

**DIN EN 60534-8-3**

ICS 17.140.20; 23.060.40

Ersatz für  
DIN EN 60534-8-3:2001-12  
Siehe Anwendungsbeginn

**Stellventile für die Prozessregelung –  
Teil 8-3: Geräuschbetrachtungen –  
Berechnungsverfahren zur Vorhersage der aerodynamischen Geräusche  
von Stellventilen  
(IEC 60534-8-3:2010);  
Deutsche Fassung EN 60534-8-3:2011**

Industrial-process control valves –  
Part 8-3: Noise considerations –  
Control valve aerodynamic noise prediction method  
(IEC 60534-8-3:2010);  
German version EN 60534-8-3:2011

Vannes de régulation des processus industriels –  
Partie 8-3: Considérations sur le bruit –  
Méthode de prédiction du bruit aérodynamique des vannes de régulation  
(CEI 60534-8-3:2010);  
Version allemande EN 60534-8-3:2011

Gesamtumfang 53 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

## **Anwendungsbeginn**

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2011-01-01 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2011-10-01.

Daneben darf DIN EN 60534-8-3:2001-12 noch bis 2014-01-01 angewendet werden.

## **Nationales Vorwort**

*Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 60534-8-3:2008-08.*

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](http://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 60534-8-3:2001-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Bezüge und Verweisungen im Text wurden aktualisiert.
- b) Die normativen Verweisungen wurden auf den aktuellen Stand gebracht.
- c) Einzelne Angaben und Anweisungen wurden präzisiert.
- d) Abschnitt 8 „Ventile mit experimentell bestimmten Faktoren für den akustischen Wirkungsgrad“ wurde überarbeitet und präzisiert.

## **Frühere Ausgaben**

DIN EN 60534-8-3: 1996-10, 2001-12

Deutsche Fassung

Stellventile für die Prozessregelung –  
Teil 8-3: Geräuschbetrachtungen –  
Berechnungsverfahren zur Vorhersage der aerodynamischen  
Geräusche von Stellventilen  
(IEC 60534-8-3:2010)

Industrial-process control valves –  
Part 8-3: Noise considerations –  
Control valve aerodynamic noise prediction  
method  
(IEC 60534-8-3:2010)

Vannes de régulation des processus  
industriels –  
Partie 8-3: Considérations sur le bruit –  
Méthode de prédiction du bruit aérodynamique  
des vannes de régulation  
(CEI 60534-8-3:2010)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2011-01-01 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, 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 60534-8-3:2011 D

## **Vorwort**

Der Text des Schriftstücks 65B/765/FDIS, zukünftige 3. Ausgabe von IEC 60534-8-3, 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 2011-01-01 als EN 60534-8-3 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 60534-8-3:2000.

Die wesentlichen technischen Änderungen hinsichtlich EN 60534-8-3:2000 sind die folgenden:

- Prädiktion des Geräuschpegels als eine Funktion der Frequenz;
- Bestimmung des akustischen Wirkungsgrads unter der Verwendung von Labordaten.

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): 2011-10-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2014-01-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

## **Anerkennungsnotiz**

Der Text der Internationalen Norm IEC 60534-8-3:2010 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

[1] IEC 60534-2-1 ANMERKUNG Harmonisiert als EN 60534-2-1.

[2] IEC 60534-8-1 ANMERKUNG Harmonisiert als EN 60534-8-1.

# Inhalt

|                                                                                                                                          | Seite |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Vorwort .....                                                                                                                            | 2     |
| Einleitung .....                                                                                                                         | 5     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                                                                                | 6     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                                                           | 6     |
| 3 Begriffe .....                                                                                                                         | 7     |
| 4 Formelzeichen .....                                                                                                                    | 8     |
| 5 Ventile mit Standardgarnitur .....                                                                                                     | 12    |
| 5.1 Drücke und Druckverhältnisse .....                                                                                                   | 12    |
| 5.2 Bereichsdefinition .....                                                                                                             | 13    |
| 5.3 Vorberechnungen .....                                                                                                                | 14    |
| 5.3.1 Stellventiltypfaktor $F_d$ .....                                                                                                   | 14    |
| 5.3.2 Strahldurchmesser $D_j$ .....                                                                                                      | 14    |
| 5.3.3 Dichte des Fluids $\rho_1$ .....                                                                                                   | 15    |
| 5.4 Berechnungen für den Innenschall .....                                                                                               | 16    |
| 5.4.1 Gemeinsame Berechnungen für alle Bereiche .....                                                                                    | 16    |
| 5.4.2 Bereichsabhängige Berechnungen .....                                                                                               | 16    |
| 5.4.3 Berechnungen für den Ventilaustritt .....                                                                                          | 18    |
| 5.4.4 Berechnung des internen Schalldrucks an der Rohrwandung .....                                                                      | 19    |
| 5.5 Berechnung des Rohr-Schalldämmmaßes .....                                                                                            | 20    |
| 5.6 Berechnung des externen Schalldrucks .....                                                                                           | 21    |
| 5.7 Ablaufdiagramm für die Berechnung .....                                                                                              | 22    |
| 6 Ventile mit spezieller Garniturkonstruktion .....                                                                                      | 22    |
| 6.1 Allgemeines .....                                                                                                                    | 22    |
| 6.2 Einstufen-Mehrkanal-Garnitur .....                                                                                                   | 22    |
| 6.3 Einkanal-Mehrstufen-Druckreduziergarnitur (zwei oder mehr Drosselschritte) .....                                                     | 24    |
| 6.4 Mehrkanal-Mehrstufen-Garnitur (zwei oder mehr Kanäle und zwei oder mehr Stufen) .....                                                | 25    |
| 7 Ventile mit höherer Machzahl im Ausgang .....                                                                                          | 27    |
| 7.1 Allgemeines .....                                                                                                                    | 27    |
| 7.2 Berechnungsverfahren .....                                                                                                           | 27    |
| 8 Ventile mit experimentell bestimmten Faktoren für den akustischen Wirkungsgrad .....                                                   | 28    |
| 9 Kombinierte Geräuschentwicklung eines Stellventils mit zwei oder mehr Drosselstufen mit konstantem Querschnitt im Ventilaustritt ..... | 29    |
| Anhang A (informativ) Berechnungsbeispiele .....                                                                                         | 31    |
| A.1 Allgemeines .....                                                                                                                    | 31    |
| A.2 Berechnungsbeispiele 1 bis 6 .....                                                                                                   | 31    |
| A.3 Berechnungsbeispiel 7 .....                                                                                                          | 42    |
| Literaturhinweise .....                                                                                                                  | 49    |

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren<br>entsprechenden europäischen Publikationen ..... | 51 |
| Bild 1 – Einstufen-Mehrkanal-Garnitur .....                                                                                               | 23 |
| Bild 2 – Einkanal-Mehrstufen-Druckreduziergarnitur .....                                                                                  | 24 |
| Bild 3 – Mehrkanal-Mehrstufen-Garnitur (zwei oder mehr Kanäle und zwei oder mehr Stufen).....                                             | 26 |
| Bild 4 – Regelventil mit zwei im Austritt angebrachten Drosselstufen mit konstantem Querschnitt .....                                     | 30 |
| Tabelle 1 – Zahlenkonstanten $N$ .....                                                                                                    | 15 |
| Tabelle 2 – Typische Werte des Stellventiltypfaktors $F_d$ (bei größtem Sitzdurchmesser) .....                                            | 15 |
| Tabelle 3 – Überblick über die bereichsabhängigen Gleichungen .....                                                                       | 17 |
| Tabelle 4 – Typische Werte für $A_\eta$ und $S_{t_p}$ .....                                                                               | 18 |
| Tabelle 5 – Indizierte Frequenzbänder .....                                                                                               | 19 |
| Tabelle 6 – Frequenzfaktoren $G_x(f)$ und $G_y(f)$ .....                                                                                  | 21 |
| Tabelle 7 – Frequenzabhängiger Korrekturfaktor der A-Bewertung bei der Frequenz $f_i$ .....                                               | 21 |
| Tabelle A.1 – Berechnungsbeispiele 1 bis 6 .....                                                                                          | 32 |
| Tabelle A.2 – Berechnungen: Beispiel 7 .....                                                                                              | 43 |

## Einleitung

Die mechanische Strömungsleistung sowie die akustischen Wirkungsgrade werden für die unterschiedlichen Strömungsbereiche berechnet. Diese akustischen Wirkungsgrade geben den Anteil der mechanischen Strömungsleistung an, die in interne Schallleistung umgewandelt wird.

Das Verfahren ist auch für die Berechnung des internen Schalldruckes und der Spitzenfrequenz für den genannten Schalldruck vorgesehen, was bei der Berechnung des Schalldämmmaßes von Rohren von spezieller Bedeutung ist.

Zurzeit fordern Ventilanwender die Angabe des Schalldruckpegels außerhalb des Rohres, üblicherweise 1 m hinter dem Ventil und 1 m von der Rohrwandung entfernt. Diese Norm enthält ein Verfahren, mit dem der geforderte Wert bestimmt werden kann.

Die Gleichungen in der vorliegenden Norm verwenden Ventilbemessungsfaktoren, so wie sie in IEC 60534-1 und IEC 60534-2-1 benutzt werden.

Bei einem üblichen Stellventil dringen wenige Geräusche durch die Ventilwandung. Die interessierenden Geräusche sind lediglich die, die sich hinter dem Ventil und im Rohrrinnern fortsetzen und durch die Wandung des Rohres dringen und die im Allgemeinen im Abstand von 1 m nach dem Ventilkörper und in einem Abstand von 1 m von der äußeren Rohrwandung zu messen sind.

Sekundäre Geräuschquellen können entstehen, wenn das Gas den Ventilausgang mit höheren Machzahlen verlässt. Dieses Verfahren erlaubt die Abschätzung dieser zusätzlichen Geräuschpegel, die logarithmisch zu den innerhalb des Ventils erzeugten Geräuschpegeln addiert werden können.

Obwohl das Vorhersageverfahren nicht die wirklichen Ergebnisse am Einbauort sicherstellen kann, liefert es Berechnungsvorhersagen innerhalb von 5 dB(A) für die Mehrzahl der Geräuschdaten aus Versuchen unter Laborbedingungen (Verweisung auf IEC 60534-8-1). Die vorliegende Ausgabe der Norm liefert eine bessere Berechnungsgenauigkeit. Unter bestimmten Bedingungen waren die Berechnungsergebnisse der früheren Ausgaben mehr konservativ.

Die Gesamtheit der für die Validierung des Verfahrens verwendeten Prüfdaten stammte von Luft mit mittleren Drücken und Temperaturen; es wird jedoch angenommen, dass das Verfahren im Allgemeinen auch für andere Gase und Dämpfe und für höhere Drücke anwendbar ist. Die Unsicherheiten werden jedoch größer, da sich das Fluid bei extremen Temperaturen und bei Drücken an der Auslassseite, die stark vom Atmosphärendruck abweichen, oder in der Nähe des kritischen Punktes weniger ideal verhält. Die Gleichungen enthalten Ausdrücke, die die Dichte der Fluide und das Verhältnis der spezifischen Wärme berücksichtigen.

**ANMERKUNG** Laborversuche mit Luft, die mit einem Druck an der Einströmseite bis zu 1 830 kPa (18,3 bar) und an der Auslassseite bis zu 1 600 kPa (16,0 bar) durchgeführt wurden, und Laborversuche mit Dampf bis zu einer Temperatur von 225 °C zeigen eine gute Übereinstimmung mit den berechneten Werten.

Die genaue Analyse der Gleichungen für das Schalldämmmaß geht über den Anwendungsbereich dieser Norm hinaus. Das Verfahren berücksichtigt die Wechselwirkung zwischen den im Rohr (Fluid) auftretenden Schallwellen und der ersten Koinzidenzfrequenz in der Rohrwandung. Außerdem schränken die großen Toleranzen der Dicke der Rohrwandung, die in handelsüblichen Rohren zugelassen sind, den Wert der sehr komplizierten mathematischen Näherung, die für eine konsequente Analyse erforderlich ist, sehr stark ein, weshalb ein vereinfachtes Verfahren angewendet wird.

In Anhang A sind Berechnungsbeispiele angegeben.

Dieses Verfahren beruht auf den in Abschnitt 2 aufgeführten IEC-Normen und den Verweisungen, die in den Literaturhinweisen gegeben sind.

## 1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60534 enthält ein theoretisches Verfahren zur Vorhersage des externen Schalldruckpegels, der beim Durchfluss komprimierbarer Fluide in einem Stellventil und innerhalb angeschlossener Rohr-Erweiterungsstücke erzeugt wird.

Das Verfahren betrachtet nur einphasige trockene Gase und Dämpfe und beruht auf den idealen Gasgesetzen.

Diese Norm bezieht sich nur auf die Geräusche, die von aerodynamischen Prozessen in Ventilen und der damit in Verbindung stehenden Rohrleitung erzeugt werden. Sie berücksichtigt keine Geräusche, die von Reflexionen, mechanischen Schwingungen, instabilen Strömungsfeldern und anderen, nicht vorhersagbaren Verhaltensweisen herrühren.

Es wird angenommen, dass die Ausgangsrohrleitung auf einer Länge von mindestens 2 m von dem Punkt an dem die Geräuschemessung stattfindet, gerade verläuft.

Das Verfahren gilt nur für Stahl- und Edelstahlrohre (siehe Gleichungen (21) und (23) in 5.5).

Das Verfahren gilt für die folgenden Einstufenventile: Regelventile (Durchgangs- und Eckventile), Drosselklappen, Drehkegelventile (mit exzentrischem Kugelsegment als Drosselkörper), Kugelhähne und Ventile mit käfiggeführtem Drosselkörper. Ausdrücklich ausgenommen sind Kugelhähne mit vollem Durchgang, bei denen das Produkt  $F_p C$  50 % des Bemessungsdurchlasskoeffizienten übersteigt.

Zu Gültigkeitsgrenzen für speziell geräuscharme Garnituren, die nicht von dieser Norm erfasst werden, siehe Abschnitt 8. Wenn die Machzahl im Ventilausgang bei Standardgarnituren 0,3 oder bei geräuscharmen Garnituren 0,2 überschreitet, wird das Verfahren nach Abschnitt 7 angewendet.

Die Machzahlgrenzen in dieser Norm sind folgende:

| Ort, an dem die Machzahl auftritt                 | Machzahlgrenze                  |                                               |                                                  |
|---------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                                                   | Abschnitt 5<br>Standardgarnitur | Abschnitt 6<br>Geräusch mindernde<br>Garnitur | Abschnitt 7<br>Anwendungen mit<br>hoher Machzahl |
| Frei entspannter Strahl $M_j$                     | Keine Grenze                    | Keine Grenze                                  | Keine Grenze                                     |
| Ventilausgang $M_o$                               | 0,3                             | 0,2                                           | 1,0                                              |
| Eingang des ausgangsseitigen Reduzierstücks $M_r$ | Nicht anwendbar                 | Nicht anwendbar                               | 1,0                                              |
| Ventilausgangsrohrleitung $M_2$                   | 0,3                             | 0,2                                           | 0,8                                              |

## 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 (alle Teile), *Industrial-process control valves*

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

### 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach der Normenreihe IEC 60534 und die folgenden Begriffe.

#### 3.1

##### **akustischer Wirkungsgrad**

$\eta$

Verhältnis der zu Schall umgewandelten Strömungsleistung zur Strömungsleistung des Massendurchflusses

#### 3.2

##### **externe Koinzidenzfrequenz**

$f_g$

Frequenz, bei der die externe akustische Wellengeschwindigkeit gleich der Biegewellengeschwindigkeit in einer Platte von der gleichen Stärke der Rohrwand ist

#### 3.3

##### **interne Koinzidenzfrequenz**

$f_o$

tiefste Frequenz, bei der die akustische und die strukturelle axiale Wellenzahl für eine vorgegebene Umfangsschwingungsart gleich sind, woraus ein Minimum des Schalldämmmaßes resultiert

#### 3.4

##### **Drosselklappe mit geriffelter Klappenscheibe**

Drosselklappen mit Riffelungen (Rillen) auf der (den) Fläche(n) der Scheibe. Diese Riffelungen dienen dazu, dass der Durchflussstrom so geführt wird, dass die Dichtkante oder Sitzoberfläche nicht beschädigt wird.

#### 3.5

##### **unabhängiger Durchflusskanal**

Durchflusskanal, wo der Durchfluss nicht von dem Durchfluss aus benachbarten Durchflusskanälen beeinflusst wird

#### 3.6

##### **Spitzenfrequenz**

$f_p$

Frequenz, bei der der interne Schalldruck seinen Höchstwert erreicht

#### 3.7

##### **Stellventiltypfaktor**

$F_d$

Verhältnis von hydraulischem Durchmesser eines einzelnen Durchflusskanals zum Durchmesser einer kreisförmigen Blendenöffnung, deren Fläche äquivalent zur Summe der Flächen aller identischen Durchflusskanäle bei einem vorgegebenen Hub ist

## 4 Formelzeichen

| Formelzeichen | Beschreibung                                                                                                                                    | Einheit                             |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| $A$           | Fläche eines einzelnen Durchflusskanals                                                                                                         | $\text{m}^2$                        |
| $A_\eta$      | Ventil-Korrekturfaktor für den akustischen Wirkungsgrad (siehe Tabelle 4)                                                                       | dimensionslos                       |
| $A_n$         | Gesamtdurchflussfläche der letzten Stufe einer Mehrstufengarnitur mit $n$ Stufen bei vorgegebenem Hub                                           | $\text{m}^2$                        |
| $C$           | Durchflusskoeffizient ( $K_V$ und $C_V$ )                                                                                                       | verschiedene<br>(siehe IEC 60534-1) |
| $c_a$         | Externe Schallgeschwindigkeit (Luft unter Standardbedingungen = 343 m/s)                                                                        | m/s                                 |
| $C_n$         | Durchflusskoeffizient für die letzte Stufe einer Mehrstufengarnitur mit $n$ Stufen                                                              | verschiedene<br>(siehe IEC 60534-1) |
| $c_s$         | Schallgeschwindigkeit der Rohrleitung (bei Stahl = 5 000 m/s)                                                                                   | m/s                                 |
| $c_{vc}$      | Schallgeschwindigkeit in der <i>Vena contracta</i> bei Durchflussbedingungen im Unterschallbereich                                              | m/s                                 |
| $c_{vcc}$     | Schallgeschwindigkeit in der <i>Vena contracta</i> bei kritischen Durchflussbedingungen                                                         | m/s                                 |
| $c_2$         | Schallgeschwindigkeit unter den Bedingungen an der Auslassseite                                                                                 | m/s                                 |
| $D$           | Durchmesser des Ventilaustritts                                                                                                                 | m                                   |
| $d$           | Durchmesser eines kreisförmigen Durchflusskanals (für andere ist $d_H$ zu verwenden)                                                            | m                                   |
| $d_H$         | Hydraulischer Durchmesser eines einzelnen Durchflusskanals                                                                                      | m                                   |
| $d_i$         | Kleinerer Innendurchmesser des Ventilaustritts oder des Eingangs der Erweiterung                                                                | m                                   |
| $D_i$         | Innendurchmesser der Ausgangsrohrleitung                                                                                                        | m                                   |
| $D_j$         | Strahldurchmesser in der <i>Vena contracta</i>                                                                                                  | m                                   |
| $d_o$         | Durchmesser einer kreisförmigen Blendenöffnung, deren Fläche gleich der Summe der Flächen aller Durchflusskanäle bei einem vorgegebenen Hub ist | m                                   |
| $F_d$         | Stellventiltypfaktor                                                                                                                            | dimensionslos                       |
| $F_L$         | Flüssigkeitsdruckrückgewinnungsfaktor eines Ventils ohne angeschlossene Reduzierstücke (siehe Anmerkung 4)                                      | dimensionslos                       |
| $F_{Ln}$      | Flüssigkeitsdruckrückgewinnungsfaktor für die letzte Stufe einer geräuscharmen Garnitur                                                         | dimensionslos                       |

| Formel-<br>zeichen | Beschreibung                                                                                                                                                  | Einheit                    |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| $F_{LP}$           | Kombinierter Flüssigkeitsdruckrückgewinnungsfaktor und Rohrleitungsgeometriefaktor eines Stellventils mit angeschlossenen Reduzierstücken (siehe Anmerkung 4) | dimensionslos              |
| $F_p$              | Rohrleitungsgeometriefaktor                                                                                                                                   | dimensionslos              |
| $f_g$              | Externe Koinzidenzfrequenz                                                                                                                                    | Hz                         |
| $f_o$              | Interne Koinzidenzfrequenz des Rohres                                                                                                                         | Hz                         |
| $f_p$              | Erzeugte Spitzenfrequenz                                                                                                                                      | Hz                         |
| $f_{pR}$           | Erzeugte Spitzenfrequenz im Ventilaustritt oder im reduzierten Durchmesser der Rohrerweiterung                                                                | Hz                         |
| $f_r$              | Ringdehnfrequenz                                                                                                                                              | Hz                         |
| $f_s$              | Referenzfrequenz für den Verlustfaktor der Struktur = 1 Hz                                                                                                    | Hz                         |
| $G_x, G_y$         | Frequenzfaktoren (siehe Tabelle 4)                                                                                                                            | dimensionslos              |
| $l$                | Länge eines radialen Durchflussskanals                                                                                                                        | m                          |
| $l_w$              | Benetzter Umfang eines einzelnen Durchflussskanals                                                                                                            | m                          |
| $L_g$              | Machzahl-Korrektur                                                                                                                                            | dB (bezogen auf $p_o$ )    |
| $L_{pe,1m}(f)$     | Frequenzabhängiger Schalldruckpegel 1 m von der Rohrwand                                                                                                      | dB (bezogen auf $p_o$ )    |
| $L_{pAe,1m}$       | A-bewerteter Schalldruckpegel im Abstand von 1 m von der Rohrwandung                                                                                          | dB(A) (bezogen auf $p_o$ ) |
| $L_{pi}$           | Interner Gesamt-Schalldruckpegel an der Rohrwandung                                                                                                           | dB (bezogen auf $p_o$ )    |
| $L_{pi}(f)$        | Frequenzabhängiger interner Schalldruckpegel an der Rohrwandung                                                                                               | dB (bezogen auf $p_o$ )    |
| $L_{piR}$          | Interner Gesamt-Schalldruckpegel an der Rohrwandung für Geräusche, die durch den ausgangsseitigen Fluss in der Rohrerweiterung erzeugt werden                 | dB (bezogen auf $p_o$ )    |
| $L_{piR}(f)$       | Frequenzabhängiger interner Schalldruckpegel an der Rohrwandung für Geräusche, die durch den ausgangsseitigen Fluss in der Rohrerweiterung erzeugt werden     | dB (bezogen auf $p_o$ )    |
| $L_{piS}(f)$       | Kombinierter interner Schalldruckpegel an der Rohrwandung, verursacht von der Garnitur und dem Erweiterungsstück                                              | dB (bezogen auf $p_o$ )    |
| $L_{wi}$           | Gesamt-Schallleistungspegel, innen                                                                                                                            | dB (bezogen auf $W_o$ )    |
| $M$                | Molmasse des durchfließenden Fluids                                                                                                                           | kg/kmol                    |
| $M_j$              | Machzahl des frei entspannten Strahls in den Bereichen II bis IV                                                                                              | dimensionslos              |
| $M_{jn}$           | Machzahl des frei entspannten Strahls der letzten Stufe in einem Mehrstufenventil mit $n$ Stufen                                                              | dimensionslos              |
| $M_{j5}$           | Machzahl des frei entspannten Strahls im Bereich V                                                                                                            | dimensionslos              |

| Formel-<br>zeichen | Beschreibung                                                                                     | Einheit                |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| $M_o$              | Machzahl am Ventilaustritt                                                                       | dimensionslos          |
| $M_R$              | Machzahl im Eingang der Rohrerweiterung                                                          | dimensionslos          |
| $M_{vc}$           | Machzahl in der <i>Vena contracta</i>                                                            | dimensionslos          |
| $M_2$              | Machzahl in der Ausgangsrohrleitung                                                              | dimensionslos          |
| $\dot{m}$          | Massendurchfluss                                                                                 | kg/s                   |
| $N$                | Zahlenkonstanten (siehe Tabelle 1)                                                               | verschieden            |
| $n_o$              | Anzahl der unabhängigen und identischen Durchflusskanäle in der Ventilgarnitur                   | dimensionslos          |
| $p_a$              | Aktueller Luftdruck außerhalb des Rohres                                                         | Pa (siehe Anmerkung 3) |
| $p_n$              | Absoluter Staudruck an der letzten Stufe eines Mehrstufenventils mit $n$ Stufen                  | Pa                     |
| $p_o$              | Bezugsschalldruck = $2 \times 10^{-5}$ (siehe Anmerkung 5)                                       | Pa                     |
| $p_s$              | Normluftdruck (siehe Anmerkung 1)                                                                | Pa                     |
| $p_{vc}$           | Absolutdruck in der <i>Vena contracta</i> bei Durchflussbedingungen im Unterschallbereich        | Pa                     |
| $p_1$              | Absolutdruck vor dem Ventil                                                                      | Pa                     |
| $p_2$              | Absolutdruck hinter dem Ventil                                                                   | Pa                     |
| $R$                | Universelle Gaskonstante = 8 314                                                                 | J/kmol $\times$ K      |
| $St$               | Strouhal-Zahl zur Berechnung der Spitzenfrequenz (siehe Tabelle 4)                               | dimensionslos          |
| $T_n$              | Absolute Temperatur vor dem Ventil an der letzten Stufe eines Mehrstufenventils mit $n$ Stufen   | K                      |
| $T_{vc}$           | Absolute Temperatur in der <i>Vena contracta</i> bei Durchflussbedingungen im Unterschallbereich | K                      |
| $T_{vcc}$          | Absolute Temperatur in der <i>Vena contracta</i> bei kritischen Durchflussbedingungen            | K                      |
| $T_1$              | Absolute Temperatur vor dem Ventil                                                               | K                      |
| $T_2$              | Absolute Temperatur hinter dem Ventil                                                            | K                      |
| $TL(f)$            | Frequenzabhängiges Schalldämmmaß                                                                 | dB                     |
| $t_s$              | Rohrwanddicke                                                                                    | m                      |
| $U_p$              | Gasgeschwindigkeit in der Ausgangsrohrleitung                                                    | m/s                    |
| $U_R$              | Gasgeschwindigkeit am Eingang der Rohrerweiterung                                                | m/s                    |

| Formel-<br>zeichen | Beschreibung                                                                                      | Einheit           |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| $W_a$              | Schallleistung für durch den Ventil-Durchfluss erzeugte Geräusche                                 | W                 |
| $W_{aR}$           | Schallleistung für durch den Ausgang in der Rohrerweiterung erzeugte Geräusche                    | W                 |
| $W_m$              | Strahlleistung des Massendurchflusses                                                             | W                 |
| $W_{ms}$           | Strahlleistung des Massendurchflusses bei Schallgeschwindigkeit                                   | W                 |
| $W_{mR}$           | Konvertierte Strahlleistung des Massendurchflusses in der Rohrerweiterung                         | W                 |
| $W_o$              | Bezugsschallleistung = $10^{-12}$ (siehe Anmerkung 5)                                             | W                 |
| $x$                | Differenzdruckverhältnis                                                                          | dimensionslos     |
| $x_{vcc}$          | Differenzdruckverhältnis in der <i>Vena contracta</i> bei kritischen Durchflussbedingungen        | dimensionslos     |
| $x_B$              | Differenzdruckverhältnis am Abrisspunkt                                                           | dimensionslos     |
| $x_C$              | Differenzdruckverhältnis bei kritischen Durchflussbedingungen                                     | dimensionslos     |
| $x_{CE}$           | Differenzdruckverhältnis, wo der Bereich des konstanten akustischen Wirkungsgrades beginnt        | dimensionslos     |
| $\alpha$           | Rückgewinnungs-Korrekturfaktor                                                                    | dimensionslos     |
| $\beta$            | Einschnürungskoeffizient im Ventilaustritt oder am Eingang der Rohrerweiterung                    | dimensionslos     |
| $\gamma$           | Verhältnis der spezifischen Wärmen                                                                | dimensionslos     |
| $\Delta L_A(f)$    | Frequenzabhängiger Korrekturfaktor der A-Bewertung                                                | dB                |
| $\Delta TL$        | Faktor für die Rohrleitungsdämpfung                                                               | dB                |
| $\eta$             | Akustischer Wirkungsgrad für durch den Ventil-Durchfluss erzeugte Geräusche (siehe Anmerkung 2)   | dimensionslos     |
| $\eta_R$           | Akustischer Wirkungsgrad für durch den Ausgang in der Rohrerweiterung erzeugte Geräusche          | dimensionslos     |
| $\eta_s(f)$        | Frequenzabhängiger Strukturverlustfaktor                                                          | dimensionslos     |
| $\rho_1$           | Dichte des Fluids bei $p_1$ und $T_1$                                                             | kg/m <sup>3</sup> |
| $\rho_2$           | Dichte des Fluids bei $p_2$ und $T_2$                                                             | kg/m <sup>3</sup> |
| $\rho_n$           | Dichte des Fluids an der letzten Stufe eines Mehrstufenventils mit $n$ Stufen bei $p_n$ und $T_n$ | kg/m <sup>3</sup> |
| $\rho_s$           | Dichte der Rohrleitung                                                                            | kg/m <sup>3</sup> |
| $\Phi$             | Relativer Durchflusskoeffizient                                                                   | dimensionslos     |

## Indizes

|   |                                                                                         |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| e | bezeichnet „extern“                                                                     |
| i | bezeichnet „intern“                                                                     |
| n | bezeichnet die letzte Stufe der Garnitur                                                |
| p | bezeichnet die Spitze (der Frequenz)                                                    |
| R | bezeichnet die Bedingungen in der ausgangsseitigen Rohrleitung oder der Rohrerweiterung |

ANMERKUNG 1 Der Normluftdruck beträgt 101,325 kPa oder 1,013 25 bar.

ANMERKUNG 2 Die Indizes 1, 2, 3, 4 und 5 bezeichnen die Bereiche I, II, III, IV und V.

ANMERKUNG 3  $1 \text{ bar} = 10^2 \text{ kPa} = 10^5 \text{ Pa}$ .

ANMERKUNG 4 Für die Berechnung des Druckes in der *Vena contracta* und damit der Geschwindigkeit wird in der vorliegenden Norm angenommen, dass der Druckrückgewinn für Gase mit dem von Flüssigkeiten identisch ist.

ANMERKUNG 5 Schallleistung und Schalldruck werden üblicherweise im logarithmischen Maßstab als Dezibel ausgedrückt. Dieser Maßstab bezieht die Größe logarithmisch auf einen Bezugswert. Die Bezugswerte sind  $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$  für den Schalldruck und  $10^{-12} \text{ W}$  für die Schallleistung.

## 5 Ventile mit Standardgarnitur

### 5.1 Drücke und Druckverhältnisse

Es gibt mehrere Drücke und Druckverhältnisse, die für das Verfahren der Geräuschvorhersage benötigt werden. Sie sind nachstehend angegeben. Für Betrachtungen der mit Stellventilen verbundenen Geräusche wird oft das Differenzdruckverhältnis  $x$  verwendet.

$$x = \frac{p_1 - p_2}{p_1} \quad (1a)$$

Die *Vena contracta* ist der Bereich der höchsten Geschwindigkeit und des geringsten Druckes. Dieser geringste Druck, der nicht kleiner als null absolut sein kann, wird wie folgt berechnet:

$$\frac{p_{vc}}{p_1} = 1 - \frac{x}{F_L^2} \quad (2)$$

ANMERKUNG 1 Diese Gleichung stellt die Definition von  $F_L$  für Bedingungen im Unterschallbereich dar.

ANMERKUNG 2 Wenn an dem Ventil Reduzierstücke befestigt sind, ist  $F_L$  durch  $F_{LP}/F_P$  zu ersetzen.

ANMERKUNG 3 Der Faktor  $F_L$  wird für die Berechnung des Druckes in der *Vena contracta* benötigt. Der Druck in der *Vena contracta* wird dann für die Berechnung der Geschwindigkeit verwendet, die für die Bestimmung des akustischen Wirkungsgrades notwendig ist.

Bei kritischen Durchflussbedingungen werden der Druck in der *Vena contracta* (engster Strahlquerschnitt) und das zugehörige Differenzdruckverhältnis bei  $p_2 = p_{vcc}$  folgendermaßen berechnet:

$$x_{vcc} = 1 - \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (3)$$

Der kritische Differenzdruckverhältnis hinter dem Ventil, wo der Durchfluss in der *Vena contracta* Schallgeschwindigkeit erreicht, wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$x_C = F_L^2 (1 - x_{vcc}) \quad (4)$$

ANMERKUNG 4 Wenn an dem Ventil Reduzierstücke befestigt sind, ist  $F_L$  durch  $F_{LP}/F_P$  zu ersetzen.

Der Korrekturfaktor  $\alpha$  stellt das Verhältnis zweier Druckverhältnisse dar:

- a) das Verhältnis von Eintritts- zu Austrittsdruck bei kritischen Durchflussbedingungen;
- b) das Verhältnis von Eintrittsdruck zum Druck in der *Vena contracta* bei kritischen Durchflussbedingungen.

Er ist wie folgt definiert:

$$\alpha = \frac{1 - x_{vcc}}{1 - x_C} \quad (5)$$

Der Punkt, an dem der Mechanismus der stoßraum-turbulenten Wechselwirkung (Bereich IV) das Geräuschspektrum über den turbulenten Schubmechanismus (Bereich III) zu überlagern beginnt, ist als Abrisspunkt bekannt. Bezüglich einer Beschreibung dieser Bereiche siehe 5.2. Das Differenzdruckverhältnis am Abrisspunkt wird folgendermaßen berechnet:

$$x_B = 1 - \frac{1}{\alpha} \left( \frac{1}{\gamma} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (6)$$

Das Differenzdruckverhältnis, bei dem der Bereich des konstanten akustischen Wirkungsgrades (Bereich V) beginnt, wird folgendermaßen berechnet:

$$x_{CE} = 1 - \frac{1}{22 \alpha} \quad (7)$$

## 5.2 Bereichsdefinition

Ein Stellventil regelt den Durchfluss, indem potentielle Energie (Druck) in Turbulenz umgewandelt wird. Geräusche in einem Stellventil resultieren aus der Umwandlung eines geringen Teils dieser Energie in Schall. Die meiste Energie wird in Wärme umgewandelt.

Die verschiedenen Bereiche der Geräuscherzeugung sind das Ergebnis unterschiedlicher Schallursachen oder Reaktionen zwischen Molekülen im Gas und den Schallstoßräumen. Im Bereich I liegt der Durchfluss im Unterschallbereich, und das Gas ist teilweise rekomprimiert. Dies wird durch den Faktor  $F_L$  berücksichtigt. Die Geräuscherzeugung in diesem Bereich ist vornehmlich dipol-bedingt.

Im Bereich II besteht eine Strömung im Zustand nahe der Schallgeschwindigkeit mit Wechselwirkung zwischen Stoßräumen und Mischung zwischen turbulenter und Überschallströmung. Die Rekompensation verringert sich, wenn das Ende von Bereich II erreicht ist.

Im Bereich III ist keine isentrope Rekompensation vorhanden. Die Strömung liegt im Überschallbereich, und der Mechanismus turbulenter Scherströmung dominiert.

Im Bereich IV verringert sich die Stoßraumstruktur, da sich eine Machscheibe bildet. Der dominierende Mechanismus ist die Stoßraum-turbulente Wechselwirkung.

Im Bereich V ist ein konstanter akustischer Wirkungsgrad vorhanden, eine weitere Verringerung von  $p_2$  führt zu keiner Geräuscherhöhung.

Für eine vorgegebene Reihe von Betriebsbedingungen wird der Bereich wie folgt bestimmt:

Bereich I, wenn  $x \leq x_C$

Bereich II, wenn  $x_C < x \leq x_{VCC}$

Bereich III, wenn  $x_{VCC} < x \leq x_B$

Bereich IV, wenn  $x_B < x \leq x_{CE}$

Bereich V, wenn  $x_{CE} < x$

## 5.3 Vorberechnungen

### 5.3.1 Stellventiltypfaktor $F_d$

Im Fall von Mehrstufenventilen gilt  $F_d$  nur für die letzte Stufe.

Der Stellventiltypfaktor kann berechnet werden nach:

$$F_d = \frac{d_H}{d_o} \quad (8a)$$

Der hydraulische Durchmesser  $d_H$  eines einzelnen Durchflusskanals wird nach folgender Gleichung bestimmt:

$$d_H = \frac{4 A}{l_w} \quad (8b)$$

Der äquivalente Kreisdurchmesser  $d_o$  der Durchflussfläche ist wie folgt gegeben:

$$d_o = \sqrt{\frac{4 n_o A}{\pi}} \quad (8c)$$

Typische Werte von  $F_d$  sind in Tabelle 2 angegeben.

### 5.3.2 Strahldurchmesser $D_j$

Der Strahldurchmesser ist mit folgender Gleichung gegeben:

$$D_j = N_{14} F_d \sqrt{C F_L} \quad (9)$$

ANMERKUNG 1  $N_{14}$  ist eine Zahlenkonstante, deren Werte den verwendeten spezifischen Durchflusskoeffizienten ( $K_v$  oder  $C_v$ ) berücksichtigen. Werte der Konstanten können Tabelle 1 entnommen werden.

ANMERKUNG 2 Es ist der erforderliche  $C$ -Wert und nicht der Durchflusskoeffizient des Ventils zu verwenden.

ANMERKUNG 3 Wenn an dem Ventil Reduzierstücke befestigt sind, ist  $F_L$  durch  $F_{LP}/F_P$  zu ersetzen.