C.2 – Kompressible Fluide.....	30
Tabelle D.1 – Physikalische Daten für Gase und Dampf	33
Tabelle D.2 – Typische Werte des Stellventiltypfaktors F_d , des Faktors für das kritische Druckverhältnis bei Flüssigkeiten F_L und des Differenzdruckverhältnisfaktors x_T bei Nennhub ^{a)}	34

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60534 enthält Gleichungen für die Berechnung des Durchflusses von kompressiblen und inkompressiblen Fluiden durch Stellventile.

Die Gleichungen für inkompressiblen Durchfluss basieren auf den hydrodynamischen Gleichungen für newtonsche, inkompressible Stoffe. Sie sind für die Anwendung bei nicht-Newtonschen Stoffen, Stoffgemischen oder Stoffen mit flüssig/festen Anteilen nicht vorgesehen. Bei Anwendung der Gleichungen für inkompressiblen Durchfluss ist besondere Vorsicht bezüglich der möglichen Ausdampfung von Flüssigkeitsgemischen anzuwenden. Siehe Abschnitt 6 für weitere Information.

Bei sehr kleinen Verhältnissen von Differenzdruck zu absolutem Vordruck ($\Delta p/p_1$) verhalten sich kompressible Fluide ähnlich den inkompressiblen. Unter solchen Bedingungen können die Bemessungsgleichungen für kompressible Fluide auf die grundlegenden hydrodynamischen Gleichungen für newtonsche inkompressible Fluide zurückgeführt werden. Jedoch führen ansteigende Werte von $\Delta p/p_1$ zu Kompressibilitäts-Effekten, die bewirken, dass die Grundgleichungen durch geeignete Korrekturfaktoren modifiziert werden müssen. Die vorgeschlagenen Gleichungen gelten für ideale Gase oder Dämpfe, sind jedoch nicht geeignet für Mehrphasenfluide wie Gas-Flüssigkeit, Dampf-Flüssigkeit oder Gas-Feststoff-Mischungen. Eine angemessene Genauigkeit kann nur gewährleistet werden, wenn das Verhältnis der spezifischen Wärmen γ im Bereich $1,08 < \gamma < 1,65$ liegt. Siehe 7.2 für weitere Informationen.

Für Anwendungen bei kompressiblem Durchfluss ist diese Norm für Stellventile mit einem Differenzdruckverhältnis $x_T \leq 0,84$ gültig (siehe Tabelle D.2). Für Stellventile mit $x_T > 0,84$ (z. B. bei Mehrstufenventilen) wird die Ungenauigkeit der Durchflussberechnung größer.

Angemessene Genauigkeit kann für Stellventile nur dann erreicht werden, wenn

$$\frac{C}{N_{18}d^2} < 0,047$$

Auch wenn die Struktur der Gleichungen in diesem Dokument sich stark von der in den früheren Ausgaben dieser Norm unterscheidet, bleibt die grundlegende Berechnungstechnik relativ unverändert. Das geänderte Format der Gleichungen wurde gewählt, um die Darstellung der verschiedenen Gleichungen zu vereinfachen und um die Lesbarkeit dieses Dokuments zu erleichtern.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60534-1:2005, *Industrial-process control valves – Part 1: Control valve terminology and general considerations*

IEC 60534-2-3:1997, *Industrial-process control valves – Part 2: Flow capacity – Section 3: Test procedures*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60534-1 und die folgenden Begriffe.

3.1

Stellventiltypfaktor F_d

Verhältnis des hydraulischen Durchmessers einer einzelnen Durchflussöffnung zu einem kreisförmigen Durchmesser mit der Fläche, die gleich der Summe der Flächen aller gleichen Durchflussöffnungen bei

einem bestimmten Hub sind. Der Stellventiltypfaktor F_d wird vom Hersteller als eine Funktion des Hubes angegeben (siehe Anhang A).

3.2

Standard-Volumendurchfluss Q_s

Volumendurchfluss von kompressiblen Medien in Kubikmeter je Stunde, dargestellt durch das Symbol Q_s , bezieht sich entweder auf:

- Standardbedingungen*; dies entspricht einem Absolutdruck von 1 013,25 mbar und einer Temperatur von 288,6 K, oder
- Normalbedingungen*; dies entspricht einem Absolutdruck von 1 013,25 mbar und einer Temperatur von 273 K.

Numerische Konstanten für die Durchflussgleichungen sind in Tabelle 1 für beide Fälle angegeben.

4 Formelzeichen

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
C	Durchflusskoeffizient (K_v , C_v)	verschiedene (siehe IEC 60534-1) (siehe Anmerkung 4)
d	Nennweite des Stellventils	mm
D	Innendurchmesser der Rohrleitung	mm
D_1	Innendurchmesser der Rohrleitung auf der Eingangsseite	mm
D_2	Innendurchmesser der Rohrleitung auf der Ausgangsseite	mm
D_0	Sitzdurchmesser des Stellventils	mm
F_d	Stellventiltypfaktor (siehe Anhang A)	1 (siehe Anmerkung 4)
F_F	Faktor für das kritische Druckverhältnis bei Flüssigkeiten	1
F_L	Faktor für den Druckrückgewinn eines Stellventils ohne Anpassungsstücke für Flüssigkeiten	1 (siehe Anmerkung 4)
F_{LP}	Kombinierter Faktor für den Druckrückgewinn und die Anschlussgeometrie eines Stellventils mit montierten Anpassungsstücken für Flüssigkeiten	1 (siehe Anmerkung 4)
F_P	Rohrleitungsgeometrie-Faktor	1
F_R	Reynolds-Zahl-Faktor	1
F_γ	Faktor für das Verhältnis der spezifischen Wärmen	1
M	Molare Masse des strömenden Fluids	kg/kmol
N	Numerische Konstanten (siehe Tabelle 1)	verschiedene (siehe Anmerkung 1)
p_1	Absoluter Eingangsdruck, gemessen an Punkt A (siehe Bild 1)	kPa oder bar (siehe Anmerkung 2)
p_2	Absoluter Ausgangsdruck, gemessen an Punkt B (siehe Bild 1)	kPa oder bar
p_c	Absoluter thermodynamischer kritischer Druck	kPa oder bar
p_r	Reduzierter Druck (p_1/p_c)	1
p_v	Absoluter Dampfdruck der Flüssigkeit bei Eingangstemperatur	kPa oder bar
Δp_{actual}	Differenzdruck zwischen den Eingangs- und Ausgangsdruckmessstellen ($P_1 - P_2$)	kPa oder bar
Δp_{choked}	Berechneter Wert für den Differenzdruck bei Durchflussbegrenzung bei inkompressiblen Medien	kPa oder bar

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
Δp_{sizing}	Wert für den Differenzdruck, der für die Berechnung des Durchflusses oder des erforderlichen Durchflusskoeffizienten bei inkompressiblen Medien benutzt wird	kPa oder bar
Q	Aktueller Volumendurchfluss	m ³ /h
Q_S	Standard-Volumendurchfluss (siehe Definition 3.2)	m ³ /h
Re_V	Stellventil-Reynolds-Zahl	1
T_1	Absolute Eintrittstemperatur	K
T_c	Absolute thermodynamisch kritische Temperatur	K
T_r	Reduzierte Temperatur (T_1/T_c)	1
t_s	Absolute Referenztemperatur für den Norm-Kubikmeter	K
W	Massendurchfluss	kg/h
x	Verhältnis des aktuellen Differenzdruckes zum absoluten Eingangsdruck ($\Delta P/P_1$)	1
x_{choked}	Differenzdruckverhältnis bei Durchflussbegrenzung für kompressible Medien	1
x_{sizing}	Wert für das Differenzdruckverhältnis, das für die Berechnung des Durchflusses oder des erforderlichen Durchflusskoeffizienten bei kompressiblen Medien benutzt wird	1
x_T	Differenzdruckverhältnis eines Stellventils ohne angebaute Anpassungsstücke bei Durchflussbegrenzung	1 (siehe Anmerkung 4)
x_{TP}	Differenzdruckverhältnis eines Stellventils mit angebauten Anpassungsstücken bei Durchflussbegrenzung	1
Y	Expansionsfaktor	1
Z_1	Realgasfaktor unter den Bedingungen am Ventileintritt	1
ν	Kinematische Viskosität	m ² /s (siehe Anmerkung 3)
ρ_1	Dichte des Fluids bei p_1 und T_1	kg/m ³
ρ_1/ρ_0	Relative Dichte ($\rho_1/\rho_0 = 1,0$ für Wasser bei 15 °C)	1
γ	Verhältnis der spezifischen Wärmen	1
ζ	Druckverlustzahl einer Reduzierung, Erweiterung oder eines anderen am Stellventil montierten Anpassungsstückes oder der Ventilgarnitur	1
ζ_1	Druckverlustzahl des Anpassungsstückes im Eintritt	1
ζ_2	Druckverlustzahl des Anpassungsstückes im Austritt	1
ζ_{B1}	Bernoulli-Koeffizient im Eintritt	1
ζ_{B2}	Bernoulli-Koeffizient im Austritt	1

ANMERKUNG 1 Um die Einheiten für die numerischen Konstanten zu bestimmen, kann eine Dimensionsbetrachtung der entsprechenden Gleichungen durchgeführt werden, wenn man die Einheiten der Tabelle 1 verwendet.

ANMERKUNG 2 1 bar = 10² kPa = 10⁵ Pa.

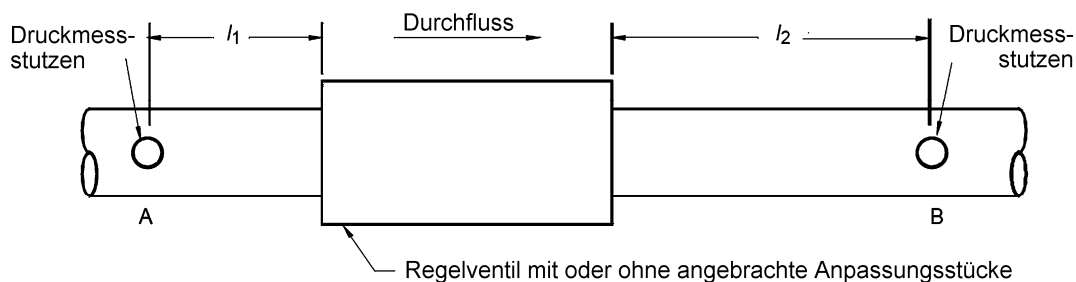
ANMERKUNG 3 1 cST = 10⁻⁶ m²/s.

ANMERKUNG 4 Diese Werte sind abhängig vom Ventilhub und sollten vom Hersteller angegeben werden.

5 Einbaubedingungen

Bei vielen industriellen Anwendungen werden Reduzierstücke oder anderen Rohrleitungselemente an die Stellventile angebaut. Diese Anpassungsstücke beeinflussen signifikant die Nennkapazität des Stellventils. Ein Korrekturfaktor wird für diesen Effekt eingeführt. Zusätzliche Faktoren werden eingeführt, um die Eigenschaften des Betriebsmediums, die die Durchflusskapazität des Stellventils beeinflussen, zu berücksichtigen.

Die hier vorgeschlagenen Gleichungen für die Bemessung von Stellventilen basieren auf der Annahme, dass die berechneten Strömungskoeffizienten alle Druckverluste zwischen den Druckentnahmestellen A und B, wie in Bild 1 dargestellt, enthalten.



$l_1 = 2 \times \text{Nennweite der Rohrleitung}$

$l_2 = 6 \times \text{Nennweite der Rohrleitung}$

Bild 1 – Referenzrohrleitungsabschnitt für die Berechnung

6 Bemessungsgleichungen für inkompressible Fluide

6.1 Turbulenter Durchfluss

Das grundlegende Modell für den Durchfluss inkompressibler Fluide im Bereich des turbulenten Durchflusses ist gegeben durch:

$$Q = CN_1 F_P \sqrt{\frac{\Delta p_{\text{sizing}}}{\frac{\rho_1}{\rho_0}}} \quad (1)$$

ANMERKUNG 1 Die numerische Konstante N_1 hängt von den in der allgemeinen Bemessungsgleichung verwendeten Einheiten und dem Typ des Durchflusskoeffizienten K_V oder C_V ab.

ANMERKUNG 2 Der Rohrleitungsgeometriefaktor F_P wird 1, wenn die Ventilenweite und die Nennweite der angeschlossenen Rohrleitungen gleich sind. Siehe 8.1 für die Herleitung und weitergehende Informationen.

Dieses Modell beschreibt die Beziehungen zwischen dem Durchfluss, dem Durchflusskoeffizienten, den Eigenschaften des Fluids, den Einbaubedingungen und den sonstigen Bedingungen für Stellventile bei inkompressiblen Fluiden. Gleichung (1) kann zur Berechnung des erforderlichen Durchflusskoeffizienten, des Durchflusses oder des Druckabfalls benutzt werden, wenn die beiden jeweils anderen Größen vorgegeben sind.

Dieses Modell beschränkt sich streng genommen nur auf einkomponentige, einphasige Fluide (also keine mehrphasen- oder aus mehreren Komponenten bestehende Gemische). Jedoch kann dieses Modell mit der gebotenen Vorsicht unter bestimmten Bedingungen auch für aus mehreren Komponenten bestehende

Flüssigkeitsgemische angewendet werden. Die dem Modell zugrunde liegenden Annahmen werden durch Flüssigkeitsgemische erfüllt, die den nachfolgenden Einschränkungen genügen:

- Das Gemisch ist homogen.
- Das Gemisch ist in chemischem und thermodynamischem Gleichgewicht.
- Der gesamte Drosselprozess findet ausreichend weit vom Bereich, in dem mehrere Phasen auftreten können, statt.

Sofern diese Bedingungen erfüllt sind, kann die Dichte des Gemisches als Dichte des Fluids ρ_1 in Gleichung (1) eingesetzt werden.

6.2 Differenzdrücke

6.2.1 Differenzdruck für die Berechnung, Δp_{sizing}

Der Wert für den Differenzdruck, der in Gleichung (1) für die Berechnung des Durchflusses oder des erforderlichen Durchflusskoeffizienten benutzt wird, ist geringer als der aktuelle Differenzdruck oder der Differenzdruck bei Durchflussbegrenzung:

$$\Delta p_{\text{sizing}} = \begin{cases} \Delta p & \text{wenn } \Delta p < \Delta p_{\text{choked}} \\ \Delta p_{\text{choked}} & \text{wenn } \Delta p \geq \Delta p_{\text{choked}} \end{cases} \quad (2)$$

6.2.2 Differenzdruck bei Durchflussbegrenzung Δp_{choked}

Die Stelle oder Bedingung, wo ein weiterer Anstieg des Differenzdrucks keinen weiteren Anstieg des Durchflusses durch ein Stellventil verursacht, wird als Durchflussbegrenzung bezeichnet. Der Druckabfall, bei dem dieses auftritt, wird als Differenzdruck bei Durchflussbegrenzung bezeichnet und ist durch die nachfolgende Gleichung gegeben:

$$\Delta p_{\text{choked}} = \left(\frac{F_{\text{LP}}}{F_{\text{P}}} \right)^2 (p_1 - F_{\text{F}} p_{\text{v}}) \quad (3)$$

ANMERKUNG Der Ausdruck $\left(\frac{F_{\text{LP}}}{F_{\text{P}}} \right)^2$ reduziert sich zu F_{L}^2 , wenn die Ventiltinnenweite und die Nennweite der angeschlossenen Rohrleitungen gleich sind. Siehe 8.1 für weitere Information.

6.2.3 Faktor für das kritische Druckverhältnis bei der Verdampfung von Flüssigkeiten F_{F}

F_{F} ist der Faktor für das kritische Druckverhältnis für Flüssigkeiten. Der Faktor F_{F} ist das Verhältnis des Druckes in der *Vena Contracta* bei Durchflussbegrenzung zu dem Dampfdruck der Flüssigkeit bei Eingangstemperatur. Bei Dampfdrücken in der Nähe von 0 ist dieser Faktor 0,96.

Werte von F_{F} können vom Anwender gegeben werden, sofern bekannt. Für einkomponentige Fluide kann F_{F} aus der Kurve in Bild D.3 oder aus der folgenden Näherungsgleichung ermittelt werden:

$$F_{\text{F}} = 0,96 - 0,28 \sqrt{\frac{p_{\text{v}}}{p_{\text{c}}}} \quad (4)$$

Die Anwendung der Gleichung (4) zur Ermittlung des Beginns der Durchflussbegrenzung von Gemischen aus mehreren Komponenten hängt von der Anwendbarkeit der entsprechenden Parameter im Berechnungsmodell für Ausdampfung ab.

6.3 Nicht turbulenter (laminarer oder transitionaler) Durchfluss

Das Berechnungsmodell, dem die Gleichung (1) zugrunde liegt, ist das einer voll entwickelten turbulenten Strömung. Nicht-turbulente Bedingungen können insbesondere dann auftreten, wenn der Durchfluss vergleichsweise gering ist oder das Fluid eine hohe Viskosität hat. Um die Anwendbarkeit von Gleichung (1) nachzuweisen, sollte die Ventil-Reynolds-Zahl Re_V (siehe Gleichung (23)) berechnet werden. Gleichung (1) ist anwendbar, wenn $Re_V \geq 10\,000$ ist.

7 Bemessungsgleichungen für kompressible Fluide

7.1 Allgemein

Das grundlegende Modell für den Durchfluss kompressibler Fluide im Bereich des turbulenten Durchflusses ist gegeben durch:

$$W = CN_6 F_P Y \sqrt{x_{\text{sizing}} p_1 \rho_1} \quad (5)$$

Dieses Modell stellt die Beziehungen zwischen dem Durchfluss, dem Durchflusskoeffizienten, Eigenschaften des Fluids, den Einbaubedingungen und den sonstigen Bedingungen für Stellventile bei kompressiblen Fluiden dar.

Zwei äquivalente Formen von Gleichung (5), die dem normalerweise verfügbaren Datenformat entsprechen, sind nachfolgend aufgeführt.

$$W = CN_8 F_P p_1 Y \sqrt{\frac{x_{\text{sizing}} M}{T_1 Z_1}} \quad (6)$$

$$Q_S = CN_9 F_P p_1 Y \sqrt{\frac{x_{\text{sizing}}}{M T_1 Z_1}} \quad (7)$$

ANMERKUNG Siehe Anhang D für Werte von M.

Gleichung (6) wird hergeleitet, indem die Dichte des Fluids, mittels der Idealen Gasgleichung berechnet, in Gleichung (5) eingesetzt wird. Gleichung (7) gibt den Durchfluss in Standard-Volumeneinheiten an. Die Gleichungen (5) bis (7) können zur Berechnung des erforderlichen Durchflusskoeffizienten, des Durchflusses oder des Druckabfalls aus den beiden jeweils anderen Größen benutzt werden.

7.2 Differenzdrücke

7.2.1 Differenzdruckverhältnis für die Berechnung x_{sizing}

Der Wert für den Differenzdruck, der in Gleichung (5) bis (7) für die Berechnung des Durchflusses oder des erforderlichen Durchflusskoeffizienten benutzt wird, ist geringer als der aktuelle Differenzdruck oder der Differenzdruck bei Durchflussbegrenzung:

$$x_{\text{sizing}} = \begin{cases} x & \text{wenn } x < x_{\text{choked}} \\ x_{\text{choked}} & \text{wenn } x \geq x_{\text{choked}} \end{cases} \quad (8)$$

wobei

$$x = \frac{\Delta p}{p_1} \quad (9)$$

7.2.2 Differenzdruckverhältnis bei Durchflussbegrenzung x_{choked}

Die Stelle, wo ein weiterer Anstieg des Differenzdrucks keinen weiteren Anstieg des Durchflusses durch ein Stellventil verursacht, wird als Durchflussbegrenzung bezeichnet und durch die folgende Gleichung gegeben:

$$x_{\text{choked}} = F_{\gamma} x_{\text{TP}} \quad (10)$$

ANMERKUNG Der Ausdruck x_{TP} wird zu x_{T} , wenn die Ventilenweite und die Nennweite der angeschlossenen Rohrleitungen gleich sind. Siehe 8.1 für weitere Information.

7.3 Faktor für das Verhältnis der spezifischen Wärmen F_{γ}

Der Faktor x_{T} basiert auf Luft mit einem Druck nahe dem Atmosphärendruck als strömendes Fluid mit einem Verhältnis der spezifischen Wärmen von 1,40. Wenn das Verhältnis der spezifischen Wärmen für das strömende Fluid nicht 1,40 ist, so wird der Normierungsfaktor F_{γ} zur Anpassung von x_{T} verwendet. Der Normierungsfaktor wird berechnet mit:

$$F_{\gamma} = \frac{\gamma}{1,40} \quad (11)$$

ANMERKUNG Anhang D enthält Werte für γ und F_{γ}

Gleichung (11) ist hergeleitet vom Verhalten eines idealen Gases und der Erweiterung des Modells der Entspannung über eine Lochblende, basierend auf Versuchen mit Luft und Wasserdampf, auf Stellventile. Die Analyse dieses Modells über einen Bereich $1,08 < \gamma < 1,65$ führt zur einer Darstellung des heutigen linearen Modells wie in Gleichung (11). Der Unterschied zwischen dem originalen Lochblendenmodell, anderen theoretischen Modellen und Gleichung (11) ist in diesem Bereich vernachlässigbar klein. Jedoch werden die Unterschiede außerhalb des genannten Bereiches von γ nicht mehr vernachlässigbar. Um eine höchstmögliche Genauigkeit von Berechnungen auf Basis dieses Modell sicherzustellen, sollte das Verhältnis der spezifischen Wärmen auf den genannten Bereich und das Fluid auf nahezu ideale Gase begrenzt werden.

7.4 Expansionsfaktor Y

Der Expansionsfaktor Y berücksichtigt die Änderung der Dichte des Fluids vom Eintritt des Stellventils zur *Vena Contracta* (der Stelle mit dem engsten Strömungsquerschnitt und der größten Geschwindigkeit hinter dem Drosselquerschnitt des Stellventils). Er berücksichtigt auch die Veränderungen im Querschnitt der *Vena Contracta*, wenn der Differenzdruck sich ändert.

Theoretisch wird der Expansionsfaktor Y durch folgende Größen beeinflusst:

- a) Verhältnis von Sitzfläche zu Eintrittsfläche des Stellventilgehäuses;
- b) Form des Strömungskanals;
- c) Differenzdruckverhältnis x ;
- d) Stellventil-Reynolds-Zahl;
- e) Verhältnis der spezifischen Wärmen γ .

Die Einflüsse von a), b), c) und e) werden durch das Differenzdruckverhältnis x_{T} berücksichtigt, das durch Versuche mit Luft ermittelt werden kann, und das in 8.4 beschrieben wird.

Die Stellventil-Reynolds-Zahl ist das Verhältnis von Trägheits- zu Zähigkeitskräften im Drosselquerschnitt des Stellventils. Bei kompressiblen Stoffen ist ihr Wert nicht relevant, da fast immer turbulente Strömungen herrschen.

Das Verhältnis der spezifischen Wärmen des Fluids beeinflusst das Differenzdruckverhältnis x_{T} .

Der Expansionsfaktor Y wird unter Verwendung von Gleichung (12) berechnet.

$$Y = 1 - \frac{x_{\text{sizing}}}{3x_{\text{choked}}} \quad (12)$$

ANMERKUNG Der Expansionsfaktor Y hat einen Grenzwert von 2/3 bei Durchflussbegrenzung.

7.5 Realgasfaktor Z

Einige der Bemessungsgleichungen enthalten keinen Ausdruck für die tatsächliche Dichte des Stoffes bei den Bedingungen vor dem Stellventil. Stattdessen ist die Dichte abgeleitet von Eintrittsdruck und Eintrittstemperatur, basierend auf den Gesetzen für ideale Gase. Unter einigen Bedingungen kann das Verhalten des realen Gases deutlich von dem eines idealen Gases abweichen. In diesen Fällen muss der Realgasfaktor Z eingeführt werden, um die Abweichung auszugleichen. Der Realgasfaktor Z ist eine Funktion von reduziertem Druck und reduzierter Temperatur (Z -Werte können aus geeigneten Büchern entnommen werden). Der reduzierte Druck p_r ist definiert als das Verhältnis des tatsächlichen absoluten Eingangsdruckes zum absoluten kritischen thermodynamischen Druck des betreffenden Stoffes. Die reduzierte Temperatur T_r ist ähnlich definiert. Somit gilt:

$$p_r = \frac{p_1}{p_c} \quad (13)$$

$$T_r = \frac{T_1}{T_c} \quad (14)$$

ANMERKUNG Werte für p_c und T_c sind in Anhang D enthalten.

7.6 Nicht turbulenter (laminarer oder transistionaler) Durchfluss

Das Berechnungsmodell, dem die Gleichungen (5) bis (7) zugrunde liegen, gilt nur für eine voll entwickelte turbulente Strömung. Nicht-turbulente Bedingungen können insbesondere dann auftreten, wenn der Durchfluss vergleichsweise gering ist oder das Fluid eine hohe Viskosität hat. Um die Anwendbarkeit des Berechnungsmodells nachzuweisen, sollte die Ventil-Reynolds-Zahl Re_v (siehe Gleichung (23)) berechnet werden. Das Berechnungsmodell ist anwendbar, wenn $Re_v \geq 10\,000$ ist.

8 Gemeinsame Korrekturfaktoren für inkompressible und kompressible Fluide

8.1 Rohrleitungsgeometrie-Faktoren

Die verschiedenen Rohrleitungsgeometrie-Faktoren (F_p , F_{LP} , x_{TP}) sind notwendig, um den Einfluss der Anpassungsstücke zu berücksichtigen, die unmittelbar am Eingang und/oder am Ausgang eines Stellventils angebaut sind. Der Faktor F_p ist das Verhältnis des Durchflusswertes eines Stellventils mit Anpassungsstücken zu dem Durchflusswert, der sich ergeben würde, wenn das Stellventil ohne Anpassungsstücke unter identischen Bedingungen – bei denen in keiner der beiden Anbauarten Durchflussbegrenzung auftritt – geprüft wurde (siehe Bild 1).

Wenn die Abweichung unter $\pm 5\%$ bleiben soll, müssen alle Rohrleitungsgeometrie-Faktoren mittels Prüfung nach IEC 60534-2-3 ermittelt werden.

Wenn Schätzwerte für die Rohrleitungsgeometrie-Faktoren zulässig sind, sollten nachfolgende Gleichungen für konzentrische Reduzierstücke und Erweiterungen, die direkt an das Regelventil angebaut sind, verwendet werden. Diese Gleichungen sind aus einer Analyse, die den zusätzlichen Widerstand und die Wechselwirkung zwischen statischer und dynamischer Energie berücksichtigt, entwickelt worden.

Die Gültigkeit dieser Methode hängt davon ab, inwieweit das Regelventil und die angebauten Anpassungsstücke voneinander hydraulisch oder aerodynamisch unabhängig sind, so dass sich die kumulativen Effekte additiv verhalten. Dieses ist wahrscheinlich in den meisten praktischen Anwendungen gegeben. Jedoch kann bei bestimmten Bauarten von Stellventilen, wie z. B. Stellklappen oder Kugelhähnen, im Prinzip der Druckrückgewinn mehr in der ausgangsseitigen Rohrleitung als im Stellventil stattfinden. Ersatz der geraden ausgangsseitigen Rohrleitung durch ein Anpassungsstück würde hier den Bereich des Druckrückgewinns beeinflussen. In solchen Fällen erscheint es nicht als gegeben, dass die einfache Widerstandsmethode diese Effekte adäquat berücksichtigt.

8.2 Abschätzung des Rohrleitungsgeometrie-Faktors F_p

Der Faktor F_p ist das Verhältnis des Durchflusswertes eines Stellventils mit Anpassungsstücken zu dem Durchflusswert, der sich ergeben würde, wenn das Stellventil ohne Anpassungsstücke unter identischen Bedingungen – bei denen in keiner der beiden Anbauarten Durchflussbegrenzung auftritt – geprüft wurde (siehe Bild 1). Wenn Schätzwerte erlaubt sind, ist die folgende Gleichung anzuwenden:

$$F_p = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\sum \zeta}{N_2} \left(\frac{C}{d^2} \right)^2}} \quad (15)$$

In dieser Gleichung ist der Faktor $\sum \zeta$ die algebraische Summe der effektiven Druckverlustzahlen aller Anpassungsstücke, die an das Stellventil angebaut sind. Die Druckverlustzahl des Stellventils selbst ist darin nicht eingeschlossen.

$$\sum \zeta = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_{B1} - \zeta_{B2} \quad (16)$$

In jenen Fällen, in denen der Innendurchmesser der Rohrleitung vor und hinter dem Stellventil verschieden ist, werden die ζ_B -Druckverlustzahlen wie folgt berechnet:

$$\zeta_B = 1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \quad (17)$$

Wenn die Eingangs- und Ausgangs-Anpassungsstücke kurze handelsübliche konzentrische Reduzierstücke sind, so darf man die Druckverlustzahlen ζ_1 und ζ_2 näherungsweise wie folgt berechnen:

Reduzierung im Eingang:

$$\zeta_1 = 0,5 \left[1 - \left(\frac{d}{D_1} \right)^2 \right]^2 \quad (18)$$

Erweiterung im Ausgang:

$$\zeta_2 = 1,0 \left[1 - \left(\frac{d}{D_2} \right)^2 \right]^2 \quad (19)$$

Eingangsreduzierung und Ausgangserweiterung bei gleichem Innendurchmesser der Rohrleitung:

$$\zeta_1 + \zeta_2 = 1,5 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]^2 \quad (20)$$

Die F_p -Werte, die mit den angegebenen Druckverlustzahlen ζ errechnet werden, führen allgemein zur Auswahl etwas größerer Durchflusskoeffizienten als erforderlich. Siehe Anhang C für Berechnungsmethoden.

Für graphische Näherungen von F_p siehe Bild D.2 a) und Bild D.2 b).

8.3 Abschätzung des kombinierten Faktors für den Druckrückgewinn und die Rohrleitungsgeometrie mit Anpassungsstücken F_{LP} bei Flüssigkeiten

F_L ist der Faktor für den Druckrückgewinn für ein Stellventil ohne Anpassungsstücke bei Flüssigkeiten. Dieser Faktor berücksichtigt den Einfluss der inneren Geometrie auf den Durchflusskoeffizienten des Stellventils bei Durchflussbegrenzung. Er ist definiert als das Verhältnis des aktuellen maximalen Durchflusses bei Durchflussbegrenzung zu einem theoretischen Durchfluss (ohne Durchflussbegrenzung), der unter Zugrundelegung des Differenzdrucks berechnet würde, der sich als die Differenz zwischen dem Eingangsdruck am Stellventil und dem bei Durchflussbegrenzung in der *Vena Contracta* auftretenden Druck ergibt. Der Faktor F_L kann durch Prüfungen entsprechend IEC 60534-2-3 ermittelt werden. Typische Werte von F_L in Abhängigkeit vom relativen Durchflusskoeffizienten sind in Bild D.3 dargestellt.

F_{LP} ist der kombinierte Faktor für den Druckrückgewinn und die Rohrleitungsgeometrie für ein Stellventil mit angebauten Anpassungsstücken. Er wird in der gleichen Weise ermittelt wie F_L .

Wenn die zulässige Abweichung innerhalb von $\pm 5\%$ bleiben soll, muss F_{LP} durch Versuche ermittelt werden. Sind Schätzwerte zulässig, so muss Gleichung (21) verwendet werden:

$$F_{LP} = \frac{F_L}{\sqrt{1 + \frac{F_L^2}{N_2} (\Sigma \zeta_1) \left(\frac{C}{d^2}\right)^2}} \quad (21)$$

Hierbei ist $\Sigma \zeta_1 = \zeta_1 + \zeta_{B1}$ die effektive Druckverlustzahl für das Anpassungsstück vor dem Stellventil, ermittelt zwischen dem Druckmessstutzen für den Vordruck in der Rohrleitung und dem Eingang des Stellventils.

8.4 Abschätzung des Faktors für das Differenzdruckverhältnis x_T für ein Stellventil mit angebauten Anpassungsstücken

x_T ist das Differenzdruckverhältnis eines Stellventils, das ohne Reduzierstücke oder andere Anpassungsstücke eingebaut ist. Wenn der Vordruck p_1 konstant gehalten und der Nachdruck p_2 allmählich gesenkt wird, so wird der Massendurchfluss durch ein Stellventil bis zu einem maximalen Grenzwert ansteigen. Diese Bedingung ist bekannt als Durchflussbegrenzung. Die weitere Absenkung von p_2 bewirkt keine weitere Zunahme des Durchflusses.

Dieser Grenzwert wird erreicht, wenn das Differenzdruckverhältnis x den Wert $F_\gamma \cdot x_T$ erreicht. Der Grenzwert von x ist definiert als das kritische Differenzdruckverhältnis. Der Wert von x , der in jeder der Berechnungsgleichungen und in der Beziehung für den Expansionsfaktor Y (Gleichung (12)) verwendet wird, darf diesen Grenzwert nicht überschreiten, auch wenn das tatsächliche Differenzdruckverhältnis größer ist. Somit kann der numerische Wert des Expansionsfaktors Y von 0,667 für $x = F_\gamma \cdot x_T$ bis zu 1,0 für sehr niedrige Differenzdrücke reichen.

Der Wert x_T kann durch einen Versuch mit Luft ermittelt werden. Der Versuchsablauf dafür ist in IEC 60534-2-3 beschrieben.

ANMERKUNG 1 Richtwerte von x_T für verschiedene Typen von Stellventilen mit größtem Sitz-Durchmesser und bei voller Öffnung werden in Tabelle D.1 angegeben, sollten jedoch mit gebotener Vorsicht verwendet werden. Sind genaue Werte verlangt, so müssen sie durch Versuche ermittelt werden.

Wenn ein Stellventil mit angebauten Anpassungsstücken versehen ist, so wird der Wert von x_T beeinflusst.

x_{TP} ist der Faktor für das Differenzdruckverhältnis für ein Stellventil mit angebauten Anpassungsstücken bei Durchflussbegrenzung. Wenn die Abweichungen von x_{TP} unter $\pm 5\%$ bleiben sollen, muss das Stellventil zusammen mit den angebauten Anpassungsstücken als Einheit geprüft werden. Wenn geschätzte Werte zulässig sind, so muss Gleichung (22) verwendet werden:

$$x_{TP} = \frac{\frac{x_T}{F_P^2}}{1 + \frac{x_T \zeta_i}{N_5} \left(\frac{C}{d^2} \right)^2} \quad (22)$$

ANMERKUNG 2 Werte für N_5 sind in nachfolgender Tabelle 1 aufgeführt.

In dieser Beziehung ist x_T das Differenzdruckverhältnis für ein Stellventil, das ohne Reduzierstücke oder andere Anpassungsstücke eingebaut ist. ζ_i ist die Summe der effektiven Druckverlustzahlen ($\zeta_1 + \zeta_{B1}$) des Reduzierstückes oder eines anderen Anpassungsstückes am Eingang des Stellventils.

Wenn auf der Eintrittsseite ein handelsübliches kurzes Anpassungsstück montiert ist, darf der Wert von ζ_1 unter Verwendung von Gleichung (18) abgeschätzt werden.

9 Stellventil-Reynolds-Zahl Re_V

Die Modelle für inkompressiblen und kompressiblen Durchfluss, die in den vorigen Abschnitten dargestellt wurden, gelten nur für eine voll ausgebildete turbulente Strömung. Wenn sich in einem Stellventil eine nicht-turbulente Strömung einstellt, bedingt durch einen geringen Druckabfall, eine hohe Viskosität des Fluids, einen sehr kleinen Durchflusskoeffizienten oder eine Kombination dieser drei Parameter, so ist ein anderes Rechenmodell anzuwenden.

Die Stellventil-Reynolds-Zahl Re_V ist als Kennzahl eingeführt worden, die bestimmt, ob eine voll ausgebildete turbulente Strömung vorliegt. Versuche haben gezeigt, dass bei $Re_V \geq 10\,000$ eine voll ausgebildete turbulente Strömung vorliegt. Die Stellventil-Reynolds-Zahl ist durch Gleichung (23) gegeben:

$$Re_V = \frac{N_4 F_d Q}{\nu \sqrt{C F_L}} \left(\frac{F_L^2 C^2}{N_2 d^4} + 1 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (23)$$

ANMERKUNG 1 Der Durchfluss in Gleichung (23) ist in Einheiten für den aktuellen Volumendurchfluss angegeben. Dies gilt sowohl für inkompressiblen als auch für kompressiblen Durchfluss.

ANMERKUNG 2 Die kinematische Viskosität ν sollte für die Durchflussbedingungen ermittelt werden.

Falls $Re_V < 10\,000$ ist, sollten die in Anhang A aufgeführten Gleichungen verwendet werden.

Die Stellventil-Reynolds-Zahl ist eine Funktion des Durchflusses und des Durchflusskoeffizienten des Stellventils. Aus diesem Grund ist es zur Lösung der Gleichungen für eine der beiden Variablen erforderlich, einen Lösungsweg zu finden, der den Einfluss jeder der angegebenen Variablen berücksichtigt.

ANMERKUNG 3 Die Abhängigkeit der Stellventil-Reynolds-Zahl sowohl vom Durchfluss als auch vom Durchflusskoeffizienten erfordert einer iterative Lösung.

Der Ventiltypfaktor F_d wandelt die Geometrie der Drosselöffnung(en) in eine äquivalente kreisförmige Drosselöffnung um. Siehe Tabelle D.2 für typische Werte von F_d und Anhang A für eine detaillierte Betrachtung. Wenn die zulässige Abweichung für F_d innerhalb von $\pm 5\%$ bleiben soll, muss der Faktor F_d durch Versuche nach IEC 60534-2-3 ermittelt werden.

ANMERKUNG 4 Gleichungen, die F_P enthalten, sind für die Ermittlung des Reynolds-Zahl-Faktors nicht anwendbar.