

Stellventile für die Prozessregelung
 Teil 2-1: Durchflusskapazität
 Bemessungsgleichungen für Fluide unter Einbaubedingungen
 (IEC 60534-2-1 : 1998) Deutsche Fassung EN 60534-2-1 : 1998

DIN
EN 60534-2-1

Diese Norm enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm **IEC 60534-2-1**

ICS 23.060.40

Industrial-process control valves – Part 2-1: Flow capacity – Sizing equations for fluid flow under installed conditions (IEC 60534-2-1 : 1998);
 German version EN 60534-2-1 : 1998

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 : 1998);
 Version allemande EN 60534-2-1 : 1998

Ersatz für
 DIN EN 60534-2-1 : 1995-01
 und
 DIN EN 60534-2-2 : 1995-01

Die Europäische Norm EN 60534-2-1 : 1998 hat den Status einer Deutschen Norm.

Beginn der Gültigkeit

Die EN 60534-2-1 wurde am 1998-10-01 angenommen.

Nationales Vorwort

Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium UK 961.3 „Stellgeräte für strömende Stoffe“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) zuständig.

Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN IEC 65B(Sec)212 : 1996-02.

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 in dieser Norm zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm
EN 60534-1 : 1993	IEC 60534-1 : 1987	DIN EN 60534-1 : 1995-01
EN 60534-2-3 : 1998	IEC 60534-2-3 : 1997	DIN EN 60534-2-3 : 1998-12

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60534-2-1 : 1995-01 und DIN EN 60534-2-2 : 1995-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Teil 2-1 und Teil 2-2 wurden zusammengefasst.
- Erweiterung der Berechnungsverfahren auf nichtturbulente Strömungsverhältnisse.
- A_v -Wert ist entfallen.

Fortsetzung Seite 2
 und 31 Seiten EN

Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)

Deutsche Fassung

Stellventile für die Prozessregelung
Teil 2-1: Durchflusskapazität
Bemessungsgleichungen für Fluide unter Einbaubedingungen
(IEC 60534-2-1 : 1998)

Industrial-process control valves – Part 2-1: Flow capacity –
Sizing equations for fluid flow under installed conditions
(IEC 60534-2-1 : 1998)

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 : 1998)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 1998-10-01 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, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR ELEKTROTECHNISCHE NORMUNG

European Committee for Electrotechnical Standardization

Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 65B/347/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 60534-2-1, ausgearbeitet von dem SC 65B „Devices“ des IEC TC 65 „Industrial-process measurement and control“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 1998-10-01 als EN 60534-2-1 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 60534-2-1:1993 und EN 60534-2-2:1993.

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): 1999-07-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2001-07-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norm-Inhalt.

Anhänge, die als „informativ“ bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.

In dieser Norm ist Anhang ZA normativ und sind die Anhänge A, B, C, D und E informativ.

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60534-2-1:1998 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite		Seite
Vorwort	2	Anhang B (informativ) Flussdiagramm für die Auslegung von Stellventilen	19
1 Anwendungsbereich	2	Anhang C (informativ) Physikalische Konstanten	23
2 Normative Verweisungen	2	Anhang D (informativ) Beispiele zur Auslegung von Stellventilen	24
3 Begriffe	2	Anhang E (informativ) Literaturhinweis	31
4 Einbaubedingungen	3	Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	31
5 Formelzeichen	3		
6 Bemessungsgleichungen für inkompressible Fluide ..	5		
7 Bemessungsgleichungen für kompressible Fluide ...	5		
8 Ermittlung der Korrekturfaktoren	6		
Anhang A (informativ) Ableitung des Stellventiltyps F_d	16		

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60534 enthält Gleichungen für die Bemessung von Stellventilen für kompressible und inkompressible Fluide in der industriellen Prozessregelung.

Die Gleichungen für inkompressiblen Durchfluss basieren auf hydrodynamischen Gleichungen für newtonsche, inkompressible Stoffe. Sie sind nicht vorgesehen für die Anwendung bei nicht-newtonschen Stoffen, Stoffgemische oder Stoffen mit flüssig-festen Anteilen.

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 Gase oder Dämpfe, jedoch nicht für Mehrphasenfluide wie Gas-Flüssigkeit, Dampf-Flüssigkeit oder Gas-Feststoff-Mischungen.

Für kompressible Durchflussanwendungen ist dieser Teil von IEC 60534 für Stellventile mit $x_T \leq 0,84$ gültig (siehe Tabelle 2). Für Stellventile mit $x_T > 0,84$ (z. B. bei Mehrstufenventilen) wird die Ungenauigkeit der Durchflussberechnung größer.

Angemessene Genauigkeit kann nur für Stellventile erreicht werden, wenn $K_v/d^2 < 0,04$ ($C_v/d^2 < 0,047$) ist.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Normen enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil dieses Teils der IEC 60534 sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung, und Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf diesem Teil der IEC 60534 basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im folgenden genannten Normen angewendet werden können. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

IEC 60534-1:1987

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 Teiles der IEC 60534 gelten die Begriffe aus IEC 60534-1 und zusätzlich der folgende:

3.1 Stellventiltypfaktor F_d

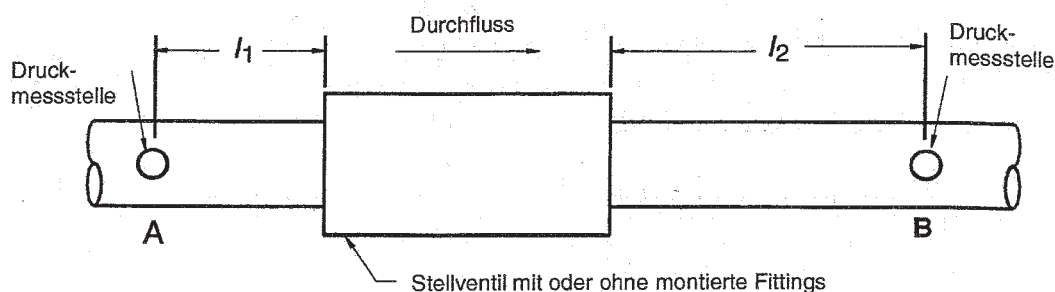
Verhältnis des hydraulischen Durchmessers einer einzelnen Durchflußöffnung zu dem kreisförmigen Blendendurchmesser, mit der Fläche, die gleich der Summe der Flächen aller gleichen Durchflußöffnungen bei einem bestimmten Hub sind. Der Stellventiltypfaktor F_d sollte vom Hersteller als eine Funktion des Hubes angegeben werden (siehe Anhang A).

4 Einbaubedingungen

Bei vielen industriellen Anwendungen werden Stellventile unter Verwendung von Reduzier- und Anpassungsstücken eingesetzt. Diese Anpassungsstücke beeinflussen die Nenn-

kapazität des Stellventils. Ein Korrekturfaktor wird für diesen Zweck eingeführt. Zusätzliche Faktoren werden eingeführt, um die Kenndaten hinsichtlich der Fluideigenschaft zu berücksichtigen, die die Durchflußkapazität des Stellventils beeinflussen.

Werden diese hier vorgeschlagenen Gleichungen bei der Bemessung von Stellventilen verwendet, so enthalten die berechneten Strömungskoeffizienten alle Druckverluste zwischen den Druckentnahmestellen A und B, deren Lage in Bild 1 dargestellt ist.



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

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

Bild 1: Referenzrohrleitungsabschnitt für die Berechnung

5 Formelzeichen

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
C	Durchflußkoeffizient (K_v , C_v)	Verschiedene (siehe IEC 60534-1) (siehe Anmerkung 4)
C_i	Angenommener Durchflußkoeffizient für Iterationsrechnung	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 des Stellventils	mm
D_2	Innendurchmesser der Rohrleitung auf der Ausgangsseite des Stellventils	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	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_Y	Normierungsfaktor für die spezifische Wärme	1
M	Molare Masse des strömenden Fluids	kg/kmol

Formel- zeichen	Bedeutung	Einheit
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	Differenzdruck zwischen den Eingangs- und Ausgangsdruckmessstellen $\Delta p = (p_1 - p_2)$	kPa oder bar
Q	Volumendurchfluss (siehe Anmerkung 5)	m ³ /h
Re_v	Stellventil-Reynolds-Zahl	1
T_1	Absolute Eintrittstemperatur	K
T_c	Absolute thermodynamische kritische Temperatur	K
T_r	Reduzierte Temperatur (T_1/T_c)	1
t_s	Absolute Referenztemperatur für Volumendurchfluss Q , bezogen auf Normbedingungen	K
W	Massendurchfluss	kg/h
x	Verhältnis des Differenzdruckes zum absoluten Eingangsdruck ($\Delta p/p_1$)	1
x_T	Differenzdruckverhältnis eines Stellventiles ohne zwischen-montiertes Anpassungsstück bei Durchflussbegrenzung	1 (siehe Anmerkung 4)
x_{TP}	Differenzdruckverhältnis eines Stellventiles mit zwischen-montierten Anpassungsstücken bei Durchflussbegrenzung	1 (siehe Anmerkung 4)
Y	Expansionsfaktor	1
Z	Realgasfaktor	1
ν	Kinematische Viskosität	m ² /s (siehe Anmerkung 3)
ρ_1	Fluid-Dichte 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
ξ	Druckverlustzahl einer Reduzierung, Erweiterung oder anderer am Stellventil montierter Anpassungsstücke	1
ξ_1	Druckverlustzahl des Anpassungsstückes im Einlauf	1
ξ_2	Druckverlustzahl des Anpassungsstückes im Auslauf	1
ξ_{B1}	Bernoullidruckziffer im Einlauf	1
ξ_{B2}	Bernoullidruckziffer im Auslauf	1

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

ANMERKUNG 2: 1 bar = 10² kPa = 10⁵ Pa.

ANMERKUNG 3: 1 cST = 10⁻⁶ m²/s.

ANMERKUNG 4: Diese Werte sind hubbezogen und sollten vom Hersteller angegeben werden.

ANMERKUNG 5: Für kompressible Medien: Volumendurchfluss in m³/h bezogen auf Normbedingungen, bezeichnet durch den Buchstaben Q . Die Normbedingungen sind 1 013,25 mbar und entweder 273 K oder 288 K (siehe Tabelle 1).

6 Bemessungsgleichungen für inkompressible Fluide

Die nachfolgend aufgeführten Gleichungen zeigen die Beziehungen zwischen dem Durchflusskoeffizienten, dem Durchfluss, den Einbaubedingungen und den sonstigen Bedingungen für Stellventile bei inkompressiblen Fluiden. Der Durchflusskoeffizient kann mit den nachfolgend angegebenen Gleichungen berechnet werden. Ein Ablaufdiagramm für die Berechnung von inkompressiblen Fluiden ist in Anhang B gegeben.

6.1 Turbulenter Durchfluss

Die Gleichung für den Durchfluss einer newtonschen Flüssigkeit durch ein Stellventil ohne Durchflussbegrenzung durch Verdampfung wird abgeleitet aus der grundlegenden Gleichung nach IEC 60534-1.

6.1.1 Turbulenter Durchfluss ohne Durchflussbegrenzung

6.1.1.1 Turbulenter Durchfluss ohne Durchflussbegrenzung, ohne Anpassungsstücke

[Anwendbar, wenn $\Delta p < F_L^2 (p_1 - F_F \cdot p_v)$]

Der Durchflusskoeffizient ist zu berechnen nach:

$$C = \frac{Q}{N_1 \sqrt{\frac{q_1/q_0}{\Delta p}}} \quad (1)$$

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: Ein Beispiel für die Bemessung eines Stellventils mit turbulentem Durchfluss ohne Durchflussbegrenzung, ohne Anpassungsstücke ist in Anhang D angegeben.

6.1.1.2 Turbulenter Durchfluss ohne Durchflussbegrenzung, mit Anpassungsstücken

[Anwendbar, wenn $\Delta p < [(F_{LP}/F_F)^2 (p_1 - F_F \cdot p_v)]$]

Der Durchflusskoeffizient ist wie folgt zu berechnen:

$$C = \frac{Q}{N_1 \cdot F_P \sqrt{\frac{q_1/q_0}{\Delta p}}} \quad (2)$$

ANMERKUNG: Siehe 8.1 zum Rohrleitungsgeometrie-Faktor F_P .

6.1.2 Turbulenter Durchfluss mit Durchflussbegrenzung

Der maximale Wert durch ein Stellventil bei begrenzten Durchflussbedingungen ist wie folgt zu berechnen:

6.1.2.1 Turbulenter Durchfluss mit Durchflussbegrenzung, ohne Anpassungsstücke

[Anwendbar, wenn $\Delta p \geq F_L^2 (p_1 - F_F \cdot p_v)$]

Der Durchflusskoeffizient ist wie folgt zu berechnen:

$$C = \frac{Q}{N_1 \cdot F_L \sqrt{p_1 - F_F \cdot p_v}} \quad (3)$$

ANMERKUNG: Ein Beispiel für die Bemessung eines Stellventils mit Durchflussbegrenzung, ohne Anpassungsstücke ist in Anhang D angegeben.

6.1.2.2 Turbulenter Durchfluss mit Durchflussbegrenzung, mit Anpassungsstücken

[Anwendbar, wenn $\Delta p \geq (F_{LP}/F_F)^2 (p_1 - F_F \cdot p_v)$]

Der Durchflusskoeffizient ist wie folgt zu berechnen:

$$C = \frac{Q}{N_1 \cdot F_{LP} \sqrt{p_1 - F_F \cdot p_v}} \quad (4)$$

6.2 Nicht turbulenter (laminarer oder transitionaler) Durchfluss

Die Gleichung für den Durchfluss einer newtonschen Flüssigkeit durch ein Stellventil, wenn dieses unter nicht turbulenten Durchflussbedingungen arbeitet, wird aus der in IEC 60534-1 angegebenen Grundgleichung ermittelt. Diese Gleichung ist anwendbar, wenn $Re_v < 10\,000$ (siehe Gleichung (28)) ist.

6.2.1 Nicht turbulenter Durchfluss ohne Anpassungsstücke

Der Durchflusskoeffizient ist wie folgt zu berechnen:

$$C = \frac{Q}{N_1 \cdot F_R \sqrt{\frac{q_1/q_0}{\Delta p}}} \quad (5)$$

6.2.2 Nichtturbulenter Durchfluss mit Anpassungsstücken

Für nichtturbulenten Durchfluss ist die Wirkung von direktgekuppelten Reduzierstücken oder von anderen durchfluss-hemmenden Anpassungsstücken nicht bekannt. Da keine Information über das laminare oder transitionale Durchflussverhalten von Stellventilen mit Anpassungsstücken bekannt ist, wird dem Anwender empfohlen, die Gleichungen für F_R -Faktor ohne Anpassungsstücke zu verwenden. Dies führt zu einem brauchbaren Ergebnis, da die zusätzlichen Turbulenzen, die durch die Anpassungsstücke erzeugt werden, den Beginn des laminaren Durchflusses verzögert. Deshalb wird dies zu einem höheren F_R -Wert führen für eine gegebene Stellventil-Reynolds-Zahl.

7 Bemessungsgleichungen für kompressible Fluide

Die nachfolgend aufgeführten Gleichungen zeigen die Beziehungen vom Durchflusskoeffizienten, dem Durchfluss, den bestehenden Einbaubedingungen und den sonstigen Bedingungen für Stellventile mit kompressiblen Fluiden. Der Durchfluss für kompressible Fluide kann entweder in Masse- oder Volumeneinheiten berechnet werden, und deshalb sind beide Gleichungen notwendig. Die Durchflusskoeffizienten können mit folgenden Gleichungen berechnet werden. Eine Berechnungsdarstellung für kompressible Fluide ist in Anhang B dargestellt.

7.1 Turbulenter Durchfluss

7.1.1 Turbulenter Durchfluss ohne Durchflussbegrenzung

7.1.1.1 Turbulenter Durchfluss ohne Durchflussbegrenzung, ohne Anpassungsstücke

[Anwendbar, wenn $x < F_y \cdot x_T$]

Der Durchflusskoeffizient wird nach einer der folgenden Gleichungen berechnet:

$$C = \frac{W}{N_6 \cdot Y \sqrt{x \cdot p_1 \cdot q_1}} \quad (6)$$

$$C = \frac{W}{N_6 \cdot p_1 \cdot Y \sqrt{\frac{T_1 \cdot Z}{x \cdot M}}} \quad (7)$$

$$C = \frac{Q}{N_9 \cdot p_1 \cdot Y \sqrt{\frac{M \cdot T_1 \cdot Z}{x}}} \quad (8)$$

ANMERKUNG 1: Über Einzelheiten zum Expansionsfaktor Y siehe 8.5.

ANMERKUNG 2: Zu Werten von M siehe Anhang C.

7.1.1.2 Turbulenter Durchfluss ohne Durchflussbegrenzung, mit Anpassungsstücken

[Anwendbar, wenn $x < F_Y \cdot x_{TP}$]

Der Durchflusskoeffizient wird nach einer der folgenden Gleichungen berechnet:

$$C = \frac{W}{N_8 \cdot F_P \cdot Y \sqrt{x \cdot p_1 \cdot Q_1}} \quad (9)$$

$$C = \frac{W}{N_8 \cdot F_P \cdot p_1 \cdot Y \sqrt{\frac{T_1 \cdot Z}{x \cdot M}}} \quad (10)$$

$$C = \frac{Q}{N_9 \cdot F_P \cdot p_1 \cdot Y \sqrt{\frac{M \cdot T_1 \cdot Z}{x}}} \quad (11)$$

ANMERKUNG 1: Über Rohrleitungsgeometrie-Faktor F_P , siehe 8.1.

ANMERKUNG 2: Ein Beispiel für die Bemessung eines Stellventils mit turbulentem Durchfluss ohne Durchflussbegrenzung, mit Anpassungsstücken ist in Anhang D genannt.

7.1.2 Turbulenter Durchfluss mit Durchflussbegrenzung

Der maximale Durchfluss an einem Stellventil bei Durchflussbegrenzung ist zu berechnen:

7.1.2.1 Turbulenter Durchfluss mit Durchflussbegrenzung, ohne Anpassungsstücke

[Anwendbar, wenn $x \geq F_Y \cdot x_{TP}$]

Der Durchflusskoeffizient ist nach einer der folgenden Gleichungen zu berechnen:

$$C = \frac{W}{0,667 \cdot N_8 \sqrt{F_Y \cdot x_{TP} \cdot p_1 \cdot Q_1}} \quad (12)$$

$$C = \frac{W}{0,667 \cdot N_8 \cdot p_1 \sqrt{\frac{T_1 \cdot Z}{F_Y \cdot x_{TP} \cdot M}}} \quad (13)$$

$$C = \frac{Q}{0,667 \cdot N_9 \cdot p_1 \sqrt{\frac{M \cdot T_1 \cdot Z}{F_Y \cdot x_{TP}}}} \quad (14)$$

7.1.2.2 Turbulenter Durchfluss mit Durchflussbegrenzung, mit Anpassungsstücken

[Anwendbar, wenn $x \geq F_Y \cdot x_{TP}$]

Der Durchflusskoeffizient ist zu berechnen mit:

$$C = \frac{W}{0,667 \cdot N_8 \cdot F_P \sqrt{F_Y \cdot x_{TP} \cdot p_1 \cdot Q_1}} \quad (15)$$

$$C = \frac{W}{0,667 \cdot N_8 \cdot F_P \cdot p_1 \sqrt{\frac{T_1 \cdot Z}{F_Y \cdot x_{TP} \cdot M}}} \quad (16)$$

$$C = \frac{Q}{0,667 \cdot N_9 \cdot F_P \cdot p_1 \sqrt{\frac{M \cdot T_1 \cdot Z}{F_Y \cdot x_{TP}}}} \quad (17)$$

7.2 Nichtturbulenter (laminarer und transitorischer) Durchfluss

Die Gleichungen für den Durchfluss eines newtonschen Gases durch ein Stellventil, wenn dieses unter nicht turbulenten Durchflussbedingungen arbeitet, werden aus der in IEC 60534-1 angegebenen Grundgleichung ermittelt. Diese Gleichungen sind anwendbar, wenn $Re_v < 10\,000$ (siehe Gleichung (28)) ist. In diesem Abschnitt wird die Dichte des Gases mit der nicht-isentropen Entspannung durch $(p_1 + p_2)/2$ korrigiert.

7.2.1 Nichtturbulenter Durchfluss ohne Anpassungsstücke

Der Durchflusskoeffizient ist nach einer der folgenden Gleichungen zu berechnen:

$$C = \frac{W}{N_{27} \cdot F_R \sqrt{\Delta p (p_1 + p_2) M}} \quad (18)$$

$$C = \frac{Q}{N_{22} \cdot F_R \sqrt{\Delta p (p_1 + p_2) M}} \quad (19)$$

ANMERKUNG: Ein Beispiel über die Bemessung eines Kleinstflussventils ist in Anhang D genannt.

7.2.2 Nichtturbulenter Durchfluss mit Anpassungsstücken

Für nichtturbulenter Durchfluss ist die Wirkung von direktgekoppelten Reduzierstücken oder von anderen durchflusshemmenden Anpassungsstücken nicht bekannt. Da keine Information über das laminare oder transitorische Durchflussverhalten von Stellventilen mit Anpassungsstücken bekannt ist, wird dem Anwender empfohlen, die Gleichungen für den F_R -Faktor ohne Anpassungsstücke zu verwenden. Dies führt zu einem brauchbaren Ergebnis, da die zusätzlichen Turbulenzen, die durch die Anpassungsstücke erzeugt werden, den Beginn des laminaren Durchflusses verzögern. Deshalb wird dies zu einem höheren F_R -Wert führen für eine gegebene Stellventil-Reynolds-Zahl.

8 Ermittlung der Korrekturfaktoren

8.1 Rohrleitungsgeometrie-Faktor F_P

Der Rohrleitungsgeometrie-Faktor F_P ist notwendig, um den Einfluss der Anpassungsstücke zu berücksichtigen, die unmittelbar am Eingang und/oder 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 geprüft würde, bei denen keine Durchflussbegrenzung in einer der beiden Anbauarten auftritt (siehe Bild 1). Wenn die Abweichung unter $\pm 5\%$ bleiben soll, muß der Faktor F_P durch die Prüfung nach IEC 60534-2-3 ermittelt werden.

Wenn Schätzwerte zulässig sind, muß folgende Gleichung verwendet werden:

$$F_P = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\sum \zeta (C_i)^2}{N_2 (d^2)}}} \quad (20)$$

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

$$\sum \zeta = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_{B1} - \zeta_{B2} \quad (21)$$

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

$$\zeta_B = 1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4 \quad (22)$$

Wenn die Eingangs- und Ausgangs-Anpassungsstücke kurze handelsübliche konzentrische Reduzierstücke sind, so dürfen die Druckverlustzahlen ζ_1 und ζ_2 näherungsweise wie folgt berechnet werden:

Reduzierung im Eingang allein:

$$\xi_1 = 0,5 \left[1 - \left(\frac{d}{D_1} \right)^2 \right]^2 \quad (23)$$

Erweiterung im Ausgang allein:

$$\xi_2 = 1,0 \left[1 - \left(\frac{d}{D_2} \right)^2 \right]^2 \quad (24)$$

Eingangsreduzierung und Ausgangserweiterung bei gleichem Innendurchmesser der Rohrleitung:

$$\xi_1 + \xi_2 = 1,5 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]^2 \quad (25)$$

Die F_P -Werte, die mit den angegebenen Druckverlustzahlen errechnet werden, führen allgemein zur Auswahl etwas größerer Stellventilkapazitäten als erforderlich. Diese Berechnung erfordert Iteration. Es wird der Durchflusskoeffizient C für turbulenten Durchfluss ohne Durchflussbegrenzung als Anfangswert benutzt.

ANMERKUNG: Für die Berechnung von F_P sind die Gleichungen für Durchflussbegrenzung nicht anwendbar.

Danach wird C_i wie folgt bestimmt:

$$C_i = 1,3 \cdot C \quad (26)$$

mit C_i von Gleichung (26) und F_P von Gleichung (20). Wenn Eingangs- und Ausgangsrohrleitungen die gleiche Nennweite haben, darf F_P anstelle einer Berechnung auch aus Bild 2 ermittelt werden, wenn

$$\frac{C}{F_P} \leq C_i \quad (27)$$

ist.

Wenn die Bedingung von Gleichung (27) erfüllt ist, wird C_i aus Gleichung (26) verwendet. Wenn Gleichung (27) nicht erfüllt ist, muß das obengenannte Vorgehen mit einer Vergrößerung von C_i um 30 % wiederholt werden. Dies erfordert einige Iterationen, bis die Bedingung in Gleichung (27) erfüllt ist. Eine Iteration, die für Computer besser anwendbar ist, wird in Anhang B vorgestellt.

Für graphische Näherungen von F_P siehe Bild 2a und Bild 2b.

8.2 Reynolds-Zahl-Faktor F_R

F_R , der Korrekturfaktor für den Einfluss der Stellventil-Reynolds-Zahl, ist bei nicht-turbulenter Strömung im Stellventil anzuwenden, wenn entweder niedriger Differenzdruck oder eine hochviskose Flüssigkeit oder ein sehr niedriger Durchflusskoeffizient oder eine Kombination davon vorliegt.

Der Faktor F_R wird ermittelt, indem der Durchflusskoeffizient für nicht-turbulente Durchflussbedingungen durch den Durchflusskoeffizienten, der unter gleichen Einbaubedingungen bei turbulenten Bedingungen ermittelt wurde, dividiert wird.

Versuche zeigen, daß F_R aus der Kurve nach Bild 3 ermittelt werden kann, indem eine Stellventil-Reynolds-Zahl verwendet wird, die aus der folgenden Gleichung errechnet wird:

$$Re_v = \frac{N_4 \cdot F_d \cdot Q \left(\frac{F_L^2 \cdot C_i^2}{N_2 \cdot D^4} + 1 \right)^{1/4}}{\nu \sqrt{C_i \cdot F_L}} \quad (28)$$

Diese Berechnung erfordert Iteration. Es ist so vorzugehen, daß der Durchflusskoeffizient C für turbulenten, nichtbegrenzten Durchfluss berechnet wird. Der Stellventiltypfaktor F_d berücksichtigt die Geometrie von der(den) Blende(n) zu einer entsprechenden ringförmigen Durchflussöffnung. In der Tabelle 2 sind typische Werte angegeben, und im Anhang A sind weitere Einzelheiten beschrieben. Um eine Abweichung

unter $\pm 5\%$ für F_d zu erhalten, muß der Faktor F_d in Versuchen nach IEC 60534-2-3 ermittelt werden.

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

Dann wird C_i nach Gleichung (26) ermittelt.

Verwendet wird C_i aus Gleichung (26) und dem Wert von F_R aus den Gleichungen (30) und (31) für nicht reduzierte Garnituren oder Gleichungen (32) und (33) für reduzierte Garnituren. In beiden Fällen wird der kleinere Wert von F_R verwendet und

$$\frac{C}{F_R} \leq C_i \quad (29)$$

ermittelt.

Wenn die Bedingung von Gleichung (29) erfüllt ist, wird C_i von Gleichung (26) verwendet. Wenn die Bedingung von Gleichung (29) nicht erfüllt ist, dann muß das oben beschriebene Vorgehen mit um 30 % vergrößertem C_i wiederholt werden. Dies kann einige Iterationen erforderlich machen, bis die Bedingung von Gleichung (29) erfüllt ist.

Für nicht reduzierte Garnituren mit $\frac{C_i}{d^2} \geq 0,016 N_{18}$ und für $Re_v \geq 10$ wird F_R ermittelt nach:

$$F_R = 1 + \left(\frac{0,33 \cdot F_L^{1/2}}{n_1^{1/4}} \right) \log_{10} \left(\frac{Re_v}{10000} \right) \quad (30)$$

für das transitionale Gebiet mit

$$n_1 = \frac{N_2}{\left(\frac{C_i}{d^2} \right)^2} \quad (30a)$$

oder

$$F_R = \frac{0,026}{F_L} \cdot \sqrt{n_1 \cdot Re_v} \quad (F_R = 1) \quad (31)$$

für das laminare Gebiet.

ANMERKUNG 1: Gerechnet wird mit dem kleineren Wert von F_R aus den Gleichungen (30) und (31). Wenn $Re_v < 10$, wird nur Gleichung (31) verwendet.

ANMERKUNG 2: Gleichung (31) ist anwendbar für laminaren Durchfluss (gerader Anteil der Linien in Bild 3). Die Werte in den Gleichungen (30) und (31) wurden aus Versuchen mit Stellventilen bei Nennhub ermittelt und stimmen eventuell nicht bei kleineren Ventilhuben.

ANMERKUNG 3: In den Gleichungen (30a) und (31) darf $\frac{C_i}{d^2}$ nicht größer als 0,04 bei K_v oder 0,047 bei C_v werden.

Für reduzierte Garnituren, wenn $\frac{C_i}{d^2}$ beim Nennhub kleiner

als 0,016 N_{18} und $Re_v \geq 10$ ist, wird F_R mit folgenden Gleichungen berechnet:

$$F_R = 1 + \left(\frac{0,33 \cdot F_L^{1/2}}{n_2^{1/4}} \right) \log_{10} \left(\frac{Re_v}{10000} \right) \quad (32)$$

für das transitionale Gebiet

$$n_2 = 1 + N_{33} \left(\frac{C_i}{d^2} \right)^{1/2} \quad (32a)$$

oder

$$F_R = \frac{0,026}{F_L} \cdot \sqrt{n_2 \cdot Re_v} \quad (F_R = 1) \quad (33)$$

für die laminare Strömung.

ANMERKUNG 1: Es wird der kleinste Wert von den Gleichungen (32) und (33) gewählt. Wenn $Re_v < 10$, wird Gleichung (33) angewendet.

ANMERKUNG 2: Gleichung (33) wird angewendet bei laminarem Durchfluss (gerader Anteil der Linien in Bild 3).

8.3 Faktoren für den Druckrückgewinn bei Flüssigkeiten F_L oder F_{LP}

8.3.1 Faktor für den Druckrückgewinn bei Flüssigkeiten ohne Anpassungsstück F_L

F_L ist der Faktor für den Druckrückgewinn bei Flüssigkeiten bei einem Stellventil ohne Anpassungsstücke. Der Faktor F_L berücksichtigt den Einfluss der inneren Stellventilgeometrie auf die Stellventilkapazität bei Durchflussbegrenzung. Er ist definiert als das Verhältnis des tatsächlichen maximalen Durchflusses bei Durchflussbegrenzung zu einem theoretischen Durchfluss ohne Durchflussbegrenzung, wenn der für die Berechnung verwendete Differenzdruck die Differenz zwischen dem Eingangsdruck und dem Druck in der „vena-contracta“ bei Durchflussbegrenzung wäre. Der Faktor F_L darf durch Versuche nach IEC 60534-2-3 ermittelt werden. Typische Werte von F_L als Funktion von Prozent des Bemessungskoeffizienten sind in Bild 4 dargestellt.

8.3.2 Kombinierte Faktor F_{LP} für den Druckrückgewinn und die Rohrleitungsgeometrie mit Anpassungsstücken bei Flüssigkeiten

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

Wenn die zulässige Abweichung unter $\pm 5\%$ bleiben soll, muß F_{LP} durch Versuche ermittelt werden. Sind Schätzwerte zulässig, so muß folgende Gleichung verwendet werden:

$$F_{LP} = \frac{F_L}{\sqrt{1 + \frac{F_L^2}{N_2} \cdot (\Sigma \xi_1) \cdot \left(\frac{C}{d^2}\right)^2}} \quad (34)$$

Hierin ist $\Sigma \xi_1 = \xi_1 + \xi_{B1}$ die effektive Druckverlustzahl für das Anpassungsstück vor dem Stellventil, ermittelt zwischen dem Vordruckmessstutzen in der Rohrleitung und dem Eingang des Stellventils.

8.4 Faktor für das kritische Druckverhältnis bei der Verdampfung von Flüssigkeiten F_F

F_F ist das kritische Druckverhältnis für Flüssigkeiten. Der Faktor F_F ist das Verhältnis des „vena-contracta“-Druckes 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 dürfen aus der Kurve nach Bild 5 ermittelt werden oder aus der folgenden Näherungsgleichung:

$$F_F = 0,96 - 0,28 \sqrt{\frac{p_v}{p_c}} \quad (35)$$

8.5 Expansionsfaktor Y

Der Expansionsfaktor Y berücksichtigt die Änderung der Dichte des Fluids vom Stellventileintritt zur vena-contracta (des engsten Strömungsquerschnittes und der größten Geschwindigkeit hinter dem Drosselquerschnitt des Stellventils). Er berücksichtigt auch die Veränderungen in der vena-contracta, wenn der Differenzdruck sich ändert.

Theoretisch wird der Expansionsfaktor Y durch folgende Größen beeinflusst:

- Verhältnis von Sitzfläche zu Eintrittsfläche des Stellventilgehäuses;

- Form des Strömungskanals;
- Differenzdruckverhältnis x ;
- Stellventil-Reynolds-Zahl;
- 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 wird, die in 8.6.1 beschrieben werden.

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

Das Verhältnis der spezifischen Wärmen des Fluids beeinflusst das Differenzdruckverhältnis x_T .

Der Expansionsfaktor Y darf unter Verwendung von Gleichung (36)

$$Y = 1 - \frac{x}{3 \cdot F_Y \cdot x_T} \quad (36)$$

berechnet werden.

In dieser Gleichung darf der für x eingesetzte Wert das Produkt von F_Y und x_T nicht überschreiten. Wenn $x > F_Y \cdot x_T$ ist der Durchfluss begrenzt und $Y = 0,667$. Siehe dazu 8.6 und 8.7 zur Erklärung für x , x_T und F_Y .

8.6 Differenzdruckverhältnis x_T oder x_{TP}

8.6.1 Differenzdruckverhältnis ohne Reduzierstücke oder andere Anpassungsstücke x_T

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 Durchflussgrenzwert wird erreicht, wenn das Verhältnis x den Wert $F_Y \cdot x_T$ erreicht. Der Grenzwert von x ist definiert als das kritische Verhältnis des Differenzdruckes zum absoluten Eingangsdruck. Der Wert von x , der in jeder der Berechnungsgleichungen und in der Gleichung (36) für den Expansionsfaktor Y verwendet wird, muß auf diesem Grenzwert gehalten werden, auch wenn das tatsächliche Differenzdruckverhältnis größer ist. Somit kann der numerische Wert des Expansionsfaktors Y von 0,667 für $x = F_Y \cdot x_T$ bis 1,0 für sehr niedrige Differenzdrücke reichen.

Der Wert x_T darf durch einen Versuch mit Luft ermittelt werden. Der Versuchsablauf dafür ist nicht in diesem Abschnitt behandelt, sondern in IEC 60534-2-3.

ANMERKUNG: Richtwerte von x_T für verschiedene Typen von Stellventilen mit größtem Sitz-Durchmesser und bei voller Öffnung werden in Tabelle 2 angegeben, sollten jedoch mit gebotener Vorsicht verwendet werden. Sind genaue Werte verlangt, so müssen sie durch Versuche ermittelt werden.

8.6.2 Differenzdruckverhältnis mit Reduzierstücken oder anderen Anpassungsstücken x_{TP}

Wenn ein Stellventil mit Reduzierstücken oder anderen Anpassungsstücken eingebaut ist, so wird der Wert von x_T beeinflusst.

Wenn die Abweichungen von x_{TP} unter $\pm 5\%$ bleiben sollen, muß das Stellventil mit den eingebauten Anpassungsstücken als Einheit untersucht werden. Wenn geschätzte Werte zulässig sind, so muß folgende Gleichung verwendet werden:

$$x_{TP} = \frac{x_T}{F_p^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{x_T \cdot \zeta_1}{N_5} \left(\frac{C_1}{d^2} \right)^2} \quad (37)$$

ANMERKUNG: Werte für N_5 sind in Tabelle 1 aufgeführt.

In dieser Beziehung ist x_T das Differenzdruckverhältnis für ein Stellventil, das ohne Reduzierstücke oder andere Anpassungsstücke eingebaut ist. ζ_1 ist die effektive Druckverlustzahl ($\zeta_1 + \zeta_{B1}$) 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 unter Verwendung von Gleichung (23) geschätzt werden.

8.7 Normierungsfaktor F_γ

Das Differenzdruckverhältnis x_T basiert auf Luft mit einem Druck nahe dem Atmosphärendruck als strömendes Fluid mit einem Normierungsfaktor von 1,40. Wenn dieser Faktor für das strömende Fluid nicht 1,40 ist, so wird der Faktor F_γ zur Anpassung von x_T verwendet. Der Normierungsfaktor wird berechnet mit:

$$F_\gamma = \frac{\gamma}{1,40} \quad (38)$$

ANMERKUNG: Anhang C enthält Werte für γ und F_γ .

8.8 Realgasfaktor Z

Mehrere Bemessungsgleichungen enthalten keinen Ausdruck für die tatsächliche Dichte des Stoffes bei den Bedingungen vor dem Stellventil. Statt dessen ist die Dichte abgeleitet von Eintrittsdruck und Eintrittstemperatur, basierend auf den Gesetzen für ideale Gase. Unter einigen Bedingungen kann das Realgas-Verhalten deutlich von dem der idealen Gase 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 geeigneten Büchern entnommen werden). Zum Gebrauch in diesem Abschnitt ist der reduzierte Druck p_r definiert als das Verhältnis des tatsächlichen absoluten Vordruckes zum absoluten kritischen thermodynamischen Druck des betreffenden Stoffes. Die reduzierte Temperatur T_r ist ähnlich definiert.

Somit gilt:

$$p_r = \frac{p_1}{p_c} \quad (39)$$

$$T_r = \frac{T_1}{T_c} \quad (40)$$

ANMERKUNG: Werte für p_c und T_c sind in Anhang C enthalten.

Tabelle 1: Numerische Konstanten N

Konstante	Durchflusskoeffizient C		Einheiten						
	K_v	C_v	W	Q	$p, \Delta p$	ρ	T	d, D	ν
N_1	1×10^{-1} 1	$8,65 \times 10^{-2}$ $8,65 \times 10^{-1}$	— —	m^3/h m^3/h	kPa bar	kg/m^3 kg/m^3	— —	— —	— —
N_2	$1,60 \times 10^{-3}$	$2,14 \times 10^{-3}$	—	—	—	—	—	mm	—
N_4	$7,07 \times 10^{-2}$	$7,60 \times 10^{-2}$	—	m^3/h	—	—	—	—	m^2/s
N_5	$1,80 \times 10^{-3}$	$2,41 \times 10^{-3}$	—	—	—	—	—	mm	—
N_6	3,16 $3,16 \times 10^1$	2,73 $2,73 \times 10^1$	kg/h kg/h	— —	kPa bar	kg/m^3 kg/m^3	— —	— —	— —
N_8	1,10 $1,10 \times 10^2$	$9,48 \times 10^{-1}$ $9,48 \times 10^1$	kg/h kg/h	— —	kPa bar	— —	K K	— —	— —
N_9 ($t_s = 0^\circ C$)	$2,46 \times 10^1$ $2,46 \times 10^3$	$2,12 \times 10^1$ $2,12 \times 10^3$	— —	m^3/h m^3/h	kPa bar	— —	K K	— —	— —
N_9 ($t_s = 15^\circ C$)	$2,60 \times 10^1$ $2,60 \times 10^3$	$2,25 \times 10^1$ $2,25 \times 10^3$	— —	m^3/h m^3/h	kPa bar	— —	K K	— —	— —
N_{17}	$1,05 \times 10^{-3}$	$1,21 \times 10^{-3}$	—	—	—	—	—	mm	—
N_{18}	$8,65 \times 10^{-1}$	1,00	—	—	—	—	—	mm	—
N_{19}	2,5	2,3	—	—	—	—	—	mm	—
N_{22} ($t_s = 0^\circ C$)	$1,73 \times 10^1$ $1,73 \times 10^3$	$1,50 \times 10^1$ $1,50 \times 10^3$	— —	m^3/h m^3/h	kPa bar	— —	K K	— —	— —
N_{22} ($t_s = 15^\circ C$)	$1,84 \times 10^1$ $1,84 \times 10^3$	$1,59 \times 10^1$ $1,59 \times 10^3$	— —	m^3/h m^3/h	kPa bar	— —	K K	— —	— —
$N_{27}^{N1)}$	$7,75 \times 10^{-1}$ $7,75 \times 10^{-1}$	$6,70 \times 10^{-1}$ $6,70 \times 10^{-1}$	kg/h kg/h	— —	kPa bar	— —	K K	— —	— —
N_{33}	$6,00 \times 10^1$	$5,58 \times 10^1$	—	—	—	—	—	mm	—

ANMERKUNG: Die Verwendung der numerischen Konstanten in dieser Tabelle mit den in der Tabelle angegebenen metrischen Einheiten ergibt Durchflußkoeffizienten in den Einheiten, in welchen sie ursprünglich festgelegt sind.

^{N1)} Nationale Fußnote: Bei N_{27} befindet sich in IEC 60534-2-1:1998 an dieser Stelle ein Schreibfehler. Für den Durchflusskoeffizienten C müssen die Werte in Spalte 2 bzw. Spalte 3 in der 2. Zeile wie folgt richtiggestellt werden:

$$7,75 \times 10^1 \text{ bzw. } 6,70 \times 10^1 \text{ für } W \text{ in kg/h und } p, \Delta p \text{ in bar.}$$

Eine Richtiggstellung bei der IEC wird beantragt.