

DIN EN 60534-8-4

ICS 17.140.20; 23.060.40

Ersatz für
DIN EN 60534-8-4:2006-07
Siehe Anwendungsbeginn

**Stellventile für die Prozessregelung –
Teil 8-4: Geräuschbetrachtungen –
Vorausberechnung der Geräuschemission für flüssigkeitsdurchströmte
Stellventile
(IEC 60534-8-4:2015);
Deutsche Fassung EN 60534-8-4:2015**

Industrial-process control valves –
Part 8-4: Noise considerations –
Prediction of noise generated by hydrodynamic flow
(IEC 60534-8-4:2015);
German version EN 60534-8-4:2015

Vannes de régulation des processus industriels –
Partie 8-4: Considérations sur le bruit –
Prévisions du bruit généré par un écoulement hydrodynamique
(IEC 60534-8-4:2015);
Version allemande EN 60534-8-4:2015

Gesamtumfang 35 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2015-10-20 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2017-01-01.

Für DIN EN 60534-8-4:2006-07 besteht eine Übergangsfrist bis 2018-10-20.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60534-8-4:2014-02.

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

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 65B „Measurement and control 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 ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

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

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten 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 60534-8-4:2006-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Hydrodynamische Geräuschemissionen werden nun als eine Funktion der Frequenz vorausberechnet;
- b) das akustische Leistungsverhältnis wurde aus der Norm herausgenommen;
- c) die gesamte Norm wurde überarbeitet und aktualisiert;
- d) Abschnitt 7 „Schallberechnungen“ wurde überarbeitet und hinsichtlich einer leichteren Verständlichkeit präzisiert;
- e) die Literaturhinweise wurden auf den aktuellen Stand gebracht;
- f) die normativen Verweisungen wurden auf den aktuellen Stand gebracht.

Frühere Ausgaben

DIN EN 60534-8-4: 1995-04, 2006-07

Stellventile für die Prozessregelung –
Teil 8-4: Geräuschbetrachtungen –
Vorausberechnung der Geräuschemission für flüssigkeitsdurchströmte
Stellventile
(IEC 60534-8-4:2015)

Industrial-process control valves –
Part 8-4: Noise considerations –
Prediction of noise generated by hydrodynamic
flow
(IEC 60534-8-4:2015)

Vannes de régulation des processus industriels –
Partie 8-4: Considérations sur le bruit –
Prévisions du bruit généré par un écoulement
hydrodynamique
(IEC 60534-8-4:2015)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2015-10-20 angenommen. 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 CEN-CENELEC Management Centre 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 CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, 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, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

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

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2015 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60534-8-4:2015 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 65B/1005/FDIS, zukünftige 3. Ausgabe der IEC 60534-8-4, erarbeitet vom SC 65B „Measurement and control devices“ des IEC/TC 65 „Industrial-process measurement, control and automation“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN 60534-8-4:2015 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2016-07-20
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2018-10-20

Dieses Dokument ersetzt EN 60534-8-4:2005.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60534-8-4:2015 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	2
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Formelzeichen	7
5 Vorbereitende Berechnungen	9
5.1 Drücke und Druckverhältnisse	9
5.2 Charakteristisches Druckverhältnis x_{FZ}	9
5.3 Stellventiltypfaktor F_d	10
5.4 Strahldurchmesser D_j	10
5.5 Strahlgeschwindigkeit	10
5.6 Mechanische Leistung W_m	10
6 Schallberechnungen	10
6.1 Berechnung des internen Schalldrucks	10
6.2 Schalldämmmaß	14
6.3 Berechnung des externen Schalldrucks	14
7 Mehrstufige Ventilkegel	15
7.1 Allgemeines	15
7.2 Vorbereitende Berechnungen	15
7.3 Berechnung des Schallpegels	15
7.3.1 Allgemeine Kriterien	15
7.3.2 Mehrstufige Ventile (siehe Bilder 1 und 3)	16
7.3.3 Feste mehrstufige Ventile mit steigendem Strömungsquerschnitt (siehe Bild 2)	16
Anhang A (informativ) Beispiele für Eingangsdaten	22
Literaturhinweise	32
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	33
Bilder	
Bild 1 – Beispiele für mehrstufige Kegel in Hub- und Drehkegelventilen	17
Bild 2 – Beispiel für ein festes mehrstufiges System mit steigendem Strömungsquerschnitt	17
Bild 3 – Beispiel für ein mehrstufiges Kegelsystem in einem Hubventil	18
Bild 4 – Hubventile (Käfigventil, Schlitzkegel)	19
Bild 5 – Hubventile (parabolischer Kegel)	19
Bild 6 – Lochkegel oder Lochkäfig	20
Bild 7 – Exzentrische Drehstellventile	20
Bild 8 – Stellklappen	21

	Seite
Bild 9 – Segmentierter Kugelhahn, 90° Hub	21
Bild A.1 – Einfluss des x_{FZ} -Wertes auf die Berechnungsgenauigkeit.....	31
Tabellen	
Tabelle 1 – Numerische Konstanten N	8
Tabelle 2 – Typische Werte für A_{η}	11
Tabelle 3 – Indizierte Terzmittenfrequenzen und Korrekturfaktoren der A-Bewertung	13
Tabelle A.1 – Berechnungsbeispiele 1 bis 3	23

Einleitung

Es ist von großer Bedeutung, die Geräuschemissionen, die von Stellventilen voraussichtlich generiert werden, vorausberechnen zu können. Sicherheitsbestimmungen wie die Arbeitsschutzrichtlinien schreiben eine Begrenzung der Lärmbelastung für den Menschen vor. Darüber hinaus liegen Daten vor, die zeigen, dass Schallpegel oberhalb bestimmter Werte zur Beschädigung von Rohrleitungen oder des damit verbundenen Equipments führen können (siehe hierzu auch IEC 60534-8-3). Frühere Normen für die Flüssigkeitsschallberechnung bei Ventilen basierten stark auf Messdaten von Herstellern und entsprachen weder dem Wunsch nach Allgemeingültigkeit noch dem nach Vollständigkeit. Die hier gezeigte Methode kann auf alle konventionellen Stellventiltypen wie Hubventile, Klappenventile, Käfigventile, exzentrische Drehkegelventile und modifizierte Kugelhähne angewendet werden.

Ein Ventil beeinflusst den Durchfluss durch Konvertierung von Druckenergie in Turbulenzenergie, Wärme und mechanische Druckwellen in dem Ventilgehäuse und den Rohrleitungen. Ein kleiner Anteil dieser mechanischen Vibration wird in akustische Energie umgewandelt. Der Hauptanteil des Lärms wird im Rohrleitungssystem zurückgehalten, ein kleiner Anteil wird durch die Rohrleitung hinter dem Ventil durchgelassen. Der Weg der Berechnung der sich daraus ergebenden Energie ist eigentlich klar vorgegeben. Schwierigkeiten ergeben sich im ersten Schritt bei der Bestimmung des akustischen Wirkungsgrades als Maß für die Konvertierung der mechanischen Energie in Lärm und im zweiten Schritt aus der Bestimmung der Schallemissionsminderung durch die Rohrleitungswand.

Dieser Teil der Normenreihe IEC 60534 betrachtet nur den Schall, der durch normale Turbulenz und Flüssigkeitskavitation erzeugt wird. Er erfasst nicht den Schall aufgrund von mechanischen Vibrationen, Flashing-Bedingungen, Instabilitäten in der Strömung oder nicht vorausberechenbaren Phänomenen. Bei der typischen Installation dringt ein sehr kleiner Schallanteil durch die Wand des Ventilgehäuses. Der vorausberechnete Schall entspricht einer Messung 1 m hinter dem Ventil und in 1 m Abstand von der äußeren Rohroberfläche in einem akustischen Freifeld. Idealerweise wird eine gerade Rohrleitungsführung angenommen. Da in industriellen Anlagen selten ein akustisches Freifeld vorliegt, kann diese Vorausberechnung von den tatsächlichen Ergebnissen am Einbauort abweichen.

Diese Vorhersagemethode wurde anhand von Messdaten für Wasser und für einen Großteil der Stellventiltypen in dem Nennweitenbereich DN 15 bis DN 300 für Eingangsdrücke bis 15 bar validiert. Jedoch könnten einige geräuscharme Ventiltypen nicht erfasst worden sein. Diese Methode hat in den meisten Fällen eine Genauigkeit von ± 5 dB(A), wenn nach IEC 60534-8-2 messtechnisch ermittelte x_{Fz} -Werte herangezogen werden. Die Genauigkeit dieser Methode für andere Flüssigkeiten als Wasser ist derzeit noch nicht abgesichert.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60534 beinhaltet eine Methode zur Vorausberechnung/Vorhersage der Geräuschemissionen, welche von einem flüssigkeitsdurchströmten Stellventil erzeugt werden, sowie des daraus resultierenden Schalldruckpegels hinter dem Ventil und außerhalb der Rohrleitung. Der Schall kann dabei sowohl durch normal turbulente Strömung als auch durch Kavitation im Ventil entstehen. Teile dieser Methode basieren auf akustischen, strömungstechnischen und mechanischen Grundlagen. Das Berechnungsverfahren wurde anhand von Messdaten validiert.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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, *Industrial-process control valves – Part 1: Control valve terminology and general considerations*

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

IEC 60534-8-2, *Industrial-process control valves – Part 8: Noise considerations – Section 2: Laboratory measurement of noise generated by hydrodynamic flow through control valves*

IEC 60534-8-3, *Industrial-process control valves – Part 8: Noise considerations – Section 3: Control valve aerodynamic noise prediction method*

3 Begriffe

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

3.1

akustischer Wirkungsgrad η

Verhältnis der zu Schall umgewandelten Strömungsleistung zur Strömungsleistung des Massendurchflusses

3.2

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.

3.3

unabhängiger Durchflusskanal

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

3.4

Spitzenfrequenz f_p

Frequenz, bei der der interne Schalldruck seinen Höchstwert erreicht

3.5

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

Symbol	Beschreibung	Einheit
$A(f)$	Frequenzabhängiger A-Bewertungsfaktor	dBA (ref P_0)
A_{η}	Ventil-Korrekturfaktor für den akustischen Wirkungsgrad (siehe Tabelle 2)	Dimensionslos
c_1	Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit	m/s
c_a	Schallgeschwindigkeit von Luft unter Standardbedingungen = 343	m/s
c_S	Schallgeschwindigkeit in der Rohrleitung (für Stahlrohrleitung 5 000)	m/s
C	Durchflusskoeffizient (K_V und C_V)	Verschieden (siehe IEC 60534-1)
C_R	Durchflusskoeffizient (K_V und C_V) bei Nennhub	Verschieden (siehe IEC 60534-1)
C_i	Durchflusskoeffizient von n Stufen ($i = 1 \dots n$) in einem mehrstufigen Ventil (K_V und C_V)	Verschieden (siehe IEC 60534-1)
C_n	Durchflusskoeffizient der letzten Stufe in einem mehrstufigen Ventil (K_V und C_V)	Verschieden (siehe IEC 60534-1)
D_i	Ausgangsrohrinnendurchmesser	m
D_j	Strahldurchmesser in der <i>vena contracta</i>	m
D	Nennweite des Stellventils	m
d_H	Lochdurchmesser eines Lochkegels oder Lochkäfigs	m
d_o	Sitz- oder Lochdurchmesser	m
F_{cav}	Frequenzverteilungsfunktion (bei Kavitation)	Dimensionslos
F_d	Stellventiltypfaktor	Dimensionslos
F_L	Flüssigkeitsdruckrückgewinnungsfaktor eines Ventils ohne angeschlossene Reduzierstücke	Dimensionslos
F_{Ln}	Flüssigkeitsdruckrückgewinnungsfaktor der letzten Drosselstelle	Dimensionslos
F_{turb}	Frequenzverteilungsfunktion (bei Turbulenz)	Dimensionslos
f	Frequenz	Hz
f_c	Grenzfrequenz	Hz
f_{ji}	Oktavbandfrequenz	Hz
f_r	Ringdehnfrequenz	Hz
$f_{p, turb}$	Erzeugte Spitzenfrequenz (turbulent)	Hz
$f_{p, cav}$	Erzeugte Spitzenfrequenz (Kavitation)	Hz
K_c	Differenzdruckverhältnis für beginnende Durchflussbegrenzung (annähernd im Bereich zwischen F_L^3 bis F_L^2)	Dimensionslos
$L_{pe,1m}$	Externer Schalldruckpegel 1 m von der Rohrwand	dB (ref P_0)
$L_{pAe,1m}$	A-bewerteter externer Schalldruckpegel 1 m von der Rohrwand	dBA (ref P_0)
$L_{pAe,1m,i}$	A-bewerteter externer Schalldruckpegel 1 m von der Rohrwand der Stufe i (Index i von 1 ... n) in einem mehrstufigen Ventil mit n Stufen	dBA (ref P_0)
L_{pi}	Interner Schalldruckpegel an der Rohrwand	dB (ref P_0)
$\dot{m}$	Massenstrom	kg/s
n	Anzahl der Stufen in einem mehrstufigen Ventil	Dimensionslos

Symbol	Beschreibung	Einheit
N	Numerische Konstanten (siehe Tabelle 1)	Verschieden
N_0	Anzahl von unabhängigen und identischen Strömungskanälen in einem Ventilkegel oder einer Drosselstufe	Dimensionslos
P_a	Referenzdruck = 1×10^5	Pa
P_o	Referenzschalldruckpegel = 2×10^{-5}	Pa
p_1	Absoluter Ventileingangsdruck	Pa
p_2	Absoluter Ventilausgangsdruck	Pa
$p_{1,i}$	Eingangsdruck der Stufe i (Index i von 1 ... n) in einem mehrstufigen Ventil mit n Stufen	Pa
$p_{2,i}$	Ausgangsdruck der Stufe i (Index i von 1 ... n) in einem mehrstufigen Ventil mit n Stufen	Pa
p_v	Dampfdruck der Flüssigkeit	Pa
Δp	Druckdifferenz	Pa
Δp_c	Druckdifferenz für die U_{vc} -Berechnung	Pa
St_p	Strouhal-Zahl zur Berechnung der Spitzenfrequenz	Dimensionslos
t_s	Rohrwanddicke	m
TL	Schalldämmmaß	dB
TL_{fr}	Schalldämmmaß bei der Frequenz f_r	dB
U_{vc}	Geschwindigkeit in der <i>vena contracta</i>	m/s
W_a	Schallleistung für durch den Ventil-Durchfluss erzeugte Geräusche	W
W_m	Strahlleistung des Massendurchflusses	W
x_F	Differenzdruckverhältnis	Dimensionslos
x_{Fz}	Differenzdruckverhältnis für beginnenden Kavitationsschall mit einem Eingangsdruck von 6×10^5 Pa	Dimensionslos
x_{Fzp1}	Korrigiertes Differenzdruckverhältnis x_{Fz} für den aktuellen Eingangsdruck	Dimensionslos
η_{turb}	Akustischer Wirkungsgrad (turbulent)	Dimensionslos
η_{cav}	Akustischer Wirkungsgrad (Kavitation)	Dimensionslos
η_s	Akustischer Wirkungsgrad der Rohrwand	Dimensionslos
ρ_1	Dichte der Flüssigkeit	kg/m ³
ρ_a	Dichte von Luft = 1,293	kg/m ³
ρ_s	Dichte des Rohrleitungsmaterials (= 7 800 für Stahl)	kg/m ³

Tabelle 1 – Numerische Konstanten N

Konstante	Durchflusskoeffizient	
	K_v	C_v
N_{14}	$4,9 \times 10^{-3}$	$4,6 \times 10^{-3}$
N_{34}	1	1,17

5 Vorbereitende Berechnungen

5.1 Drücke und Druckverhältnisse

Zur Schallberechnung werden mehrere Drücke und Druckverhältnisse benötigt. Sie werden nachstehend aufgeführt.

Das Differenzdruckverhältnis x_F für Flüssigkeiten hängt von der Druckdifferenz $p_1 - p_2$ sowie von der Differenz des Eingangsdruckes p_1 und des Dampfdruckes p_v ab.

$$x_F = \frac{p_1 - p_2}{p_1 - p_v} \quad (1)$$

Der Differenzdruck für beginnende Durchflussbegrenzung entspricht annähernd $F_L^2 (p_1 - p_v)$. Einige Berechnungen basieren auf der folgenden Druckdifferenz:

$$\Delta p_c = \text{Minimum von } (p_1 - p_2) \text{ oder } F_L^2 (p_1 - p_v) \quad (2)$$

Bei niedrigen Differenzdruckverhältnissen wird der Lärm hauptsächlich von der Turbulenz erzeugt. Wenn x_F $x_{Fz,p1}$ überschreitet, überlagert Kavitationslärm den Turbulenzlärm. Bei $x_F = 1$ hat der Kavitationslärm ein zweites Minimum; bei $x_F > 1$ (im Flashing-Bereich) steigt der Schallpegel mit zunehmendem x_F (oberhalb von $x_F = 1$) sehr langsam an.

5.2 Charakteristisches Druckverhältnis x_{Fz}

Das ventilspezifische Druckverhältnis x_{Fz} kann auf Basis von IEC 60534-8-2 gemessen werden, wobei eine Abhängigkeit von dem Ventilhub besteht. Dieses sollte nicht mit dem Wert K_c verwechselt werden, bei dem durch die Kavitation hervorgerufene Durchflussbegrenzung beginnt. Es ist das Differenzdruckverhältnis, bei dem Kavitation akustisch detektiert wird. Der Wert von x_{Fz} hängt von dem Ventil- und Kegeltyp und der spezifischen Durchflusskapazität ab.

Alternativ kann der Wert von x_{Fz} mit den Gleichungen (3), (4) und (5) abgeschätzt werden. Berechnungen des hydrodynamischen Schalls mit den Gleichungen (3), (4) und (5) können zu Ungenauigkeiten führen, wie im Anhang A dargestellt ist. Die Bilder 4 bis 9 enthalten typische Kurven von x_{Fz} für verschiedene Stellventiltypen. Gleichung (3) und die Bilder 4 bis 9 gelten für den Ventileingangsdruck 6×10^5 Pa. Für andere Eingangsdrücke kann der x_{Fz} -Wert mit Hilfe von Gleichung (5) korrigiert werden.

$$x_{Fz} = \frac{0,90}{\sqrt{1 + 3 \cdot F_d \cdot \sqrt{\frac{C}{N_{34} \cdot F_L}}}} \quad \text{für alle Ventile ausgenommen Lochkegel oder Lochkäfige} \quad (3)$$

$$x_{Fz} = \frac{1}{\sqrt{4,5 + 1650 \cdot \frac{N_0 \cdot d_H^2}{F_L}}} \quad \text{für Lochkegel oder Lochkäfige} \quad (4)$$

ANMERKUNG N_{34} ist eine numerische Konstante, die berücksichtigt, dass der spezifische Durchflusskoeffizient K_v oder C_v sein kann.